

Pierre-Éric Mounier-Kuhn

L'informatique

de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul

en France

L'émergence d'une science

préface de
Jean-Jacques Duby



Comment l'ordinateur a-t-il été inventé ? Comment s'est diffusée l'informatique ? Comment une technique donne-t-elle naissance à une science ? Comment stimuler ou freiner l'innovation ? Pourquoi la France, où l'on prétendait en 1947 avoir une « avance théorique » en calcul électronique, a-t-elle dû, vingt ans après, lancer un Plan Calcul pour rattraper son retard ?

Fondé sur une ample documentation française et étrangère souvent inédite, ce livre est un essai d'histoire comparée. On découvre que la France est le seul de tous les pays industrialisés où la recherche publique n'ait pas réussi à construire d'ordinateur durant la période pionnière, avant 1960, dans un contexte caractérisé par les séquelles de la guerre, par les spécificités du milieu mathématicien français et par la faible demande de calcul au début de cette période, faiblesse elle-même liée à la situation des industries électrique et aéronautique.

L'informatique s'y est cependant développée grâce aux initiatives d'universitaires, véritables entrepreneurs de science, qui collaboraient avec des industriels novateurs et avec les services techniques civils ou militaires – cela souvent dans le cadre régional de véritables pôles d'innovation. Ils ont bientôt dû faire face à l'explosion de la demande du marché du travail, qui réclamait toujours plus d'informaticiens.

Au cours des années 1960-1970, on est passé progressivement du calcul électronique, outil au service des ingénieurs et des mathématiques appliquées, à la construction d'une discipline nouvelle, l'informatique, qui recomposait le paysage scientifique. Cette évolution ne s'est pas effectuée sans résistances ni controverses. Elle s'est accomplie parce qu'elle correspondait à la fois à la nécessité de formaliser les savoirs pour les enseigner, à la volonté modernisatrice des dirigeants de la politique scientifique et au besoin de mieux comprendre ce que l'on faisait en concevant des systèmes informatiques, afin d'améliorer les performances des ordinateurs et d'étendre leurs champs d'application dans l'économie et la société. Une science émerge pour maîtriser des techniques d'une extrême complexité : il n'y a rien de plus pratique qu'une bonne théorie.

L'INFORMATIQUE EN FRANCE



CENTRE ROLAND MOUSNIER

collection dirigée par Dominique Barjot & Lucien Bély

Dernières parutions

Les Sociétés urbaines au XVII^e siècle

Angleterre, France, Espagne

Jean-Pierre Poussou (dir.)

Noms et destins des Sans Famille

Jean-Pierre Bardet & Guy Brunet (dir.)

L'Individu et la famille dans les sociétés urbaines anglaise et française (1720-1780)

François-Joseph Ruggiu

Les Orphelins de Paris. Enfants et assistance aux XVII^e-XVIII^e siècles

Isabelle Robin-Romero

Les Préfets de Gambetta

Vincent Wright

Le Prince et la République.

Historiographie, pouvoirs et société dans la Florence des Médicis au XVII^e siècle

Caroline Callard

Histoire des familles, des démographies et des comportements.

En hommage à Jean-Pierre Bardet

Jean-Pierre Poussou & Isabelle Robin-Romero (dir.)

La Voirie bordelaise au XIX^e siècle

Sylvain Schoonbaert

Fortuna. Usages politiques d'une allégorie morale à la Renaissance

Florence Buttay-Jutier

Au cœur de la parenté. Oncles et tantes dans la France des Lumières

Marion Trévisi

Le Tabac en France de 1940 à nos jours. Histoire d'un marché

Éric Godeau

Des Paysans attachés à la terre ?

Familles, marchés et patrimoines dans la région de Vernon (1750-1830)

Fabrice Boudjaaba

La Défense du travail national ?

L'incidence du protectionnisme sur l'industrie en Europe (1870-1914)

Jean-Pierre Dormois

Pierre-Éric Mounier-Kuhn

L'informatique en France de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul

L'émergence d'une science

2^e édition

Préface de Jean-Jacques Duby



Ouvrage publié avec le soutien du Centre Roland-Mousnier (UMR 8596),
du Conseil scientifique et de l'école doctorale « Histoire moderne et contemporaine »
de l'université Paris-Sorbonne

Les PUPS, désormais SUP, sont un service général
de la faculté des Lettres de Sorbonne Université

© Presses de l'université Paris-Sorbonne, 2010
ISBN de l'édition papier : 978-2-84050-654-6

© Sorbonne Université Presses, 2022
ISBN du PDF : 979-10-231-2840-6

Composition Emmanuel Marc DUBOIS/3D2S
d'après le graphisme de Patrick VAN DIEREN

SUP
Maison de la Recherche
Université Paris-Sorbonne
28, rue Serpente
75006 Paris

Tél. : (33) (0)1 53 10 57 60

sup@sorbonne-universite.fr

<http://sup.sorbonne-universite.fr>

PRÉFACE

Jean-Jacques Duby¹

Nous sommes de moins en moins nombreux à avoir été les témoins et les acteurs des décennies 60 et 70 où la recherche française contribuait abondamment aux avancées de l'informatique mondiale. L'ouvrage de Pierre-Éric Mounier-Kuhn repose d'abord sur un travail de bénédictin, patient et obstiné, pour retrouver les chercheurs français qui ont fait partie des pionniers de l'informatique naissante, pour recueillir leurs témoignages ou, dans le cas de ceux qui étaient déjà disparus, le témoignage de leurs collaborateurs ou de leurs élèves ; pour retrouver et analyser leurs archives personnelles lorsqu'elles étaient disponibles ; pour récupérer et référencer une somme de documents dispersés dans les archives de laboratoires, d'universités, d'entreprises, d'organismes de recherche – dont certains n'existent plus depuis longtemps. Nul doute que, dans les décennies à venir, cet ouvrage sera une bible pour les historiens des sciences et des techniques, qui y trouveront un corpus de références inépuisable et, si j'ose dire, de première main.

À partir de cette énorme masse de données, l'auteur a retracé l'histoire de la naissance et du développement de la discipline informatique dans la recherche et l'enseignement supérieur français depuis la fin des années 1940 jusqu'au Plan Calcul et au milieu des années 1970. Pour moi qui avais passé les années 60 comme chercheur en logique, puis en informatique, d'abord à l'ENS Ulm, puis au laboratoire de recherche d'IBM à Yorktown Heights aux États-Unis, puis comme patron du Centre scientifique d'IBM à Grenoble, son livre m'a apporté à la fois des raisons d'être fier et des raisons d'être modeste. Des raisons d'être fier, car je me suis aperçu que, parmi ce que j'avais vécu au cours de cette aventure intellectuelle où tout était à inventer, où nous osions les projets rétrospectivement les plus fous, où nous enseignions ce que nous avions découvert six mois auparavant, les innovations dont j'avais été acteur

1 Normalien, agrégé de mathématiques, professeur des universités, Jean-Jacques Duby a passé plus de la moitié de sa carrière dans les laboratoires de recherche et développement d'IBM en Europe et aux États-Unis. Parallèlement, il a enseigné l'informatique dans plusieurs universités françaises et étrangères et à l'École polytechnique. Il a été également directeur scientifique au CNRS et directeur général de Supélec.

étaient reconnues avec le recul de l'historien pour le rôle qu'elles avaient joué dans l'édification de la science informatique. Mais aussi des raisons d'être modeste, car la vision d'ensemble magistralement reconstruite par Pierre-Éric Mounier-Kuhn de ce qui s'est passé non seulement en France mais aussi, par comparaison, à l'étranger, m'a mieux fait percevoir les différences entre l'histoire et le vécu : finalement, j'étais comme Fabrice à Waterloo, et c'est la lecture de ce livre qui m'a fait connaître les contributions de bien d'autres chercheurs et équipes, que j'avais ignorées à l'époque, soit parce que les outils d'échange et de communication étaient alors dramatiquement insuffisants face au rythme des évolutions et des innovations, soit surtout parce que les concurrences interinstitutionnelles – qu'elles soient entre entreprises privées ou même entre organismes publics – élevaient de fait des murailles de Chine bien plus étanches qu'aujourd'hui.

8

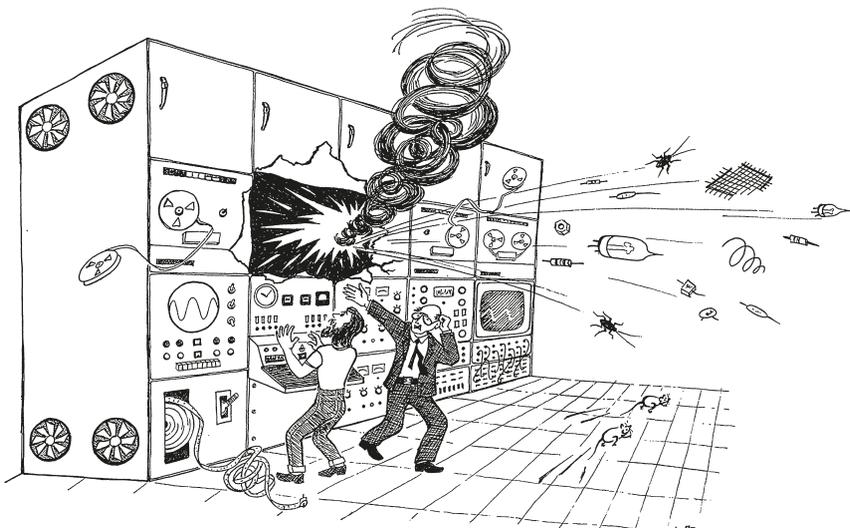
Le lecteur honnête homme et curieux, même s'il n'a jamais été informaticien, lira cette histoire comme un roman, avec ses personnages hors du commun comme René de Possel, mathématicien touche-à-tout de génie, passé du groupe Bourbaki à la direction de l'Institut Blaise Pascal ; Marcel-Paul Schützenberger, penseur fécond et théoricien français qui eut une immense influence sur l'informatique mondiale ; des entrepreneurs de la science et de la recherche, comme Émile Durand, créateur de l'Institut de calcul numérique de Toulouse et Jean Kuntzmann, fondateur de l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble - pour ne citer que ceux-là. Il assistera à la naissance de la première communauté d'informaticiens de dimension véritablement internationale autour d'Algol 60 (FORTRAN avait été une création strictement IBM ; COBOL était né d'une coopération interne aux États-Unis), communauté à laquelle la France a fortement participé. Il découvrira d'autres contributions de la recherche française au développement de l'informatique mondiale, comme la mémoire et les machines virtuelles à Grenoble, qui ont été reprises par IBM avant de devenir un standard de l'industrie, ou le réseau Cyclades à l'IRIA, dont les choix technologiques audacieux ont été repris par Internet. Il s'intéressera aux rivalités qui apparaissaient entre les institutions – souvent saine émulation scientifique comme entre les pôles grenoblois et toulousain, mais parfois conflit politique épuisant, comme les sempiternelles bagarres entre le CNRS et l'IRIA (puis l'INRIA...) ou la querelle, tantôt purement scolastique, tantôt lourdement chargée d'enjeux statutaires, de la reconnaissance de la place de l'informatique au sein de la communauté scientifique. Il verra aussi le rôle joué par l'État, Janus jacobin soutenant le développement de la discipline informatique au sein des universités et du CNRS, à travers la politique menée par la DGRST puis par la Délégation à l'Informatique, mais aussi sacrifiant des projets ou des structures de recherche sur l'autel d'une politique industrielle, dont le moins qu'on puisse

dire est qu'elle a échoué à produire une industrie informatique française à la hauteur de notre recherche – tels le Centre scientifique IBM de Grenoble, précurseur des laboratoires mixtes université-industrie, évincé pour faire place au constructeur « national », à l'époque la CII, ou le projet Cyclades, auquel on a coupé les crédits parce qu'il faisait concurrence au projet Transpac de la Direction générale des télécommunications.

Car l'une des leçons que l'on peut tirer du livre de Pierre-Éric Mounier-Kuhn, c'est que le système français d'innovation souffrait déjà à l'époque des mêmes faiblesses et des mêmes maux qu'aujourd'hui, un demi-siècle plus tard. Même si l'auteur se limite au domaine universitaire et s'arrête volontairement aux frontières de l'industrialisation - mais il faut espérer qu'il poursuivra son œuvre d'histoire contemporaine pour étudier avec le même succès les aspects industriels et les politiques gouvernementales -, les comparaisons qu'il développe avec les pays étrangers montrent que, déjà, le passage de l'amont vers l'aval, de la découverte à l'innovation, de l'idée au produit, s'y opérait plus rapidement et plus efficacement que chez nous. Les spécialistes de l'organisation de la recherche et du management de l'innovation trouveront là une riche matière à réflexion et, il faut l'espérer, de nouvelles études de cas pour les étudiants d'école de management - sans oublier ceux de l'ENA, car certaines politiques définies au niveau national ont plus souvent fait partie du problème que de la solution.

REMERCIEMENTS

Après avoir entrepris et poussé l'étude jusqu'à son état actuel, nous sentons tout ce que nous devons à nos maîtres : à Jean-Jacques Salomon, qui a dirigé nos travaux pendant ces longues années, avec autant d'amitié que de science, d'attention et d'autorité ; à François Caron, dont les œuvres et les conseils judicieux ont grandement profité à ce travail ; à François-Henri Raymond, inspirateur critique, bienveillant et enthousiaste ; à Dominique Pestre, dont le séminaire et les recherches condensent le meilleur des nouvelles approches en histoire des *technosciences* ; à Monsieur Guy Thuillier, dont les enseignements et les nombreuses publications m'ont à la fois aiguillé vers des questions nouvelles et indiqué des méthodes d'approche adaptées à l'histoire des administrations ; à Geneviève Schméder, à MM. Jacques Arzac, Jean Bellec, Jean-Pierre Brulé, André Danzin, François Genuys, Roger Godement, Michel Grossetti, Lars Heide, Jack Howlett, René Moreau, Maurice Nivat, Arthur Norberg, René Rind, Bob Seidel, qui ont bien voulu s'intéresser à cette recherche et enrichir mes perspectives de leurs approches et de leurs connaissances. MM. Antonio Botelho, Henri Boucher, Jean-Claude Barbance, se sont astreints à relire l'ouvrage et l'ont fait bénéficier de leurs remarques et de leurs avis experts. Je n'aurais garde d'oublier les archivistes qui ont accueilli mes demandes, et grâce auxquels j'ai pu consulter les fonds dont on trouvera le détail à la fin du volume. Qu'ils en soient sincèrement remerciés, ainsi que toutes les personnes qui m'ont accordé des entretiens ou une correspondance sur le sujet ; leur liste figure parmi les sources. Une bourse de l'OTAN, une aide du Charles Babbage Institute, un *grant* du California Institute of Technology et une invitation du Hagley Museum m'ont permis d'explorer les archives et l'historiographie américaines. Un soutien du British Council et l'accueil de l'Institute of Electrical Engineers m'a donné la possibilité de passer de fructueuses semaines dans les bibliothèques et les universités britanniques. L'hospitalité du Deutsches Museum, lors d'un colloque, m'a fourni l'occasion de consulter les archives Siemens. Ma gratitude s'adresse particulièrement à quatre grands établissements publics français : le CNRS, le CNAM, l'EPHE et l'université Paris-Sorbonne, qui m'ont fait l'honneur de m'accueillir.



QUELLE IDÉE D'ALLER LUI DEMANDER
DE DÉFINIR L'«INFORMATIQUE» !!!

✂

INTRODUCTION

In memoriam :

Michael S. Mahoney

François-Henri Raymond

Jean-Jacques Salomon

L'ordinateur a soixante ans. Depuis plus d'un demi-siècle, un vaste ensemble d'activités, l'informatique, s'est développé autour du « calculateur électronique digital à programme enregistré », pendant que celui-ci transformait profondément, en retour, les sciences et l'économie. L'industrie du traitement de l'information, marginale avant la guerre, troisième du monde en 1990 avec 350 milliards de dollars de chiffre d'affaires, est devenue la première à la fin du siècle (1 000 milliards de dollars) en dépassant les secteurs métallurgique, automobile et chimique. L'émergence de l'informatique – science, technique, industrie, fait social et politique – est un phénomène capital, comparable à l'avènement de la machine à vapeur il y a deux siècles. Plus important même, car l'ordinateur, machine logique universelle à traiter l'information, et au-delà de l'ordinateur proprement dit l'électronique digitale, ont acquis sur l'ensemble des activités humaines une emprise qui en fait l'un des éléments clés du système technique contemporain.

N'est-il pas cependant trop tôt pour en faire un sujet d'étude historique ? La jeunesse de l'informatique, la rapidité de ses transformations, l'absence d'un recul permettant de distinguer les lignes de force des aspects accessoires, ne condamnent-ils pas l'historien à un travail partiel ou journalistique ? À cette question, souvent posée aux historiens du temps présent, la première réponse est d'ordre pratique. D'une part, apprendre à connaître le monde dans lequel nous vivons, la manière dont il s'est formé, ses tendances lourdes, les facteurs qui favorisent telles entreprises, telles cultures, telles nations plutôt que telles autres, peut permettre d'atténuer la brutalité du changement social, économique, politique. Le savoir et la réflexion historiques face au choc du futur !

D'autre part, nous avons accès à des sources qui ne sont pas éternelles. Nous avons la chance que certains des pionniers de l'informatique soient encore parmi nous et puissent apporter leur irremplaçable témoignage, à condition que nous le leur demandions et qu'un dialogue s'engage entre l'historien et l'acteur de l'histoire. Par ailleurs, la rapidité même des transformations de l'informatique

fait disparaître les matériels périmés, les savoir-faire et les métiers qui leur sont liés, les entreprises parfois avec leurs archives... Si nous n'entreprenons pas maintenant de sauvegarder ces sources et d'écrire l'histoire de l'informatique telle que nous pouvons l'appréhender, les historiens futurs en auront une vision irrémédiablement mutilée. Voici vingt ans, un historien américain s'étonnait de la *poorly documented history of the French computer industry*¹.

La situation avait cependant commencé à changer. Plusieurs livres, relevant principalement de l'histoire des techniques et des sciences, ont été écrits en France, donnant des précisions sur certains apports français. Une série de colloques sur *l'Histoire de l'informatique en France* ont été organisés. Leurs actes contiennent plus de 400 communications originales sur l'histoire des machines, de la programmation, des institutions scientifiques, des entreprises et des pionniers dans la patrie de Blaise Pascal. D'autres études ont été menées dans des secteurs voisins : histoire des télécommunications, de l'électronique, de la gestion, des grands systèmes techniques. Ma recherche a progressé en liaison étroite avec ces travaux.

14

ITINÉRAIRE PERSONNEL

Mon propos, lorsque j'ai commencé des études doctorales, était fort éloigné de l'informatique. Je venais de passer trois ans au secrétariat du Comité national de la recherche scientifique et d'être appelé à assurer le secrétariat du conseil d'administration et du conseil scientifique du CNRS. Souhaitant reprendre un cursus universitaire, je me trouvais devant l'alternative suivante : soit poursuivre dans la voie ouverte quelques années auparavant par un mémoire de maîtrise sur la Bourgogne au XIX^e siècle, soit changer totalement de sujet.

Or je voulais étudier le milieu et les institutions dans lesquels je travaillais. Une première idée de sujet – le drainage des cerveaux scientifiques de la France vers les États-Unis – fut abandonnée après une brève enquête outre-Atlantique qui m'en montra la relative minceur ; mais les rencontres et les recherches à la bibliothèque du Congrès effectuées à cette occasion ne furent pas perdues, puisqu'elles me permirent une initiation à l'histoire et à la sociologie des sciences *via* les œuvres de Robert K. Merton. De retour au CNRS, il me parut évident que le Comité national, que je connaissais bien de l'intérieur, aux archives duquel j'avais accès et qui jouait un rôle important dans l'évaluation et les orientations de la recherche fondamentale française depuis 1945, constituait un sujet aux riches perspectives.

1 K. Flamm, *Creating the Computer*, Washington, Brookings Institution, 1990, p. 151.

Le fonctionnement du Comité national n'avait fait l'objet que d'un historique institutionnel dans la thèse d'un juriste sur le CNRS et de quelques réflexions de la part de sociologues qui y siégeaient. Il me sembla qu'une monographie sur une discipline scientifique, une étude de cas, permettrait d'aborder certains problèmes cruciaux dans la gestion de la recherche : la reconnaissance d'un champ scientifique nouveau, l'évaluation d'une activité pluridisciplinaire, les relations entre la recherche fondamentale et les applications industrielles. Le cas choisi fut celui de l'informatique qui avait l'avantage de poser les trois problèmes à la fois.

Ces questions furent traitées dans un mémoire de DEA, soutenu au printemps 1987 au Centre Science, Technologie et Société du CNAM. Quelques mois plus tard, un concours de circonstances, mon désir de mobilité après six ans au CNRS et l'hospitalité du professeur Jean-Jacques Salomon m'amenaient à demander ma mise à disposition au CNAM comme enseignant-chercheur.

L'étude du cas de l'informatique au CNRS débouchait sur le problème plus général du retard et des péripéties du développement de ce domaine en France. Les hésitations ou les prudences du Comité national et du CNRS ne suffisaient pas à en rendre compte. Il fallait examiner le rôle des autres gestionnaires de la recherche : DGRST, instances universitaires, armée, plus tard délégation à l'informatique et I(N)RIA. L'action de ces institutions ne pouvait être comprise sans connaître les réalités du terrain, des laboratoires et des enseignements. Enfin il aurait été incohérent d'étudier les problèmes de l'informatique, « science de transfert », en négligeant les entreprises et leur stratégie de R&D, d'autant que la politique scientifique se muait progressivement en politique technologique puis en politique industrielle.

« RETARDS », « RATTRAPAGES » ET POLITIQUES PUBLIQUES

La question initiale à laquelle je voulais répondre s'inscrivait dans les préoccupations de politique technologique qui animaient le milieu professionnel où je travaillais alors, la direction du CNRS : pourquoi la France, qui possédait au départ les atouts nécessaires – quoique dans d'étroites limites et pratiquement sans droit à l'erreur –, n'a maintenu qu'avec de médiocres performances économiques son industrie de construction d'ordinateurs ? Bien que notre pays fût sorti exsangue de la guerre, un rattrapage s'esquissait visiblement dans quelques entreprises (Bull, SEA, etc.), au cours des années cinquante. Or, entre 1961 et 1964, cet essor retombe dans une série de fiascos qui laissent la concurrence américaine maîtresse du terrain : en calcul électronique, la France ne « transforme pas l'essai » alors qu'elle y parvient dans des domaines comparables comme le radar. Certes, deux décennies plus tard,

l'essor de la « télématique » et de la carte à puce, le dynamisme des firmes de service informatique, d'ingénierie et de jeux vidéo, témoigneront que, dans certains secteurs, l'informatique française peut être prospère. Pourquoi n'est-ce pas le cas dans le domaine capital des calculateurs, des progiciels ou des microprocesseurs ?

Cette question en impliquait une série d'autres. Les Français qui, tout comme d'autres, savent concevoir des ordinateurs (CAB 500, IBM 1401, Télémécanique 1600, Mitra, Micral), ou les fabriquer (usines de Bull et d'IBM France), voire les vendre (Bull, partie à la conquête du marché mondial dans les années cinquante), ne peuvent-ils réussir tout cela en même temps sur la longue durée ? Si l'une des faiblesses de l'industrie française est sa dispersion sectorielle, son obstination à rester présente sur tous les fronts face à des concurrents spécialisés, n'aurait-elle pas dû concentrer ses efforts sur quelques pôles de compétitivité, choisis en fonction de ses meilleurs savoir-faire et des domaines les plus profitables, et abandonner le reste, comme nous avons abandonné l'automobile de luxe, la sidérurgie lorraine et la pêche lointaine ? En informatique, la France qui a su renforcer sa position dans l'industrie des services et dans une moindre mesure du logiciel², n'aurait-elle pas mieux fait de laisser par exemple Bull devenir une filiale commerciale, technique et usinière de NEC, d'IBM ou d'Intel, sans plus de détours que ne l'a fait l'Angleterre lorsqu'elle a laissé Fujitsu prendre le contrôle d'ICL en 1990 ?

16

Ce débat, qui recoupe à la fois des disputes entre doctrines économiques et des conflits d'intérêts économiques, est récurrent dans les sphères de la politique industrielle. L'informatique est en effet, depuis 1963, l'objet de l'attention des pouvoirs publics. Elle a subi l'évolution des logiques d'intervention des gouvernements successifs de la V^e République. Comme on a pu l'écrire à propos de l'électronique³, elle a été l'objet de toutes les variétés possibles d'approches de politique industrielle que peut envisager un État :

- une approche libérale, de l'après-guerre jusqu'à 1963, où chaque administration menait sa propre politique et passait des contrats avec les firmes qui se présentaient sur le marché ;
- une approche dirigiste du pouvoir gaulliste, visant à organiser l'émergence d'une industrie nationale complète et intégrée, ainsi qu'à développer son marché, dans une perspective européenne ;

2 L'industrie française n'a su ni maintenir ses positions face à la concurrence en informatique, en audiovisuel grand public et dans les composants, ni participer à la formation de nouveaux marchés. Certes, elle est devenue performante dans le service et le conseil en informatique, dans les télécommunications depuis les années 1970 et dans l'électronique militaire. Mais, là aussi, ses positions sont battues en brèche.

3 C. Le Bolloc'h-Puges, *La Politique industrielle française dans l'électronique*, Paris, L'Harmattan, 1991.

- une logique de spécialisation, à la fin des années soixante-dix, sous les gouvernements giscardiens qui estimaient qu'un pays de la taille de la France ne pouvait être compétitif partout et devait concentrer ses efforts sur un nombre limité de branches, en priorité les télécommunications et l'électronique professionnelle ou militaire ;
- une politique socialiste, renouant avec le dirigisme gaulliste, mais appuyée sur des nationalisations au début des années 1980, menée par un État qui faisait de l'électronique une bannière, et qui apparaît aujourd'hui comme une brève parenthèse ;
- enfin, une politique de désengagement public, inspiré d'une logique libérale plus affirmée que toutes celles des décennies antérieures, en phase avec la construction supranationale européenne.

Derrière cette apparente liberté des choix politiques successifs, quelles ont été les contraintes et les déterminations imposées par les cheminements technologiques passés ? Et en quoi ces choix politiques ont-ils à leur tour modifié les évolutions technologiques et économiques ?

L'enjeu est de taille. De 1984 à 1990, face à une demande mondiale (tous secteurs confondus) qui a progressé de 19 %, la France a perdu 10 % de ses parts de marché pendant que l'Italie en gagnait 9 %, l'Allemagne 14 % et le Japon 23 %⁴. Elle est tombée au quinzième rang mondial pour la productivité en 1990, signe d'une automation hésitante⁵ ; et au 25^e rang en 2001. En 1995, le résultat financier total du secteur « machines de bureau et matériel informatique » français était négatif (- 713,4 MF), tout comme le résultat du secteur « matériel de mesure et de contrôle » (- 3024 MF)⁶. En informatique, du reste, la faiblesse française est celle de l'Europe en général : l'industrie électronique de l'Union européenne ne couvrait à la fin du xx^e siècle que 75 % de ses besoins, à comparer avec les 140 % du Japon. Cette différence se traduit par un déficit de la balance européenne des paiements dans le secteur électronique⁷.

Or l'informatique reste une activité stratégique, malgré la « banalisation » des matériels diffusés dans le grand public. D'une part, sur le plan militaire, la maîtrise des composants et des systèmes les plus performants n'a pas cessé d'être l'atout décisif que le régime gaulliste identifiait lors du lancement du Plan Calcul. Les événements récents l'ont montré : supériorité américaine en

4 J.-L. Levet, *Une France sans usines ?*, Paris, Economica, 1990.

5 *World Competitiveness Report* International Institute for Management Development (IMD), Lausanne, 1991. L'indice de productivité est calculé à partir de 330 critères.

6 *Situation de l'industrie, Enquête annuelle d'entreprise*, Paris, ministère de l'Industrie-SESSI, édition 1996, t. 2, p. 22.

7 F. Lemaître, « Bruxelles veut sauver l'industrie électronique européenne », *Le Monde*, 26 mars 1991, p. 19.

matière de *Command, control & intelligence* lors de la Guerre du Golfe de 1991, nécessité de disposer des meilleurs super-ordinateurs pour simuler les explosions nucléaires au lieu de les expérimenter... Super-ordinateurs dont la conception n'appartenait qu'à deux nations : les États-Unis (Cray) et le Japon (Fujitsu)... jusqu'à ce que Bull réussisse une percée sur ce créneau dans les années 2000.

D'autre part, sur le plan économique, les « Nouvelles Technologies de l'Information » (informatique et télécommunications digitalisées) font figure de moteur d'activité et de prospérité. « Alors que le commerce mondial a augmenté d'environ 6 à 7 % par an, le commerce des NTI a crû deux fois plus vite et il en est de même pour la croissance de la production »⁸ soulignent Christopher Freeman et Luc Soete, rappelant que la France est tombée au 9^e rang des exportateurs avec seulement 4 % des exportations mondiales en 1989. Encore plus important, « les NTI sont un stimulant au développement économique qui se répercute de proche en proche dans tous les secteurs de l'économie »⁹ – ce que F.-R. Raymond expliquait déjà au général de Gaulle en 1966. Il ne s'agit pas seulement du traitement de l'information « tertiaire », malgré les affirmations un peu légères des prophètes du post-industrialisme, mais aussi du changement profond des méthodes de production industrielle, de l'automation sous toutes ses formes.

18

Ces problèmes sont des formes particulières d'une question centrale dans toute réflexion stratégique : faut-il se cantonner aux domaines dans lesquels on est doué, en les adaptant aux circonstances nouvelles, au risque de s'identifier à des activités ou à des approches condamnées par l'évolution ? Vaut-il mieux se consacrer aux activités les plus porteuses du moment, en payant le « ticket d'entrée » parfois très coûteux dans un domaine où l'on est novice et en prenant le risque d'y rester suiveur ? Bref, comment concilier ou articuler son identité avec un environnement évolutif ? Et quelle est la part laissée à la décision dans ces dilemmes, sachant que bien souvent les choix découlent des structures, les structures reflétant elles-mêmes des cultures et des représentations ?

Au fond de ces interrogations se pose le problème du « retard français », omniprésent dans les discours des acteurs¹⁰. Il ne se limite pas à l'informatique : ce thème très ancien remonte sans doute aux guerres d'Italie. Il obséda la monarchie absolue, face à une Hollande puissante et jalouée, puis à la perfide Albion, avant de se fixer sur la menace allemande, le défi américain, le péril

8 C. Freeman et L. Soete, « Les Nouvelles Technologies de l'Information et l'emploi », dans C. Freeman et H. Mendras (dir.), *Le Paradigme informatique. Technologie et évolution sociale*, Paris, Descartes et Cie, 1995, p. 24.

9 *Ibid.*, p. 30.

10 Du point de vue de l'historien, le « retard français » en informatique a au moins un avantage : notre historiographie n'est jamais encombrée par les vaines discussions sur « qui a inventé le premier ordinateur ? », familières à nos collègues allemands, anglais ou américains.

japonais¹¹. La « grande nation » s'est toujours sentie, sous un rapport ou sous un autre, affaiblie par quelque « retard ». Ses voisins aussi, du reste¹².

Les historiens ont montré quels faux problèmes cette notion recéléait. Retard national ? Sur quel horaire ? Pour quel rendez-vous, fixé par qui ? On pense à ces films muets dont le héros égaré, fuyant quelque gendarme, se retrouve par hasard courir à toutes jambes dans une épreuve sportive où l'enjeu est un rang alors qu'il sauvait sa vie. Comme l'écrit Jean Bouvier, qui attaque vertement les schémas simplistes d'une France « malthusienne » propagés par Alfred Sauvy, aucune malédiction particulière n'a pesé sur la longue histoire de notre pays ; les dynamismes l'ont toujours emporté sur les inerties ; « selon un style et une allure propre, objets des analyses révisionnistes, la France, elle aussi, avait changé, tout au long d'une série de modernisations, depuis le XVIII^e siècle » ; et « la notion d'un "retard" français par rapport à une économie industrielle proclamée modèle (l'anglaise, puis l'allemande, puis la japonaise) était méthodologiquement fautive »¹³. François Caron souligne « les biais subis par la technologie française au XIX^e siècle. Le plus évident est un biais exactement inverse de celui des États-Unis : la France est un pays de ressources rares et chères, en particulier dans le domaine énergétique »¹⁴. D'où un cheminement technologique national nécessairement différent, et qui s'épuiserait en vain dans l'imitation d'un autre « modèle »¹⁵.

Ce qui surprend plutôt lorsqu'on explore le passé, c'est de découvrir la vitalité entrepreneuriale française, malgré les contraintes qui pèsent sur l'entrepreneur. À l'époque où apparaît l'informatique, la France est le seul pays, à part les fondateurs que sont les États-Unis et l'Angleterre, où l'on trouve les trois catégories de firmes qui ont construit des calculateurs électroniques : constructeurs mécanographiques, industrie électronique, nouveaux entrants spécialisés.

11 « Depuis 1870, la France avait accumulé les retards » affirme avec autorité Jean-Marie Albertini dans un manuel sur *L'Économie française*, qui a formé des cohortes d'étudiants (*L'Économie française*, Paris, Le Seuil, 1978, p. 9).

12 « Proposez à l'un de nos concitoyens une idée ou un instrument nouveau, quelque admirable qu'il soit, et vous observerez que votre interlocuteur fera tout pour y déceler une difficulté, un défaut ou une impossibilité. Si vous lui parlez d'une machine à peler les pommes de terre, il la jugera irréalisable ; si vous pelez une pomme de terre devant lui, il objectera que la machine ne sert à rien puisqu'elle ne pèle pas aussi les ananas. Faites la même expérience avec un Américain [...] et vous observerez qu'il cherche de tout son cœur à trouver une nouvelle application à l'idée, un nouvel usage à l'instrument ». Ces mots amers, écrits en 1852, ne dénigrent pas la France, mais l'Angleterre, et sont de la plume de Babbage (cités dans « Charles Babbage and the first computer », *IEE Review*, London, juin 1991).

13 J. Bouvier, « Libres propos autour d'une démarche révisionniste », dans P. Fridenson et A. Straus (dir.), *Le Capitalisme Français, 19^e-20^e siècles : Blocages et dynamisme d'une croissance*, Paris, Fayard, 1987, p. 20.

14 F. Caron, *Le Résistible déclin des sociétés industrielles*, Paris, Perrin, 1985, p. 170.

15 J. de La Fontaine, « La grenouille qui veut se faire aussi grosse que le bœuf », *Fables*, I-3.

Les ressources et limites naturelles mises à part, il y a, certes, des blocages, mais ce ne sont jamais des tares héréditaires : ils sont historiquement datés et explicables (les chapitres qui suivent en donneront un exemple offert par l'histoire des sciences : la faible demande de calcul dans la France des années vingt à quarante ; et son processus de déblocage). Ces blocages relèvent rarement de caractères purement psychologiques ou de « comportements irrationnels ».

François Crouzet rappelle à la réalité :

Les décisions stratégiques des industriels furent dictées principalement par les conditions objectives qui régnaient dans chaque pays ou dans chaque région, par les possibilités en matière de marchés, par la dotation en facteurs, et le niveau relatif de technologie à leur disposition [...]. Les « valeurs sociales » ou les aptitudes « nationales » à l'esprit d'entreprise et à l'innovation jouèrent un rôle beaucoup moins important¹⁶.

20 L'histoire des entreprises d'informatique confirme cette observation. C'est seulement après avoir recensé les « conditions objectives », les facteurs matériels, les contraintes économiques, techniques, juridiques, que l'on peut tenter d'isoler des facteurs psychologiques ou idéologiques – le résidu de l'analyse, dirait un chimiste – sans se perdre dans un fourre-tout socio-culturel.

Pourtant, ces démonstrations savantes n'ont pas eu de prise sur l'opinion commune : essayistes, journalistes, politiques, quémandeurs de crédit, picorant dans la rhétorique des sciences sociales, n'ont pas cessé de déplorer le « retard », de dénoncer les « blocages » dus aux « mentalités » qui caractériseraient la France de façon permanente. Si ce sentiment perdure et se propage, malgré l'avis de la faculté, il doit y avoir une raison, bonne ou mauvaise, mais qui vaut la peine d'être élucidée. D'autant que le souci de rattraper le retard technologique ou de ne pas se laisser « distancer » est le moteur des programmes de R&D lancés par les entreprises comme par l'État.

Les notions de retard ou d'*infériorité* n'auraient pas de sens si l'on considérait chaque pays comme un isolat replié sur ses logiques internes. Mais elles renvoient à des rapports de force internationaux et à cette référence fondamentale qu'est la grande départageuse des nations : la guerre, sous ses formes techniques,

16 F. Crouzet, *De la supériorité de l'Angleterre sur la France*, Paris, Perrin, 1983, p. 341. Sur le long XIX^e siècle, l'économie française a été durablement handicapée par les pertes dues aux bouleversements et aux guerres de la Révolution et de l'Empire ; notamment, en 1815, le traité de Vienne imposa à la France la plus écrasante indemnité de guerre « qu'un pays vaincu ait jamais dû payer par rapport à son produit national » (700 millions de francs de l'époque), selon les calculs de l'économiste américain Eugen White (cité par F. Crouzet, « C'est l'Angleterre qui a gagné la guerre », *Les Collections de l'Histoire*, 2003, n° 20, p. 79). C'est beaucoup, beaucoup plus que les réparations imposées en 1919 par le traité de Versailles, dont l'Allemagne n'a d'ailleurs payé qu'une partie. Face à cette amputation de la capacité d'investissement française, que pèsent les « facteurs culturels » ?

militaires ou économiques. Quand le meilleur avion de chasse français est distancé de 30 km/h par le Messerschmitt 109, et que ce genre de décalage coûte 100 000 morts au pays en quelques semaines de combats, comment effacer la hantise d'un « retard » dans la mentalité collective ? Et comment empêcher celle-ci de le décliner de toutes les manières quand le même phénomène semble se reproduire, quand les calculateurs, les circuits intégrés, les langages de programmation français sortent sur le marché deux ans après leurs équivalents américains¹⁷ ?

L'étude de la notion de « retard » conduit à examiner l'expérience vécue par les acteurs, en particulier à s'intéresser au problème de l'échec technique, qui à son tour renvoie à la gestion de projets.

Par ailleurs, la métaphore du retard reflète toujours des images de technique guerrière. Les « blocages » sont à l'économie ce que les *reverse salients* de T. P. Hughes sont au progrès technique¹⁸, ce que le français appelle un saillant (de quel côté du front que l'on se trouve) ou une poche de résistance, à réduire ou à contourner. Le simple fait de parler de « blocages » et de « déblocages » implique l'idée complémentaire de mouvement, d'avancée ; et il s'agit toujours de croissance et d'innovation, que l'on mesure et compare d'un pays à l'autre. Un pays qui comporte plus de « blocages » qu'un autre inventera certes des méthodes originales pour les surmonter ; mais il avancera moins vite, ou plus coûteusement. Bref, parler de « blocages » c'est implicitement se placer dans la perspective d'une comparaison des rythmes de développement entre les nations (ou les firmes) : c'est implicitement parler d'avance et de retard.

Il faut donc choisir : ou prendre cette métaphore dans son ensemble, avec toutes ses implications, et admettre l'idée d'une direction générale du progrès,

17 La notion imprègne les gagnants comme les perdants. Au Forum économique mondial de Davos, en février 1997, Bill Gates s'est taillé un succès en dressant un constat sans concession sur la situation européenne en matière de technologies de l'information. « Pour le fondateur de Microsoft en effet, même s'il existe quelques heureuses initiatives en Europe, les États-Unis sont loin devant leurs concurrents – le fossé avec l'Europe aurait d'ailleurs tendance à se creuser – et personne ne pourra les dépasser. Il a été rejoint sur ce terrain par Andrew Grove, président d'Intel, qui a directement mis en cause le « déficit technologique » européen. À l'appui de ses affirmations, ce dernier a cité des chiffres : il y a dix fois plus d'utilisateurs du courrier électronique aux États-Unis que dans toute l'Europe et 6 % seulement des patrons français, contre 40 % aux États-Unis, s'apprentent à utiliser le Web comme instrument professionnel au cours de l'année 1997. Or, dans le contexte mondialisé, le retard européen en matière d'information pourrait coûter très cher aux entreprises. Il revient donc aux Européens de s'impliquer plus fortement dans ce domaine, ont conclu les deux patrons prosélytes, devant un public composé en majorité de scientifiques, de politiques et d'économistes du Vieux Continent » (*Lettre de la Mission scientifique et technologique*, Ambassade de France à Washington, février 1997). C'est ainsi que d'un même mouvement, un pays ou un ensemble d'entreprises mène le jeu et en fixe les règles.

18 T. P. Hughes, *Elmer Sperry. Inventor and Engineer*, Baltimore & London, John Hopkins University Press, 1971.

sinon d'un modèle unique, avec la sanction périodique des confrontations entre les grands groupes humains. Ou adopter une autre image, celle des projets en concurrence à l'intérieur d'un de ces groupes. En effet, si l'on ne regarde pas l'histoire uniquement avec les yeux des vainqueurs, on ne peut considérer comme le fait J. Bouvier¹⁹ qu'il y a d'un côté des « forces dynamiques », de l'autre des « pesanteurs » et des « inerties ». Il ne s'agit pas de rochers bloquant une route, il s'agit de groupes sociaux qui ont *tous* des projets d'avenir.

22

Bien sûr, lorsque l'on interviewe les pionniers de l'informatique, l'on recueille de très convaincantes dénonciations du « conservatisme des mathématiques pures » ou de l'engluement de certains industriels dans les machines à cartes perforées (dû, pourquoi pas, à l'intérêt égoïste des papetiers, on verra ce qu'il en est en réalité). Mais l'enquête montre ensuite que le groupe Bourbaki est lui-même un mouvement extrêmement novateur qui a ses objectifs, ses conceptions de la science ; et que les ingénieurs de la mécanographie multipliaient les innovations et ne se percevaient nullement comme un secteur en déclin, encore moins comme un poids mort. On s'est donc efforcé de considérer avec une égale compréhension les différents protagonistes de cette histoire, en essayant de voir pourquoi les évidences des uns n'étaient pas celles des autres.

HISTORIOGRAPHIE

L'histoire des machines à calculer est presque aussi vieille que ces machines elles-mêmes. Elle est due, d'abord, à leurs inventeurs : des hommes comme Thomas, Roth, Couffignal situaient en effet leurs inventions dans une filiation, dans des lignées d'architectures de machine ; et, souvent, ils reprenaient un problème ancien avec des moyens techniques neufs. Cette tradition a produit, aux XIX^e et XX^e siècles, des œuvres allant de la brochure publicitaire à contenu historique jusqu'à la somme érudite d'histoire interne des techniques. Cela jusqu'à l'arrivée de l'ordinateur qui a totalement rompu avec ces généalogies.

Cette filière historiographique en a rejoint d'autres au cours des années soixante-dix, d'abord en Angleterre et aux États-Unis²⁰. Époque où les pionniers du calcul électronique arrivaient à l'âge de la retraite, à l'âge du mémorialiste. Deux colloques, à la Royal Society de Londres en 1975 et à Los Alamos en 1978,

¹⁹ *Ibid.*, p. 13.

²⁰ L'ouvrage d'Herman Goldstine, *The Computer, from Pascal to Von Neumann*, Princeton, Princeton University Press, 1972, constitue un point de repère et une transition dans l'historiographie du calcul. Un bref chapitre passe en revue les réalisations européennes. Huit lignes évoquent la France (p. 353), à travers trois figures : Couffignal, le Bull Gamma 3, et la SEA « *formed by F.-H. Raymond, an exceedingly good engineer* ».

les rassemblèrent et donnèrent une visibilité à ce nouveau sujet. La crise économique incitait à tourner un regard rétrospectif vers les Trente Glorieuses²¹ et à faire le bilan des changements vertigineux accomplis en l'espace d'une vie humaine par la technologie.

D'ailleurs, il ne s'agissait plus seulement de technologie. Des fortunes s'étaient bâties sur l'informatique, et ce mot désormais évoquait plus la multinationale que le laboratoire. Les anciens ingénieurs qui commençaient à écrire leur passé retraçaient des histoires d'entreprises autant que de machines. En outre, l'ouverture progressive des *records* de Londres et de Washington révélait le rôle joué par les appareils cryptanalytiques dans la victoire alliée : le traitement de l'information avait contribué à décider du sort de la civilisation. Si la majeure partie des publications restait encore centrée sur la recherche et l'innovation, et à bon droit, l'histoire de l'informatique pouvait désormais s'intégrer à la « grande histoire ».

C'était notamment l'opinion d'Erwin Tomash, un électronicien qui avait fait ses premières armes chez ERA (ancêtre de Control Data), et qui avait fait fortune en développant des périphériques. En 1979, Tomash décida de consacrer une partie de sa richesse à cette cause en finançant la fondation du Charles Babbage Institute à l'université du Minnesota. En même temps paraissait une revue spécialisée, les *Annals of the History of Computing*. Grâce notamment à ces deux institutions, et à d'autres instances professionnelles ou académiques (IEEE, Business History Conference, SHOT, ICOHTEC, MIT, etc.), se sont multipliés depuis lors les articles, les livres, les mémoires, les thèses, ainsi que les opérations de sauvetage et de classement d'archives.

L'intérêt pour l'histoire de l'informatique est apparu en France avec un décalage de cinq à huit ans par rapport aux pays anglo-américains – le même décalage observé, quatre décennies plus tôt, dans l'émergence de l'informatique elle-même. Après de longues années de méfiance, voire d'ignorance réciproque, l'université s'intéressait à la technique et à l'industrie qui, de son côté, ouvrait certaines archives. À l'origine de ces curiosités nouvelles se trouvaient la fin de la prospérité et la crise²², le grand retournement idéologique de la fin des années soixante-dix (l'intérêt a surpassé l'aversion pour le capitalisme et l'entreprise) et, après 1981, ce que l'on peut appeler l'effet Chevènement : la science et la technologie sortiraient la nation de son

21 J. Fourastié, *Les Trente Glorieuses, ou la révolution invisible de 1946 à 1975*, Paris, Fayard, 1979.

22 Voir les publications de J.-P. Daviet et H. Hamon sur l'histoire d'entreprise. L'histoire de la technique et l'histoire des entreprises avaient déjà en France un long passé, mais étaient restées institutionnellement fragiles.

déclin. Ouverture d'esprit doublée d'une nostalgie qui se transférait de la France rurale²³ à la France industrielle, devenue à son tour, et plus vite que prévu, objet de musée.

24

Cette évolution était visible, justement, dans les musées. Ainsi, depuis longtemps existaient en France des collections d'outils et de machines à calculer : bouliers, abaques, arithmomètres, règles de Neper, etc. C'est généralement comme instruments scientifiques, témoins de l'histoire des mathématiques, que ces ensembles avaient été réunis, en premier lieu au Conservatoire national des Arts et Métiers, mais aussi dans la collection Malassis acquise par IBM. Lorsque les objets informatiques sont entrés à leur tour dans les musées, au cours des années 1980, ce fut dans un esprit tout différent : comme éléments du patrimoine industriel et comme symboles d'une révolution dans les rapports entre l'homme, la machine et la pensée. On prenait conscience que le progrès accéléré de ce domaine risquait d'en reléguer les souvenirs matériels aux oubliettes de l'histoire. Des associations se créaient dans cet esprit de « culture technique » et commençaient à sauvegarder objets et documents²⁴, avec un dévouement qui mériterait plus de soutien de la part des pouvoirs publics. À La Villette, la Cité des sciences et de l'industrie accueillait elle aussi des matériels informatiques des années soixante et soixante-dix. Chez Bull, des dirigeants éclairés soutenaient la constitution à la fois d'un fonds d'archives historiques et d'une collection de machines mécanographiques qui, aujourd'hui restaurées, représentent l'un des rares ensembles de ce type dans le monde²⁵.

Simultanément, les pionniers français de l'informatique commençaient à émuler leurs collègues d'outre-Atlantique. Venus à l'histoire par la passion professionnelle, René Moreau (*Ainsi naquit l'informatique*, 1984) et Robert Ligonnière (*Préhistoire et histoire de l'ordinateur*, 1987) offraient aux lecteurs les fruits de leur érudition. Avec l'*Histoire de l'informatique* de Philippe Breton (1987), au tropisme cybernétique, ces livres précédèrent de peu l'organisation du premier colloque sur l'histoire de l'informatique en France, à Grenoble en 1988. Cette réunion, où universitaires et industriels, spécialistes des sciences dures et

23 Rappelons les succès de Henri Vincenot, Pierre Jaquez-Hélias et du *Montailou* d'Emmanuel Leroy-Ladurie.

24 Citons notamment l'ACONIT qui a organisé des expositions et réuni à Grenoble une collection d'une extrême richesse, mais qui est toujours à la recherche de locaux pour l'installer définitivement, faute d'une politique durable des collectivités territoriales ; l'AMISA à Sophia-Antipolis, l'AIHTI, le CRIA/CAO.

25 Plaider devant la Caisse nationale des monuments historiques pour faire inscrire la tabulatrice Bull T 30 à l'inventaire du patrimoine a été une intéressante expérience de valorisation de la recherche historique... La Fédération des équipes Bull réalise, avec une remarquable continuité depuis près de 30 ans, un travail admirable de sauvegarde et de mise en valeur du patrimoine des diverses entreprises qui ont constitué la société depuis 1931.

des sciences humaines, entreprenaient ensemble de comprendre quarante ans « d'expériences, de réussites, d'échecs, d'impasses et d'erreurs », montra avec éclat l'intérêt profond et parfois passionné que suscitait l'histoire de l'aventure informatique sous ses aspects les plus divers. Je contribuai à lui donner une audience internationale en organisant la traduction et la publication d'un choix d'articles dans les *Annals of the History of Computing*, en collaboration avec Martin Campbell-Kelly.

Ce succès décida les organisateurs à poursuivre l'opération, en suscitant de nouvelles réunions dans des « lieux de mémoire » de l'informatique française : le Conservatoire national des Arts et Métiers à Paris (1990), l'INRIA à Sophia-Antipolis (1993), l'IRISA à Rennes (1995), l'ENSEEIH à Toulouse (1998), l'INP Grenoblois à nouveau (ACONIT & AHTI, 2002), l'École supérieure d'application des transmissions à Rennes (2004). Il fallait répondre à l'intérêt d'un public varié et international, continuer à recueillir les témoignages et les analyses des acteurs et des pionniers, intensifier la collaboration entre ceux-ci et les historiens, associer d'autres disciplines, notamment la sociologie et l'économie ; et susciter des vocations historiennes. On devait élargir les thèmes au-delà de l'histoire des ordinateurs et de la programmation : l'histoire des sociétés de service et de conseil en informatique, les rôles respectifs de la recherche scientifique et technique, de la demande des marchés et de la stratégie et de la personnalité des firmes dans la genèse des produits. Enfin, on avait à coeur de comparer l'histoire de l'informatique en France à l'histoire de l'informatique dans d'autres environnements nationaux et d'inviter des historiens étrangers de l'informatique à exposer leurs travaux en France.

Les neuf volumes des actes de ces colloques constituent une mine d'informations. Plusieurs dizaines d'articles, re-travaillés en fonction des discussions, ont été publiés dans des revues françaises ou étrangères. L'historiographie française s'est ainsi insérée dans une communauté internationale de spécialistes qui, jusqu'au premier colloque de Grenoble, était presque exclusivement anglo-américaine.

Cet effort a été repris et organisé, au début du XXI^e siècle, par l'Association pour l'histoire des télécommunications et de l'informatique (AHTI) : soutien aux travaux universitaires par des bourses de recherche, organisation de colloques internationaux, de journées d'études et de cycles de conférences plus ciblés, notamment sur les « Premiers réseaux de données en France »²⁶, « L'évolution de la gestion des grandes organisations, 1955-1975 » (CNAM, 2001), « Les sociétés de service informatique » (STERIA, 2003), « La micro-informatique

26 L'essentiel des interventions a été publié dans le n° 29 de la revue *Entreprises et Histoire*, juin 2002.

en France et en Europe : 30^e anniversaire du micro-ordinateur » (musée des Arts & Métiers, 2003), les « contributions du centre d'études et de recherches d'IBM de La Gaude » (2005), « Deux grands projets : La commutation téléphonique temporelle (du central Platon à l'E10) et le système d'exploitation Bull GCOS7 » (2005), « La mécanographie à cartes perforées » (2007).

SCIENCES, TECHNIQUES ET INDUSTRIE DANS L'HISTOIRE : NOUVELLES APPROCHES

Par ailleurs, l'étude de l'émergence de l'informatique a coïncidé avec un renouveau profond dans l'histoire universitaire des sciences, des techniques et de l'industrie.

26 Du côté des philosophes des sciences, un intense mouvement d'intérêt convergeait autour de la « révolution logique » des années trente, des problèmes de la calculabilité et de la décidabilité, produisant biographies intellectuelles et analyses épistémologiques, notamment sur l'œuvre et la personnalité de A. M. Turing²⁷.

Plus largement, de nouvelles approches²⁸ bousculaient les conceptions d'une histoire traditionnellement liée à la philosophie des sciences, et plutôt centrée sur les sciences les plus « pures », ou sur l'histoire ancienne ou moderne, que sur le « temps présent » ou les sciences appliquées.

Du côté des historiens des mathématiques est apparu un intérêt nouveau pour des corpus et des acteurs rarement étudiés jusqu'ici²⁹. L'histoire des mathématiques est longtemps restée essentiellement internaliste, axée sur l'analyse des concepts et des grandes œuvres, dans une forte tradition épistémologique et érudite. Or, comme le souligne Hélène Gispert, cette histoire sélective qui s'attache aux aspects les plus « nobles » de la discipline (reflétant fidèlement la hiérarchie de valeurs du milieu mathématicien lui-même) donne une image

27 J. Mosconi, *La Constitution de la théorie des automates*, thèse de l'université de Paris I, 1989. J.-L. Chabert, E. Barbin, M. Guillemot et alii, *Histoire d'algorithmes. Du caillou à la puce*, Paris, Belin, 1994. J. Lassègue, *Turing*, Paris, Les Belles Lettres, 1998. D. Andler, « Turing : pensée du calcul, calcul de la pensée » dans F. Nef et D. Vernant (dir.), *Le Formalisme en question : le tournant des années 1930*, Paris, Vrin, 1998, p. 1-41. Un programme CNRS « Histoire de la calculabilité » a soutenu ces travaux dans les années 2000.

28 « Comment écrire l'histoire des sciences », n° de la revue *Le Débat*, novembre-décembre 1998. J. Roger, « L'histoire des sciences : problèmes et pratiques, histoire des sciences, histoire des mentalités, micro-histoire », avant-propos à *Les Sciences de la vie dans la pensée française au XVIII^e siècle*, (préf. de Claire Salomon-Bayet), Paris, Albin Michel, 1993. Y. Cohen & D. Pestre, « Présentation » du n° consacré à l'histoire des techniques, *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, juillet-octobre 1998, n° 4-5, p. 721-744.

29 Voir notamment les travaux d'A. Dahan Dalmedico (« L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis : l'impact de la seconde guerre mondiale », *Revue d'histoire des mathématiques*, 1996, t. II, fasc. 2, p. 149-213), de Michel Armatte, Martine Bungener et M.-E. Joël sur l'économétrie, de Denys Bayart sur le contrôle statistique de fabrication, de Bernard Bru et de Pierre Crépel sur les probabilités et la statistique.

biaisée de l'activité mathématique d'une époque, de ses priorités et de ses intérêts, de ses cadres culturels et institutionnels³⁰. Réagissant à ce défaut et cherchant à s'insérer dans l'histoire générale, une tendance récente a fait apparaître de nouveaux objets d'investigation jusque-là demeurés obscurs. C'est notamment le cas des mathématiques appliquées, de leur enseignement, des travaux de recherche qui en relèvent – peu prestigieux, parfois secrets, car souvent liés à des contrats industriels ou militaires et à leur aspect le plus modeste, le plus « trivial » comme disent les mathématiciens : le calcul, la partie matérielle du travail mathématique, qui se trouve en même temps aux marges, à la frontière entre les mathématiques et d'autres sciences.

En France, tandis que Jean Marguin continuait, en la renouvelant, l'historiographie classique des instruments et machines à calculer³¹, un groupe se formait pour étudier les anciens instruments graphiques ou mécaniques du calcul et leur emploi, animé notamment par Karine Chemla, Marie-José Durand-Richard et Dominique Tournès qui organisèrent successivement des journées d'étude sur les instruments de calcul, en 2004, et une exposition « Venez prendre l'aire » au CNAM³². Simultanément, Françoise Le Guet-Tully, puis Jérôme Lamy, ouvraient le chantier de l'histoire des observatoires astronomiques et de leurs pratiques de recherche.

Cet aspect de l'histoire des mathématiques ouvre d'ailleurs de fort intéressantes perspectives sur les relations entre « la reine des sciences » et la société environnante : les mathématiques n'évoluent pas seulement par la dynamique interne de leurs concepts. Ainsi, comme on le verra, ce sont des gouvernements, soucieux de compétitivité aéronautique, qui ont impulsé à partir de 1924 le développement de la mécanique des fluides en France, initiant l'une des premières opérations de politique scientifique. De même, on peut mettre en évidence le *lobbying* exercé vers 1950 par la Société française des électriciens pour renforcer et réorienter l'enseignement des mathématiques appliquées dans la formation des ingénieurs, *lobbying* qui favorise la création des premières équipes d'informatique universitaires.

L'histoire de l'informatique présente de plus l'intérêt d'étudier l'évolution qui mène une activité technique « dominée », scientifiquement marginale, peu visible, sans noblesse académique, à devenir « dominante » au point d'absorber les disciplines qui lui ont donné naissance.

30 H. Gispert, « Nouvelles sources, nouveaux intérêts en histoire des mathématiques », *Revue de l'association Henri-Poincaré*, n° 1, décembre 1984, p. 19-21.

31 J. Marguin, *Histoires des instruments et machines à calculer. Trois siècles de mécanique pensante*, Paris, Hermann, 1994.

32 Ce travail collectif a été soutenu par le programme CNRS « Histoire des savoirs », son projet exposé en particulier par D. Tournès, « Pour une histoire du calcul graphique », *Revue d'histoire des mathématiques*, 2000, n° 6, p. 127-161.

Une évolution similaire s'observe dans l'étude des techniques de gestion. L'histoire des doctrines comptables s'est développée traditionnellement dans la mouvance de l'histoire des idées économiques et reflète les centres d'intérêt de l'élite de la profession, les experts-comptables³³. S'y ajoutent désormais des études d'histoire sociale et technique sur la vie quotidienne dans les administrations, sur les méthodes, l'organisation et l'outillage des bureaux³⁴. Pour reprendre une expression de Fernand Braudel, l'histoire de l'informatique relève d'abord des techniques du quotidien, mais elle conduit rapidement aux autres niveaux d'observation. À la lisière de ces études, l'histoire des techniques d'information a rejoint les controverses sur l'attitude de l'administration française sous l'occupation allemande, avec la mise en question du rôle du service national des statistiques dans le fichage des juifs³⁵.

28

Par ailleurs, l'idée reçue d'une France scientifique hypercentralisée (« Paris et le désert français ») a été fortement nuancée depuis vingt ans³⁶. D'une part, les historiens ont étudié les réformes républicaines de la fin du XIX^e siècle, qui ont profondément transformé l'université « napoléonienne » et multiplié en Province les facultés des sciences et leurs instituts technologiques. D'autre part, on a découvert les multiples initiatives locales qui, depuis le milieu du XIX^e siècle, sans rien demander à Paris, créaient, selon les besoins, formations techniques, écoles d'ingénieurs, laboratoires d'essais. Décrire la science française comme hypercentralisée revenait en fait à reproduire l'échelle de valeurs des savants les plus puristes, rejetant les sciences appliquées dans l'obscurité. Or c'est dans la géographie des pôles provinciaux de sciences appliquées, à travers les relations entre les facultés, les entreprises locales et certains partenaires parisiens que se sont développées les premières équipes françaises de calcul, de programmation et d'automatique.

C'est dans un esprit comparable que l'on a abordé l'histoire de l'industrie informatique et sa grande variété de firmes et de cultures professionnelles. Là

33 Très représentative à cet égard est la revue britannique *Accounting, Business & Financial History*.

34 Voir notamment les travaux de Bruno Delmas, Guy Thuillier, Delphine Gardey, Ludovic Cailluet en France, de JoAnne Yates aux États-Unis, de Jan Van den Ende aux Pays-Bas. La thèse de Delphine Gardey, *La Dactylographe et l'expéditionnaire. Histoire des employés de bureau, 1890-1930* (Paris, Belin, 2001), sur laquelle on reviendra dans un autre volume, analyse finement les relations entre l'évolution des techniques mécanographiques et l'histoire sociale des organisations et des personnels administratifs.

35 J.-P. Azéma, R. Lévy-Bruhl, B. Touchelay, *Mission d'analyse historique sur le système de statistique français de 1940 à 1945*, Paris, INSEE, 1998 ; et Robert Carmille, *Les Services statistiques français pendant l'Occupation*, Paris, s.n., 2000.

36 On trouvera une synthèse dans F. Birck et A. Grelon (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine. Enseignements industriels et formations technico-scientifiques supérieures, XIX^e-XX^e siècles*, Metz, Éditions Serpenoise, 1998.

aussi, il fallait éviter de focaliser l'intérêt uniquement sur l'activité la plus noble, l'innovation radicale, et sur ses audacieux promoteurs. L'histoire des techniques ne peut se limiter à l'histoire de l'innovation, pas plus que l'histoire des entreprises ne se borne à glorifier les gagnants. Il faut non seulement examiner les multiples activités (perfectionnements adaptatifs, trucs de métier, action commerciale) qui font passer l'innovation majuscule, comme l'ordinateur, du stade conceptuel au produit accepté par de nombreux utilisateurs, mais aussi examiner avec le même intérêt les techniques et les conceptions étiquetées « en déclin ». Celles-ci se considèrent rarement comme condamnées, et les améliorations dont elles font l'objet pour résister à la concurrence de la technologie nouvelle obligent celle-ci à s'adapter, à récupérer parfois des savoir-faire anciens : les techniques en déclin participent à la fois de la résistance et du mouvement.

Dans le même ordre d'idées, enfin, il m'est vite apparu insuffisant de limiter l'enquête sur l'action de l'État à la « politique industrielle » ou « technologique » telle que l'affiche le discours officiel. Même en l'absence de tout programme volontariste, les administrations prennent, vis-à-vis d'une technique et d'une industrie, de multiples décisions quotidiennes : réglementation, appels d'offres, achats d'équipement, mesures fiscales ou douanières, choix de fournisseurs, etc. Cet ensemble d'actions des services exerce un effet structurant, induit des lignes de force et de faiblesses dans le tissu technologique et industriel, et conditionne le lancement d'éventuelles politiques gouvernementales, comme on le verra pour le Plan Calcul.

Étudier ces myriades de décisions partielles donne évidemment une image de l'État qui ne permet plus de considérer celui-ci comme un sujet cohérent, au sens grammatical (« l'État décide que... »), mais comme le théâtre où de multiples acteurs interagissent et rivalisent pour mettre en œuvre leurs politiques, leurs visions particulières de l'intérêt général – car l'idéalisme et le sens de l'intérêt général ne sont pas toujours absents de ces luttes, au contraire.

L'État perd aussi son image de bloc homogène lorsque l'on situe l'informatique dans les relations internationales. Les États-Unis sont, après la guerre, la source principale de la technologie nouvelle, du nouveau paradigme, des crédits du Plan Marshall et des méthodes de productivité qui permettent et justifient l'achat de calculateurs. C'est avec cette super-puissance, avec les pays européens, avec les organisations internationales comme l'OTAN, que la France met en place des normes techniques, des alliances industrielles, de grands réseaux civils ou militaires qui constituent le système nerveux de la nation, suivant une métaphore de l'époque. La constitution de la force nucléaire stratégique elle-même, instrument de l'indépendance, s'effectue dans ce contexte d'interdépendance. Sous certains angles, on découvre une continuité presque matérielle entre ce

Saint des Saints de la souveraineté et certains réseaux industriels, financiers et scientifiques transnationaux.

Depuis la présentation de mes premiers travaux sur l'informatique française, je n'ai plus été le seul à chercher dans les archives les traces du calcul et de l'électronique d'antan.

30 Girolamo Ramunni, fort de sa double formation de physicien nucléaire et d'historien de la mécanique quantique, publiait des vues profondes sur les relations entre la physique, le calcul et la simulation, et déboulonnait des statues jusque-là intouchées : Couffignal, Deprez. Sa *Physique du calcul* proposait une histoire des machines mathématiques qui, donnant leur juste place aux calculateurs analogiques dans l'évolution des techniques, montrait le rôle des processus physiques dans la production d'informations numériques³⁷. Physique et mathématiques s'inspirent réciproquement : Von Neumann ne concevait pas autrement les mathématiques, et l'ordinateur est une manifestation de cette symbiose. Ramunni publiait ensuite une large synthèse sur la politique scientifique du régime gaulliste³⁸. Ce travail offrait un point de vue nouveau, notamment à travers les archives des comités de la DGRST. Mais ne risquait-on pas, entraîné par la richesse même de ces fonds, de surestimer le rôle de ce genre d'instances ? Sur l'industrie, peut-on se contenter des jugements à l'emporte-pièce portés par quelques universitaires ? Ne devait-on pas compléter ces points de vue en essayant de reconstituer ceux des entreprises et des différentes administrations ?

Dans une optique plus économiste, Antonio J. Botelho décrivait le redémarrage de l'industrie et de la recherche en électronique après la Libération³⁹ : l'aptitude à réaliser précocement des semi-conducteurs ne suffit pas à fonder, à terme, une industrie compétitive ; non seulement le marché français est relativement étroit, mais de multiples facteurs (socio-culturels, politiques, etc.) en font un débouché peu dynamisant pour des produits électroniques grand public. Le soutien financier des administrations, notamment militaires, ne compense pas ce défaut. Une politique gouvernementale de l'électronique est lancée au début des années soixante, dans le cadre de nouvelles instances fondées dans ce but. Mais elle reste fragilisée par le manque de cohésion des professionnels concernés, par le marché national qui reste « froid », ainsi que par une propension trop fréquente à vouloir résoudre les problèmes techniques en recourant à la recherche fondamentale. La politique de l'électronique laisse bientôt le devant de la scène à une politique de

37 G. Ramunni, *La Physique du calcul. Histoire de l'ordinateur*, Paris, Hachette, 1989.

38 G. Ramunni, « La mise en place d'une politique scientifique », dans *Colloque De Gaulle en son siècle*, Paris, Unesco, 1990.

39 A. J. Botelho, *Professionals Against the State: French Electronics Policy in Historical Perspective*, Cambridge, Ma., Ph.D., MIT, 1996.

l'informatique, en réaction aux difficultés des constructeurs d'ordinateurs. Cette analyse diffère d'un travail d'historien en ce qu'elle cherche une vision normative de ce qu'aurait dû être une « politique gouvernementale ».

Parallèlement, François Jacq analysait la reconstruction des sciences dans la France d'après-guerre à travers quatre institutions⁴⁰ : le CEA, actif non seulement dans le nucléaire mais aussi en électronique (création du LETI à Grenoble) ; le laboratoire du chimiste Charles Sadron, modèle d'entrepreneur de recherche à grande échelle ; la CSF qui, par-delà ses réalisations en électronique et sa contribution au rééquipement du pays, aspirait à réorganiser autour d'elle la recherche et la politique technologique nationales en ce domaine ; les services techniques de l'armement, dont les pratiques et les conceptions étaient remises en cause par les nouvelles technologies. F. Jacq a montré comment ces institutions, avec leurs pratiques et les « doctrines » qu'elles portaient, ont contribué à définir l'électronique comme un enjeu de pouvoir, à modeler la politique de la science alors en gestation, donc à influencer les grandes réformes des années 1959-1962 qui aboutissent notamment à la création de la DGRST, de la DMA et de la DRME. Cette thèse apportait donc des analyses complémentaires sur les problèmes inédits posés par les semi-conducteurs et l'électronique nouvelle à de puissantes organisations établies, censées être à l'avant-garde de ces développements. Elle favorisait les comparaisons avec ce secteur voisin, l'informatique.

Entre temps, plusieurs monographies étaient consacrées à l'histoire de l'informatique à Grenoble, dans la dynamique créée par le premier colloque et par l'association ACONIT. La thèse de Cyrille Plénet partait de la mémoire des informaticiens grenoblois pour aboutir à l'essaimage des SSII, décrivant au passage le développement de recherches techniques à l'université et dans les entreprises locales ; elle retraçait ainsi, concrètement, le devenir d'une technopole. Éric Robert menait de front le classement des archives de l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble et la rédaction d'un mémoire sur ce laboratoire⁴¹.

Du côté des politiques industrielles, divers ouvrages évoquaient l'action de l'État dans le secteur électronique, mais avec des méthodes ou des approches très

40 F. Jacq, *Pratiques scientifiques, formes d'organisation et conceptions politiques de la science dans la France d'après-guerre*, Paris, thèse de doctorat, CSO-École nationale supérieure des mines, 1996.

41 C. Plénet, *Histoire de l'informatique à Grenoble et de ses apports à l'industrie*, Grenoble, thèse de doctorat sous la direction de P. Thorel, université P. Mendès-France, 1996. E. Robert, *Fonctionnement et pratiques de la recherche. Les débuts de l'IMAG*, mémoire de DEA sous la direction de G. Ramunni, université Lumière, Lyon, 1994. À cette date, j'avais déjà terminé l'essentiel de mes recherches sur le pôle grenoblois, et nous avons pu comparer nos résultats et nos questions avec C. Plénet et E. Robert.

Il faut rendre hommage aux initiatives fécondes pour l'histoire, prises depuis les années 80 par les anciens de l'IMAG, notamment son fondateur J. Kuntzmann, L. Bolliet, J. Laissus, Ph. Chatelin, et par le vice-président de l'Institut polytechnique de Grenoble, J.-P. Verjus : colloques, archivage, accueil des historiens, expositions, publications.

éloignées de l'histoire. Citons-en deux : Joceline Barreau et Abdelaziz Mouline, *L'Industrie électronique française : 29 ans de relations État-groupes industriels*, et Chantal Le Bolloc'h-Puges *La Politique industrielle française dans l'électronique*⁴². Ces deux ouvrages, méthodiquement construits, traitent principalement de la période postérieure à 1975. Ils évoquent toutefois les années soixante en se fondant sur un petit nombre de sources secondaires. Hélas, les auteurs se sont trop souvent laissés piéger par la rhétorique politique et les effets d'annonce : « ambition nationale », « missions » et autres grandioses « engagements » qui auraient immanquablement dû propulser la France aux premiers rangs mondiaux, si seulement « les moyens avaient suivi »... Une critique mordante de ce genre de conception a été apportée notamment par deux experts : J.-J. Salomon, qui avait déjà montré l'inadaptation de la « stratégie de l'arsenal », essentiellement tournée vers la satisfaction des besoins de l'État, à une informatique devenue dès les années soixante une industrie des *business machines* commercialisant produits et services sur le marché mondial⁴³ ; et J.-P. Brulé.

Jean-Pierre Brulé, fort de son expérience – successivement ingénieur d'études au département calculateurs de la CSF, directeur de la division militaire d'IBM France, patron de Bull, expert chargé en 1986 de faire le tri dans les multiples organismes voués à manifester la sollicitude des gouvernements successifs pour l'informatique – publiait en 1995 *L'Informatique malade de l'État*⁴⁴. Écrite comme un pamphlet mais rigoureusement argumentée, cette analyse incisive décrit l'évolution, depuis le milieu des années soixante, des principaux acteurs de la politique informatique française : administrations, hauts fonctionnaires, groupes industriels et leurs chefs. Fondé sur une solide connaissance personnelle de ces acteurs et de leurs relations, et sur des archives privées, ce livre rapporte comment les firmes et les administrations se sont enfermées dans une dépendance réciproque. Après une affaire Bull où l'intervention de l'État tourne au pavé de l'ours, les survivants de ce désastre lancent un Plan calcul « sans plan ni calcul », qui ne peut fonctionner que par la fuite en avant des subventions : faute d'une stratégie avisée, les personnels de la CII sont envoyés au casse-pipe face à IBM. J.-P. Brulé décrit les subtiles combinaisons stratégiques des grands groupes français d'électronique, qui ne s'intéressaient nullement à l'informatique,

42 J. Barreau & A. Mouline, *L'Industrie électronique française : 29 ans de relations État-groupes industriels (1958-1986)*, Paris, LGDJ, 1987. C. Le Bolloc'h-Puges, *La Politique industrielle française dans l'électronique*, Paris, L'Harmattan, 1991.

43 J.-J. Salomon, *Le Gaulois, le Cow Boy et le Samouraï, Rapport sur la politique française de la technologie*, Paris, Economica, 1986. Plus axé sur le fonctionnement des groupes industriels, Élie Cohen offre des analyses complémentaires mais ne remonte pas au-delà des années soixante-dix (E. Cohen, *L'État brancardier*, Paris, Calmann-Lévy, 1989, et *Le Colbertisme high-tech*, Paris, Hachette, 1990).

44 J.-P. Brulé, *L'Informatique malade de l'État. Du Plan Calcul à Bull nationalisée : un fiasco de 40 milliards*, Paris, Les Belles Lettres, 1993.

mais tenaient à contrôler ce secteur du moment que l'État y déversait ses subsides. Les conséquences s'en font encore sentir aujourd'hui. La principale critique que l'on peut adresser à ce livre (à part le fait qu'il laisse de côté tout l'aspect scientifique en amont de l'industrie, mais ce n'est pas son objet) est sa présentation de l'absorption de la CII par Honeywell-Bull, après la liquidation du Plan Calcul en 1976. Décrite comme une opération fluide, la fusion CII-HB a en fait rassemblé deux sociétés qui avaient accumulé les griefs l'une contre l'autre depuis dix ans. Elle a créé de nouvelles rancœurs quand les gammes CII-Unidata, fruits de lourds efforts de développement, ont été abandonnées – conséquence inévitable de la fusion. De longues années ont été nécessaires pour que leurs personnels acquièrent une identité commune et pour que leurs systèmes convergent sur le plan technique. Honeywell-Bull n'avait sans doute pas le choix, mais on ne peut s'empêcher de songer au temps et à l'énergie passés à gérer ces tensions internes, à l'époque où s'amorçait sous d'autres cieux la « révolution » micro-informatique.

INFORMATIQUE : UN MOT, UNE CATÉGORIE, UN PIÈGE ?

Informatique est un mot-valise inventé en 1962 pour baptiser une filiale de la SEMA. Il a été proposé lors d'une assemblée générale de l'Association française de calcul, par Philippe Dreyfus (Bull) et Robert Lattès (SEMA), qui ont développé ensuite cette idée dans la revue *Gestion* en juin 1962. C'est une réussite linguistique : le terme entre dès 1966 dans le dictionnaire de l'Académie française, ainsi que dans le vocabulaire de plusieurs pays non-francophones (*informatica*, *Informatik*)⁴⁵. Curieusement, il est inventé simultanément aux États-Unis pour baptiser, là aussi, une firme de *software* : *Informatics*. Mais il n'y détrônera pas *computing*, pour la simple raison que le terme *Informatics* appartient à la firme en question, dont les avocats rejettent toutes les demandes d'utilisation émanant d'autres organisations – par exemple, l'Association for Computing Machinery qui voulait se rebaptiser Association for Informatics.

Inutile d'en rappeler ici les définitions offertes par les dictionnaires, qui combinent de différentes manières ses deux éléments : *information* et *automatique*. Ce mot recouvre un ensemble flou dont tout le monde a, aujourd'hui, une idée générale⁴⁶. Le terme *informatique*, comme son contenu,

45 La Pologne, par exemple, a vite adopté le mot, ainsi dans la revue *Fundamentae Informaticae*.

46 Réagissant à des discussions sans fin sur la quintessence de l'informatique, Ivan Illitch avait donné sa propre définition : « L'informatique, c'est l'usage de l'ordinateur dans un État régi par le code Napoléon ». Raccourci saisissant des relations entre technologie, politique et société ! Gérard Bauvin, le fondateur d'une des premières SSII françaises, a déduit de ces discussions que l'informatique en France est composée de trois éléments en perpétuelle expansion : le *hardware*, le *software* et le *bavardware*.

est une innovation polysémique, répondant à des besoins non prévus au départ et suscitant des usages variés dont la multiplication nourrit sa dynamique. Innovation à facettes qui laisse la voie ouverte à diverses définitions, à diverses appropriations, et s'assure donc le soutien d'intérêts différents qui finissent par faire de l'informatique un enjeu de leurs conflits.

Ce mot tend à l'historien le piège de l'anachronisme. Il suggère en effet l'unité essentielle d'un domaine, la permanence d'un objet qui aurait existé, au moins virtuellement, dès l'époque des « précurseurs ». Voir dans l'informatique l'aboutissement naturel de plusieurs siècles d'inventions, considérer l'ordinateur comme le but ultime vers lequel tendaient obscurément Pascal ou Babbage, est une erreur de perspective bien normale quand on regarde le passé accoudé à un micro-ordinateur. Il faut donc – c'est le B. A. Ba de l'histoire – comprendre le point de vue de l'époque étudiée, avec les perspectives qui étaient les siennes, les problèmes tels qu'ils se posaient aux acteurs, les notions et les moyens dont ceux-ci disposaient pour les résoudre, l'éventail des possibles, des options, qu'ils entrevoyaient.

34

En réalité, le domaine « informatique » résulte d'une construction progressive, à mesure que l'ordinateur, s'adaptant à des usages de plus en plus larges, est devenu un phénomène socio-économique et un enjeu politique (le mot ne se serait peut-être pas diffusé aussi vigoureusement en France s'il n'y avait eu le Plan Calcul). C'est une catégorie qu'il est délicat d'appliquer à l'époque pionnière, jusqu'au début des années soixante, et qui ne doit pas masquer la diversité des techniques et des marchés du traitement de l'information.

Ensemble hétérogène, en cours de constitution sur le plan technique, l'informatique l'était du même coup sur le plan socio-professionnel. Venant de la « radioélectricité », du radar, de l'électrotechnique, des mathématiques, de la physique, voire de la linguistique ou de la gestion, les pionniers de l'informatique avaient des profils aussi variés que les « pièces détachées » dont on construisait les premiers ordinateurs. La constitution de leur identité professionnelle commune a pris une longue décennie.

Pour autant, l'informatique avant l'informatique n'est pas qu'un artefact chimérique, un objet inexistant, une collection hétéroclite d'objets sans liens. Si Charles Babbage suscite l'attention des historiens, c'est moins parce qu'il a conçu des machines qui semblent rétrospectivement annoncer les ordinateurs, que parce que le même homme s'intéressait à la fois au calcul, aux mathématiques, à l'automatisation, à l'organisation rationnelle du travail, bref à un ensemble de techniques et de conceptions socio-économiques qui ont contribué à construire le système technique où l'ordinateur est venu s'insérer.

En 1920, la Société d'encouragement à l'industrie nationale organise à Paris une exposition de machines à calculer, rassemblant des calculatrices pour tous

les usages, aussi bien scientifiques que comptables ; y participent des spécialistes aussi variés que Torrès Quevedo, mathématicien et « automatique », d'Ocagne, mathématicien, ou Ravisse, directeur de la revue *Mon Bureau*. Dès les années trente, des relations se sont nouées entre la mécanographie, le calcul scientifique, la cryptographie, la logique mathématique, les télécommunications. Marginales d'abord, elles se renforcent à la faveur du deuxième conflit mondial. Vers 1950, des ingénieurs et des dirigeants d'entreprises savent que ces activités font de plus en plus appel à des technologies et à des concepts communs, et ils l'écrivent. D'où les rapprochements entre firmes qui vivaient jusque-là dans des mondes séparés. On ne parle pas encore d'*informatique*, mais ce sont ces acteurs qui la construisent – chacun à sa manière, avec ses perspectives, ses stratégies⁴⁷ et ses ressources particulières.

Le classement des brevets, à l'Office, puis à l'Institut national de la propriété industrielle, confirme cette impression d'unité fondamentale⁴⁸. De 1904 à 1958, le traitement de l'information, quelle que soit la technique employée, relève essentiellement de la classe XII « Instruments de précision - Électricité ». Cette classe est divisée en 8 sous-classes⁴⁹, dont la troisième est consacrée aux « Poids et mesures, instruments de mathématiques, compteurs et procédés d'essais ». Cette sous-classe XII-3 englobe en une catégorie commune tous les dispositifs destinés à produire ou à traiter de l'information chiffrée : les machines comptables, les calculateurs scientifiques, les appareils cryptographiques, ensemble avec les appareils de comptage, de mesure et de tests mécaniques ou électriques. Sa subdivision « instruments de mathématiques » groupe les machines comptables et scientifiques, mécaniques, électroniques, analogiques ou digitales. Elle-même hérite directement de la catégorie « Calcul » ou « Instruments de mathématiques », présente tout au long du XIX^e siècle. La frontière avec les techniques de régulation et de contrôle semble incertaine. Celles-ci forment une autre catégorie, mais des brevets qui s'y rapportent se trouvent parfois en XII-3.

En 1958, la classification française est remplacée par une classification internationale alphanumérique, mais qui ne bouleverse pas l'ordre des matières ; on scinde simplement la classe XII en deux sections :

47 Terme qui, dans bien des cas, peut être avantageusement remplacé par celui de *comportements*.

48 INPI, *Tables des brevets par nom de déposant ; BOPI*.

49 1 Horlogerie ; 2 Appareils scientifiques ; 3 Poids et mesures, instruments de mathématiques, compteurs et procédés d'essais ; 4 Télégraphie-Téléphonie ; 5 Production de l'électricité ; 6 Transport et mesure de l'électricité ; 7 Applications générales de l'électricité ; 8 Lampes électriques.

- L'électricité fait désormais l'objet d'une section H à part entière, incluant les composants, les circuits d'oscillation et d'impulsion, les télécommunications (y compris transmission secrète et brouillage).
- Une section G « Physique » reprend les classes « Instruments de précision », englobant « Calcul et comptabilité » (G 06) et, désormais, « Régulation de commande » (G 05) : l'informatique et les automatismes sont rapprochés⁵⁰.

Un rapprochement similaire s'observe, au même moment, dans les sociétés savantes, les organisations professionnelles, leurs périodiques et leurs manifestations techniques et commerciales (SICOB, etc.).

PROBLÈMES DE SOURCES

36

Rapprochement, mais certainement pas unité d'un « secteur informatique » avant la lettre. L'hétérogénéité du domaine entraîne un problème très concret de sources statistiques. Jusqu'au début des années soixante, aucune catégorie correspondant à l'informatique n'existe, même sous un autre nom, dans les budgets et les programmes.

Ce que nous conceptualisons sous ce terme recouvre, à l'époque, des activités sinon incommensurables, du moins incommensurées : calcul scientifique, simulation, mécanique des fluides, mécanographie, « manipulation des données » (traduit de l'anglais *data handling*, vraisemblablement dans le contexte de la détection aérienne)... La seule manière d'évaluer leur importance consiste donc à effectuer une comptabilité à partir des contrats, en dépouillant des montagnes d'archives. On ne trouve de séries homogènes qu'à partir du milieu des années soixante, quand l'informatique devient une préoccupation politique. Le problème n'est pas de fabriquer rétroactivement un secteur économique, mais simplement d'établir des ordres de grandeur permettant de mesurer et de comparer, d'esquisser des pesées globales.

À ce problème particulier, dû au fait que nous construisons l'objet de notre recherche, s'ajoute un problème plus général des statistiques en France. Une administration aussi structurée que la Direction technique et industrielle de l'aéronautique (DTIA), par exemple, ne possède en 1958 aucune statistique

50 En revanche, en 1963, la cryptographie passe en « G 09 » (enseignement, cryptographie, publicité). En 1966, dans la section G 06 (Calcul, comptage), la sous-classe *b* (éléments constitutifs) est supprimée, son contenu réparti en d'autres sous-classes de G 06, comme la sous-classe *h* (caisses enregistreuses), contenu réparti en diverses classes de G 07g (dispositifs de contrôle / enregistrement des recettes). Les imprimantes et machines à écrire restent classées dans une section A « Opérations diverses ». La classification des brevets évolue par des modifications de détail.

cohérente sur l'industrie des équipements aéronautiques⁵¹ – industrie qu'elle fait vivre, qu'elle a souvent même créée et sur laquelle elle mène une véritable politique industrielle de fait. Or c'est dans ce secteur que se développent les premiers constructeurs français de calculateurs électroniques.

Jusqu'à la fin des années soixante, il n'existe guère de statistiques fiables – et parfois il n'y en a pas du tout – pour évaluer des grandeurs aussi simples en apparence que les résultats des firmes, le prix de leurs produits ou le nombre de machines installées. Les statistiques publiées à l'époque du Plan Calcul par l'OCDE (dont la source est le cabinet Diebold) se révèlent parfois grossièrement erronées, sous-estimant de plusieurs ordres de grandeur la production d'ordinateurs par différentes firmes françaises, et faussant vraisemblablement la répartition des parts de marché⁵². Elles présentent par rapport à la réalité mesurable des écarts qui les rendent inutilisables, hélas pour les auteurs qui s'y réfèrent depuis quarante ans. À l'usage, les monographies d'entreprises s'avèrent indispensables en ce qu'elles permettent de reconstituer des séries statistiques ; et, accessoirement, de mesurer l'écart qui sépare la réalité économique – telle que nous pouvons l'approcher – de la perception qu'en avaient les décideurs politiques ou bancaires. On a dû reconstituer, par de longs dépouillements d'archives, les chiffres d'affaires des firmes – même les CA de Bull et d'IBM France n'étaient divulgués qu'à partir de 1947... et, pour la période antérieure, plusieurs séries de chiffres, toutes lacunaires, se contredisent !

Quant au prix des machines, pour chaque modèle il varie d'une installation à l'autre, selon l'année, la configuration et le marchandage préalable. Et c'était visiblement un principe commercial des constructeurs de ne jamais afficher leurs prix⁵³. On doit donc se contenter de prix moyens estimés ou de « fourchettes » : en ce domaine, pour être exact il faut renoncer à être précis.

En ce qui concerne les échanges entre les fabricants d'ordinateurs et leurs fournisseurs de composants, l'historien est confronté à la pauvreté des sources : tout se passe comme si les relations commerciales entre les deux professions n'avaient laissé aucune trace écrite. Si l'on trouve abondance de documents techniques, en revanche il faut dépouiller des masses de revues professionnelles

51 SHAA E 2080, IGA Brissot, *Avis sur la situation de l'industrie des équipements aéronautiques*, 8 juillet 1958, p. 1 : « La présente étude [...] a nécessité l'établissement hâtif, par les services, de statistiques d'ensemble, dont on s'étonne qu'elles n'aient pas déjà existé et qu'il y aurait grand intérêt à mettre au point et à tenir à jour à l'avenir ».

52 OCDE, *Écarts technologiques. Calculateurs électroniques*, Paris, s.n., 1969. Ces statistiques tendent par exemple à minimiser le rôle des PME, comme on le montrera.

53 Le Charles Babbage Institute, qui a recueilli les archives de la firme Auerbach Consultants, avait entrepris de constituer un tableau de prix des ordinateurs depuis les origines jusqu'aux années 1980. L'opération fut abandonnée après de fastidieux efforts, et démontra l'impossibilité inhérente à un tel projet. Nous ne le savions pas encore quand nous avons essayé la même collecte de données pour la France.

avant de découvrir, ici et là, quelques bribes de renseignements économiques, souvent entre les lignes. Par une sorte de pudeur, la presse française des années soixante indique rarement le chiffre d'affaires des firmes, et jamais rien qui puisse donner une idée des profits... ou des pertes. Autant dire que rien ne filtre des contrats particuliers entre firmes. C'est seulement en 1965 qu'est créée *Électronique Actualités*, qui commence à fournir des éléments d'informations. On s'est donc fondé en grande partie sur les souvenirs des acteurs, nécessairement imprécis en ce qui concerne les contrats, et sur l'examen des composants de quelques ordinateurs de l'époque que l'on a pu retrouver. Il faut se faire un peu l'archéologue des nouvelles technologies.

38

Quant aux archives d'entreprises, si celles de Bull sont une mine de renseignements (jusqu'ici exploitées par les anciens de la maison, mais généralement négligées par les historiens français), celles d'IBM sont verrouillées et ont été, pour la filiale française, partiellement détruites par un incendie, celles de Thomson-CSF sont réputées ni classées, ni accessibles, comme celles d'importants clients-innovateurs telle l'Aérospatiale ; celles de la Compagnie des Compteurs restent entassées dans des caves depuis l'absorption par Schlumberger ; celles de Radiotechnique et de Texas Instruments ne sont pas localisées. Même au sein du groupe Bull, certaines sources d'information ont disparu. La plupart des archives de la SEA et des autres sociétés ayant constitué la CII ont été détruites pour faire de la place avant un déménagement du siège social ; la bibliothèque de la compagnie Bull, un patrimoine remontant aux années 1940, semble avoir subi le même sort au même moment, le CNAM n'ayant pas eu la possibilité matérielle d'en accepter la donation. Le groupe Michelin, qui a joué un rôle important dans l'histoire de Bull jusqu'en 1964, incarne la tradition du « secret des affaires » et a longtemps maintenu un *black-out* presque total sur ses archives. Ces lacunes ne peuvent être qu'en partie comblées par les archives privées et surtout par les archives des administrations publiques avec lesquelles ces firmes étaient en relations. Certaines banques détiennent aussi quelques dossiers fort intéressants. Mais la banque Rivaud est-elle d'humeur à ouvrir les siens ?

Les archives publiques elles-mêmes sont très lacunaires. C'est le lot commun de l'historien, qui doit se débrouiller avec ce qu'il trouve. Mais le citoyen va de surprise en étonnement : que de destructions ! Que reste-t-il des grands instituts aérotechniques parisiens ou du laboratoire d'informatique de Toulouse ? Des souvenirs. Des activités du laboratoire central de l'Armement ? Peu de chose, vis-à-vis de l'importance de cet organisme. De l'atelier de construction de l'artillerie, à Puteaux, auquel on doit quelques innovations majeures comme le canon de 75 ? Rien. Doit-on s'en étonner, quand on découvre que lors du déménagement de l'école d'artillerie de Chalons, il y a une quinzaine d'années, on a « perdu » un VI qui y était exposé depuis 1946 ?

À l'oubli, aux accidents qui font disparaître les sources, s'ajoute le secret sur des actes conçus pour ne laisser aucune trace. Par simple principe de précaution, le patron du CNET, Pierre Marzin, était réputé n'écrire jamais... et surtout pas les choses importantes. Il n'était pas le seul. Au détour des récits sur telles opérations françaises ou internationales, l'on découvre de brumeuses affaires : appels d'offres bidon, ouverture d'enveloppes prématurée faussant le jeu égalitaire de la concurrence, financement de partis ou de personnalités politiques par telle firme menacée de perdre des marchés... Le décès non élucidé d'un ingénieur nous transporte dans un monde qui ressemble plus à celui de Pierre Nord qu'à celui de Gaston Bachelard. Tel dirigeant, plein d'avenir à l'époque où il participait au lancement du Plan Calcul, s'est trouvé mis en examen dans l'affaire Alcatel en 1996.

Bien souvent, l'enquête historique doit stopper là où commencerait une enquête judiciaire, qui emploie d'autres moyens. L'historien ne se pose pas les mêmes questions que le juge d'instruction, mais il peut s'intéresser aux mêmes sujets : qu'est-ce que les « affaires » changent, non seulement dans le destin d'une firme ou d'une réalisation technique, mais aussi dans l'atmosphère générale d'un pays, dans le contexte économique et psychologique de l'entreprise, dans les relations entre les dirigeants... et dans l'image qu'elles donnent aux partenaires étrangers⁵⁴ ?

HISTOIRE ORALE, SOURCES VIVANTES

Les témoins sont intervenus de trois manières différentes. Certains ont publié leurs souvenirs et leurs visions des choses, en participant à divers colloques (histoire de l'informatique, CNRS, musée des Arts et Métiers, Institut Charles de Gaulle, Institut d'histoire de l'industrie). J'ai réalisé des entretiens oraux avec une centaine de personnes : universitaires et chercheurs, cadres et ingénieurs des entreprises, dirigeants industriels, administratifs et politiques. Enfin, j'ai tenu à comparer systématiquement les textes que je produisais à partir des archives et des témoignages précédents, avec l'expérience vécue par les acteurs. Chacun des chapitres de cette étude a donc été soumis aux remarques et aux critiques de plusieurs lecteurs ayant joué un rôle dans les événements décrits. Cette confrontation a permis d'apporter maintes précisions, d'éliminer certaines hypothèses, d'en enrichir d'autres et d'explorer de nouvelles pistes. Dans quelques cas, toutefois, les façons de voir de l'auteur et de tel ou tel témoin restent nettement divergentes. L'histoire orale est un art difficile, délicat,

54 Pour une synthèse sur ce sujet, voir J.-N. Jeanneney, *L'Argent caché. Milieux d'affaires et pouvoirs politiques dans la France du xx^e siècle*, Paris, Le Seuil, 1984.

dévoreur de temps, qui exige de multiples précautions méthodologiques⁵⁵. Ainsi le terme même d'*informatique* doit souvent être évité, sous peine de provoquer des malentendus ou d'obtenir des réponses sollicitées.

Aussi difficiles à manier qu'elles soient, les sources orales, qu'il s'agisse d'entretiens ou de communications offertes par les témoins dans les colloques, révèlent une dimension invisible dans les archives : la passion. Y apparaissent, vives et parfois brûlantes encore, l'ardeur, le plaisir intense qu'éprouvait un jeune ingénieur, au temps de la Reconstruction, à créer des machines radicalement nouvelles, et à travers elles un avenir technique, économique et scientifique que les profanes soupçonnaient à peine ; à maîtriser des appareils plus puissants que l'homme n'en avait jamais produits ; à coiffer au poteau les fournisseurs concurrents. Projétons-nous trente ou quarante ans en arrière et imaginons ces équipes d'initiés, spécialistes se comprenant à demi-mot, responsables d'un projet qui les tient « charrette », souvent tard dans la nuit, avec le souvenir des obstacles surmontés ensemble et la confiance du succès futur. « Groupe-en-fusion », pour reprendre un terme heureux du vocabulaire sartrien. Il est curieux que Sartre, après Drieu La Rochelle, ait éprouvé le besoin d'aller chercher dans les foules totalitaires cette exaltante sensation. On la trouvait aussi bien, à dix minutes de Saint-Germain-des-Prés, dans les ateliers et les laboratoires où travaillaient les ingénieurs. Encore eût-il fallu s'intéresser à l'entreprise autrement que comme à un lieu d'aliénation. Cette remarque ne vient pas sous la plume dans un esprit polémique, mais parce que ce fait illustre la séparation qu'analysait C. P. Snow entre les « deux cultures », la culture littéraire et la culture techno-scientifique⁵⁶ : ce fossé moral, philosophique, social est à inscrire dans la liste des « blocages ».

40

55 L'histoire orale a fait l'objet de nombreuses réflexions, mettant en balance ses incontestables apports et les problèmes méthodologiques qu'elle pose. Renvoyons à l'ouvrage de Fl. Descamps, qui fait autorité (*L'Historien, l'archiviste et le magnétophone. De la constitution de la source orale à son exploitation*, Paris, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, 2001) et à quelques synthèses :

D. Pestre, « En guise d'introduction : quelques commentaires sur les "témoignages oraux" », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 2.

J. Caritey, « Pour une politique des archives orales », *Revue administrative*, 1991.

D. Voldman (dir.), « La bouche de la vérité ? La recherche historique et les sources orales », *Cahiers de l'IHTP*, 1992, n° 21.

56 C. P. Snow, physicien devenu *scientific statesman* sous le cabinet Wilson, prononça en 1959 une conférence à Cambridge, « The two cultures and the scientific revolution », exhortant les élites modernes à suivre l'exemple de leurs ancêtres : un homme cultivé doit connaître à la fois Shakespeare et la seconde loi de la thermodynamique. Il s'attira une violente réplique du critique littéraire F. R. Leavis : la démarche d'un scientifique qui lit une œuvre de Shakespeare est différente, et plus profondément enrichissante, que celle d'un littéraire qui étudie une science. Aldous Huxley intervient ensuite dans le débat en proposant une voie moyenne : un écrivain doit avant tout faire son métier, la littérature, mais il est tenu de ne pas rester étranger à la culture scientifique de son temps, qui peut renouveler son inspiration.

On trouve dans la datation presque provocante de l'*Histoire des chemins de fer en France, 1740-1883*, de François Caron, un constat qui s'impose à travers mes propres recherches : là où les économistes et les ingénieurs voient volontiers des « révolutions technologiques », l'historien des techniques décèle de longues filiations, la formation sur la longue durée d'un « contexte » matériel et humain – offres, demandes, compétences, projets, idéologies – sans lequel l'idée technique ne se transformerait jamais en innovation. L'informatique s'insère, en les transformant, dans des phénomènes historiques de longue durée. Son développement, loin de se réduire aux progrès des calculateurs⁵⁷, est l'un des aspects du vaste mouvement séculaire des civilisations occidentales qui promeut la rationalisation, le contrôle et la productivité, et dont les figures emblématiques pourraient être Descartes, Gribbeauval, Prony, Taylor. Elle représente l'aboutissement d'un vieux concept, la *science de l'ingénieur*⁵⁸, qui vise à mettre la fascinante puissance des mathématiques au service des sciences, des techniques et de l'économie. Cette mise en œuvre s'est opérée par le calcul et la mesure, et c'est ainsi qu'il faut comprendre cette notion faussement évidente : l'application des sciences. Au fond, quel est l'objet essentiel de l'histoire de l'informatique : les machines, les individus, les institutions, bref les *objets* classiques de l'histoire ? Ou les *relations* entre ces *objets*, donc un réseau complexe d'idées et de concepts, de liens contractuels, culturels, cognitifs, de solidarités et de concurrences ? Il faut étudier les premiers pour comprendre les seconds, en tâchant de ne pas se laisser déborder par la foisonnante richesse du sujet...

Le travail qui suit est avant tout un essai de synthèse visant à établir des faits. Ces faits sont aussi bien des événements politiques, économiques, techniques, que des représentations mentales conduisant à des décisions. Il fallait d'abord se retrouver dans une histoire en elle-même très complexe, embrouillée de surcroît par des récits plus ou moins fiables. Le besoin de démêler cet écheveau, d'en écrire, comme dit P. Veyne, le « roman vrai »⁵⁹, de relier les faits entre eux, de vérifier les hypothèses explicatives, a guidé nos recherches dans les archives et les bibliothèques.

Une histoire d'autant plus embrouillée que les principaux acteurs – hommes, entreprises, institutions publiques et privées – sont encore là et ont leurs intérêts à défendre, leurs points de vue à affirmer, leurs vérités à dire ou à cacher sur

57 Vérifiant que « L'essence de la technique n'est rien de technique » (M. Heidegger, *La Question de la technique*, dans *Essais et conférences*, Paris, Gallimard, 1973).

58 Sur l'origine de la science de l'ingénieur, voir notamment H. Vérin, *La Gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1993 ; et « La réduction en art et la science pratique au XVI^e siècle », *Institutions et Conventions*, Paris, Éditions de l'EHESS, 1998, p. 119-144.

59 P. Veyne, *Comment on écrit l'histoire*, Paris, Le Seuil, 1979.

l'histoire. L'historien en profite, car cet intérêt parfois passionné incite les acteurs à se jeter dans le débat historique, à écrire ou à livrer leurs souvenirs, dans les meilleurs cas à sauver et à ouvrir leurs archives. Avidé d'utiliser en contrepartie cette mémoire humaine et ces documents, de transformer cette matière première ou ces produits demi-finis en produits scientifiques élaborés, il est susceptible d'être lui-même utilisé, manipulé par les acteurs qui voient en lui – et c'est bien naturel – un truchement, un relais qui diffusera leurs conceptions en leur apposant le sceau de son objectivité, parfois un agent de leurs règlements de comptes. Et c'est seulement en étant conscient de ce jeu, et en acceptant de le jouer lucidement, avant de s'en détacher, que l'historien pourra vraiment entrer dans son sujet.

42

L'historien n'est pas seulement pris dans les jeux d'intérêts des acteurs, il l'est aussi, plus profondément, dans leurs représentations : l'informatique, c'est le Progrès ; l'histoire des techniques a un sens, qui est d'aller du mécanique vers l'électronique, de l'analogique vers le digital, des tubes vers les circuits intégrés ; et quiconque envisageait d'autres futurs, au milieu du siècle, est aujourd'hui un vaincu de l'histoire, a donc eu tort, et a contribué au « retard national ». À ce techno-progressisme s'ajoute le redoutable modèle économique du marché – le libre jeu de l'offre et de la demande sélectionne les meilleurs produits et les entreprises les plus aptes –, conception tautologique qui ne résiste pas à une étude du fonctionnement concret des agents économiques, mais dont la prégnance est renforcée par son analogie avec le schéma darwinien. Il est normal et nécessaire qu'un informaticien ou un industriel qui a consacré sa vie à construire ce nouveau monde technologique y croie de tout son être. Un historien doit tâcher au contraire de s'en dégager, sous peine de reproduire, avec un sujet *high tech*, l'erreur de perspective commise il y a un siècle en histoire politique par l'école « positiviste » – *whiggish*, dirait un anglophone⁶⁰.

Récit et description d'une histoire complexe, riche en faits et en parcours antagonistes... Notre texte fourmille de détails peu ou mal raccordés à un « modèle » explicatif. Qu'en faire, comment traiter les contre-exemples ? Les procédés littéraires consistant à les lier par des « néanmoins » ou des « cela dit » ne sont que des palliatifs. Ils permettent de présenter ces informations comme éléments d'une réalité infiniment variée et qui débordera inévitablement toute tentative de modélisation, tout réductionnisme scientifique. Ils offrent des pistes pour des recherches futures. Ils servent à stocker, sans les dissimuler, des faits historiques dont, comme disait Georges Perec, l'on sent qu'ils sont significatifs, mais sans savoir exactement de quoi... En attendant que leur sens s'éclaire et

60 J. A. N. Lee, « Whiggism in Computer Science », dans 3^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, Sophia Antipolis, INRIA, 1993.

que l'on puisse les utiliser de façon plus sérieuse (le problème de « l'intéressant » en histoire). Pour reprendre une belle expression d'Henri Poincaré, il faudrait plus que ces quelques centaines de pages pour vraiment saisir « l'âme des faits » – une âme constituée de vif-argent !

CHRONOLOGIE ET PLAN

L'histoire de l'informatique en France peut se résumer en quatre grandes périodes.

La première, qui va de la seconde guerre mondiale au milieu des années soixante⁶¹, voit l'émergence de l'électronique digitale et de la programmation symbolique dans le traitement de l'information, une acquisition de savoir-faire provenant d'Angleterre et d'Amérique et un véritable foisonnement créatif, qu'il s'agisse d'inventivité scientifique et technique ou de dynamisme industriel. Cette période pourrait être elle-même scindée en deux époques, séparées par la date de 1955 où apparaissent les premiers ordinateurs en France ; mais ces derniers entraînent l'accélération d'un développement continu plutôt qu'une coupure.

En revanche, c'est par une rupture brutale que commence la deuxième période, au milieu des années soixante. Dépassée sans espoir par IBM, Bull est devenue en 1964 une filiale de General Electric. Réagissant aux difficultés des entreprises et à la pénurie d'informaticiens, l'État lance une politique industrielle et scientifique. Le Plan Calcul démarre fin 1966 et provoque la disparition des entreprises constituées dans la période précédente, au profit d'un « champion national », la CII. Il coïncide avec une série d'innovations dans l'enseignement supérieur : la « réforme Fouchet » institue des diplômes de sciences appliquées, notamment des maîtrises d'informatique et des formations d'IUT. Dans la recherche, on crée l'IRIA, tandis que le CNRS achève de perdre l'initiative qu'il avait tenté naguère d'acquérir en ce domaine et se réorganise en se rapprochant de l'université. L'informatique s'impose progressivement, parfois difficilement, comme une discipline scientifique autonome.

Au milieu des années soixante-dix a lieu une nouvelle série de changements, tout aussi profonds. L'absorption de la CII par Honeywell-Bull met fin au Plan Calcul sous sa forme initiale, ainsi qu'à l'entreprise européenne Unidata fondée

61 L'étude des archives et les comparaisons internationales montrent que l'invention de l'ordinateur et l'engagement des divers acteurs de l'informatique naissante remontent souvent aux années trente. Pour certains, la guerre a été un stimulant. En France, l'occupation a constitué à maints égards une parenthèse dans le développement de tendances, d'idées et de pratiques caractéristiques d'une génération qui arrive à l'âge des responsabilités entre 1938 et 1950.

en 1974. Elle inaugure une phase de concentration industrielle, au terme de laquelle le Groupe Bull « coiffera » pratiquement toute l'industrie française de construction d'ordinateurs. Mais, parallèlement, l'essor de la « télématique », des micro-ordinateurs et bientôt de la carte à puce ouvrent de nouveaux horizons à l'électronique numérique, pendant que s'affirme le dynamisme des firmes de service informatique. Dans le milieu académique, l'informatique dispose désormais d'assises institutionnelles stables, et l'on entreprend de la diffuser dans l'enseignement secondaire.

44

La règle des trente ans rend difficile l'accès aux archives postérieures à la fin des années soixante-dix. Certes, des dérogations permettent d'étudier certains épisodes ultérieurs, en complétant les documents écrits par des entretiens. Mais beaucoup d'aspects restent dans l'ombre, notamment parce que les archives du Conseil des ministres, des Conseils restreints ou de Défense, restent fermées pendant soixante ans. Or ces sources deviennent importantes précisément à partir de cette époque, où l'informatique a de plus en plus été saisie par la politique. L'histoire de la période récente doit donc se fonder en grande partie sur d'autres sources que les archives.

La fin des années quatre-vingt marque un autre tournant – peut-être le plus profond de tous par sa dimension mondiale. On connaît les difficultés rencontrées alors par les constructeurs généralistes comme IBM, déjà ébranlés dans leur domination par la mini-informatique, plus récemment par les fabricants de micro-ordinateurs et, derrière ceux-ci, par Intel et Microsoft (« Wintel »). L'importance croissante du logiciel, dont le chiffre d'affaires tend à dépasser celui du matériel, est une deuxième remise en cause, quoique prévue depuis longtemps, et qui s'est compliqué, pour les constructeurs, par l'avènement des systèmes ouverts.

Plus profondément, l'informatique s'est banalisée. Il ne s'agit pas seulement de constater que l'ordinateur, objet mythique il y a trente ans, s'achète aujourd'hui au supermarché. Depuis le début de la mécanographie, cette industrie vivait selon un rythme particulier, celui de ses produits, plutôt qu'au rythme des cycles de croissance et de dépression qui touchaient l'ensemble de l'économie. En fait, les crises économiques incitaient les entreprises à rationaliser leur gestion, donc à acquérir des machines à traiter l'information. On a pu faire encore le même constat entre 1974 et 1985. Mais ce n'est plus le cas. Désormais, l'industrie informatique souffre et prospère tour à tour au même rythme que l'automobile, les télécommunications ou l'électro-ménager, dont elle imprègne du reste les produits. C'est une profonde mutation, à laquelle les informaticiens ont eu du mal à s'adapter. Cette banalisation de l'informatique, liée à l'omniprésence de l'électronique digitale dans le système technique actuel, atténue-t-elle son caractère « stratégique » qui motivait le lancement des politiques publiques

ad hoc dans les années soixante ? L'importance politique et économique prise par la sécurité informatique prouve qu'il n'en est rien.

Si éclairante soit-elle par les repères qu'elle donne, cette périodisation ne pouvait constituer le plan d'une étude historique approfondie, sous peine de perdre le lecteur dans un inextricable enchevêtrement d'objets, d'acteurs et d'institutions. Le plan qui s'est imposé se fonde sur une classique division par grands types d'institutions et de fonctions : la Science, l'Industrie, l'État, qui feront chacun l'objet d'un volume. Il permet de faire entrer en scène progressivement les différents acteurs qui, dans les derniers chapitres, interviennent tous ensemble. Il permet aussi de saisir de manière autonome la logique propre à chacun de ces acteurs⁶².

Le présent volume est consacré à l'émergence de l'informatique dans la recherche et l'enseignement supérieur. On constatera que la recherche publique française n'a réalisé aucun ordinateur à l'époque pionnière, malgré plusieurs tentatives ; on tentera ensuite d'expliquer cet échec, ou ce vide, en examinant le contexte national avant et après la seconde guerre mondiale (partie I). Puis l'on dressera une géographie historique du développement inégal de l'informatique dans l'enseignement supérieur, comme produit de systèmes locaux d'innovation (partie II). On décrira enfin l'émergence de l'informatique, discipline nouvelle et controversée, à partir des mathématiques appliquées, dans les instances scientifiques et les cursus universitaires (partie III).

62 Le volume II examinera le comportement des constructeurs de matériels de traitement ou de transmission de l'information face à la « révolution informatique ». Le volume III évoquera le rôle de l'État dans le soutien au développement d'ordinateurs et dans la mise en œuvre d'une politique technologique jusqu'au Plan Calcul. Une telle division, nécessitée par l'exposé, comporte sa part d'arbitraire, et des aménagements y sont apportés. Ainsi, l'on évoquera les relations entre la recherche et l'industrie dès le premier volume qui examine les organismes de recherche et les universités. Toutefois, les organismes scientifiques dont le rôle s'inscrit dans les grands programmes technologiques de l'État, comme le CEA ou les services techniques des armées, seront étudiés dans le troisième volume.

PREMIÈRE PARTIE

La recherche publique et les
« machines mathématiques »

Il faut dépasser (je ne dis pas effacer) les mesures, fort délicates, et la notion même du “retard” français. C’est l’écheveau embrouillé des conditions historiques propres à toute communauté nationale qui doit mobiliser le principal des analyses. Il n’y a pas de voie modèle, unique, royale, des modernisations capitalistes [...]. Alors la difficulté centrale des recherches est celle de la mise en relations d’éléments mesurables et d’autres non quantifiables ; de “données” (construites par nous) économiques et de comportements de groupes et de milieu ; de logiques de “systèmes” et de mentalités longuement durables, porteuses à la fois de résistances et de mouvements ; de comparaisons entre démarches matérialistes et démarches culturelles d’analyse : histoire totale, oui¹.

Avant 1945 il n’y avait rien qui ressemblât à un ordinateur à programme enregistré ; à cette date quelques personnes savaient ce que pourrait être un ordinateur si on en réalisait un ; en 1950 il en existait un ou deux dans le monde. On peut considérer 1945 comme l’année décisive pour l’apparition des ordinateurs tels que nous les connaissons².

L’histoire est maintenant bien connue, au moins dans sa version la plus simple (nous la compliquerons en examinant le processus d’innovation dans l’industrie). Aux États-Unis, après deux ans de guerre, les besoins croissants de calcul balistique de l’armée ont débordé les possibilités des moyens mécanographiques classiques ou de l’analyseur différentiel de Vannevar Bush, le plus puissant instrument de calcul scientifique construit dans les années 1930. Pour y remédier, un groupe d’ingénieurs travaillant à l’université de Pennsylvanie (Moore School of Electrical Engineering) a décidé en 1943 de construire un calculateur électronique. Projet plein de risques et très coûteux, mais aboutissant à une machine capable de calculer cent fois plus vite que toutes celles qui existaient, et par ce fait d’attaquer des problèmes jusque-là inabordables.

L’ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) entre en service en 1945. Chef d’œuvre d’ingénierie, ce n’est sur le plan de son architecture fonctionnelle qu’un énorme boulier. Il fonctionne d’ailleurs en base décimale, comme tous les calculateurs classiques de l’époque. D’où le nombre excessif de

- 1 J. Bouvier, « L’amont de notre incertain avenir : les longues durées », *Le Débat*, septembre-novembre 1987, n° 46.
- 2 M. V. Wilkes, « The Development of Modern Computers », conférence du 23 février 1988, London. Ce raccourci saisissant, aussi vrai soit-il, exprime en même temps le point de vue d’un pionnier qui s’est placé dans le sillage de Von Neumann et l’a vite considéré comme le *mainstream* de l’évolution des calculateurs (entretien avec M. V. Wilkes, 1989). À la différence d’un Zuse, par exemple, qui faisait plutôt remonter les ordinateurs au binaire et à la programmation symbolique.

tubes radio qu'il incorpore (18 000) et qu'il faut remplacer fréquemment pour cause de claquage.

Dès avant son achèvement, un problème est apparu aux yeux de ses concepteurs, Presper Eckert et John Mauchly : on sous-emploie un calculateur électronique qui fonctionne à grande vitesse s'il doit attendre, entre chaque opération ou série d'opérations, que les données ou les instructions lui soient fournies par de lents moyens mécaniques tels que cartes ou bandes perforées. D'où l'idée de stocker les données et les instructions, sous forme d'impulsions électroniques, à l'intérieur même de la machine qui pourra les consulter à l'instant et à la vitesse qui lui conviennent.

50 Cette idée est formalisée et publiée dans deux rapports par le mathématicien John von Neumann, qui laissera son nom à l'architecture des ordinateurs classiques³. Le concept du programme enregistré est une formule radicalement nouvelle, qui ne devient envisageable et nécessaire qu'avec l'emploi de circuits électroniques. C'est ce concept qui définit l'ordinateur, le *stored-program computer*, et qui en fait potentiellement une machine universelle à traiter l'information. Il permet à son tour de *penser* une disposition encore plus révolutionnaire : la non-distinction formelle entre instructions et données, qui elle-même implique que la machine puisse transformer celles-là comme celles-ci, modifier son propre programme en opérant des branchements conditionnels. Les recherches en logique mathématique des années 1930 ont rendu pensables ces équivalences.

Ce processus d'innovation est familier aux historiens des techniques. Le problème détecté par Eckert, Mauchly et von Neumann est fondamentalement un défaut structurel de rendement, problème qui est au cœur de « l'art de l'ingénieur » et des « sciences appliquées » depuis le XVIII^e siècle. Il est d'ordre à la fois technique et économique – en fait la distinction entre ces deux catégories n'a pas de sens ici. Une fois identifié ce « problème crucial », la solution se trouve dans une innovation, c'est-à-dire dans le rapprochement et la recombinaison de plusieurs techniques jusque-là séparées. Ainsi, pour donner une mémoire aux calculateurs, on adoptera des technologies développées pour le radar ou l'audiovisuel.

Le défaut de rendement, quelle que soit sa cause, est souvent comparé à une poche de résistance sur le front du progrès, qui verrouille celui-ci et entrave

3 J. von Neumann, *First Draft of a Report on the EDVAC*, 30 juin 1945, et J. von Neumann, A. Burks & H. Goldstine *Preliminary Discussion on the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*, juin 1946, reproduit dans *Von Neumann's Collected Works*, vol. V, New York, A. H. Taub, 1963. L'EDVAC sera construit au début des années cinquante à l'université de Pennsylvanie.

l'avance sur tout un secteur⁴. Pour faire sauter cette poche de résistance, il faut trouver son point faible et y mettre les moyens nécessaires. Le résultat est généralement la transformation de la *poche en saillant* : désormais ce sont les autres parties du front, du système technique, qui doivent avancer pour se mettre en concordance et optimiser le rendement de l'ensemble. Toute l'histoire de l'informatique peut être ainsi résumée, à tous les niveaux : composants, organes internes ou périphériques de l'ordinateur, programmation, efficacité de l'informatique dans les organisations humaines.

L'ENIAC sera employé par les physiciens de Los Alamos dans le développement de la bombe H, et recevra plus tard quelques modifications lui permettant de fonctionner avec un programme interne⁵. Son importance essentielle réside surtout dans l'expérience qu'il offre *et qui est rapidement diffusée*. D'une part, la réalisation de l'ENIAC prouve que l'on peut construire une machine viable contenant plusieurs milliers de tubes électroniques, mais que l'on a intérêt à réduire ceux-ci en concevant une machine à base binaire plutôt que décimale. D'autre part, elle inspire le concept d'ordinateur à programme enregistré et fait des émules⁶.

En 1946, von Neumann publie son *First Draft on the EDVAC*, pendant que Eckert et Mauchly organisent autour d'ENIAC une école d'été à l'université de Pennsylvanie. Viennent y participer, non seulement des scientifiques et des ingénieurs de diverses universités et entreprises américaines, mais aussi quelques Européens tel M. Wilkes. Ils rentrent chez eux pleins d'idées nouvelles et à la recherche de technologies et de financements pour les concrétiser.

- 4 Dans un brillant article sur la genèse de l'ENIAC (« ENIAC: Invention of a Computer », *Technikgeschichte*, 1975, vol. 42, n° 2), T.P. Hughes a offert une analogie heuristiquement féconde en assimilant les problèmes techniques à des saillants, à des môles de résistance sur le front du progrès. L'innovateur efficace est celui qui sait identifier ces problèmes cruciaux qui bloquent la mise en cohérence globale du système, et les réduire.
- 5 R. Moreau, *Ainsi naquit l'informatique*, Paris, Dunod, 1984, p. 55. Des morceaux de l'ENIAC ont été sauvés de la casse vers 1960 et sont exposés au Museum of American History, à Washington. D'autres équipes ont réalisé des calculateurs électroniques pendant la guerre, notamment pour la cryptanalyse, mais leur caractère secret ne leur a pas permis de jouer un rôle aussi important que l'équipe ENIAC dans le démarrage de la nouvelle technologie. D'autre part un grand calculateur « Mk 1 » a été construit en 1944 à l'université de Harvard en collaboration avec IBM, sous la direction de Howard Aiken. Ce calculateur à programme externe est encore électromécanique (ses composants logiques sont des relais, comme dans les machines IBM), mais sa programmation par cartes perforées donne plus de possibilités que celle par tableau de connexions de l'ENIAC ; l'expérience acquise sur « Mk 1 » et ses successeurs contribuera au développement de la programmation des ordinateurs.
- 6 H. H. Goldstine, *The Computer, from Pascal to Von Neumann*, op. cit., p. 233 ; et N. Stern, *From ENIAC to UNIVAC*, p. 75. J'utilise le terme *ordinateur*, adopté en France en 1955, dans son sens habituel : calculateur électronique numérique (*digital*) à programme enregistré, tel que J. von Neumann l'a décrit en 1945. L'ordinateur diffère ainsi des autres types de calculateurs : non électronique (mécanique ou électromécanique), non numérique (analogique), à programme externe (sur cartes ou bandes perforées, par tableau de connexion), ou sans programme (calculateurs de bureau, règles à calcul...).

Von Neumann retourne à l'Institute for Advanced Studies de Princeton avec son assistant H. Goldstine. Tous deux s'attellent à la construction de la « machine IAS » et encouragent d'autres laboratoires à mettre en chantier des répliques de cet ordinateur. Von Neumann devient aussi conseiller scientifique chez IBM, comme il l'est dans diverses instances de la Défense américaine : il y pousse les projets d'ordinateurs en démontrant que, malgré les risques inhérents à leur nouveauté et à leur complexité, le retour sur investissement sera très élevé. De leur côté, Eckert et Mauchly prennent des brevets et fondent une entreprise qui présentera en 1951 les premiers ordinateurs commerciaux américains : Univac.

UN MODÈLE INTERNATIONAL DE DÉVELOPPEMENT : DU LABORATOIRE À L'INDUSTRIE

52 En Grande-Bretagne, une dizaine de grands calculateurs sont mis en chantier après la fin de la guerre. La plupart sont des architectures plus ou moins baroques et n'auront pas de descendance, ou sont même considérés comme des échecs dès leur mise en service. Cependant des ordinateurs inspirés du modèle de von Neumann sont réalisés simultanément dans trois institutions : le National Physical Laboratory, l'université de Manchester et le laboratoire de mathématiques de l'université de Cambridge. L'équipe de Cambridge est animée par Maurice V. Wilkes, un mathématicien doublé d'un électronicien – ancien radio-amateur, il a dirigé une station radar pendant la guerre. En 1946, il a lu le *First Draft on the EDVAC* de von Neumann et est aussitôt parti suivre l'école d'été d'Eckert et Mauchly à Philadelphie. La machine de Cambridge, l'EDSAC, terminée en juin 1949, est le premier ordinateur opérationnel du monde.

On peut généraliser à partir de ces exemples canoniques : si l'on se place dans la perspective d'une comparaison internationale, l'ordinateur, enfant des spéculations mathématiques et des besoins militaires, est né au cœur de la recherche publique. Les grands calculateurs qui ont donné naissance à l'informatique moderne ont été conçus, autour de la seconde guerre mondiale, dans des laboratoires de recherche d'État. Cette expérience a ensuite été mise à profit par l'industrie, par transfert de technologies ou par mobilité de jeunes ingénieurs, pour transformer ces machines expérimentales en produits de série acceptables par le marché (tableau 1).

Même exprimé sous une forme aussi tranchée, ce schéma linéaire d'innovation décrit assez fidèlement les différentes histoires de calculateurs électroniques à l'époque pionnière des années quarante et cinquante, telles qu'elles apparaissent dans les mémoires des pionniers et dans les travaux d'historiens.

Tableau 1. Les premiers ordinateurs, du laboratoire à l'entreprise

Laboratoire	Machine	Mis en service	Entreprise	Série
Moore School	ENIAC +EDVAC	1945	Eckert-Mauchly (Remington Rand)	Univac
Harvard Computation Lab.	Mk1-ASCC	1944	IBM	
Princeton IAS	IAS	1953	IBM	Série IBM 700
National Bureau of Standards	SEAC, SWAC	1950	(influence toute l'industrie)	
Manchester	MADM	1949	Ferranti	Ferranti Mk I
	MEG	1954	Ferranti	Mercury
Lab. maths Cambridge	EDSAC	1949	J. Lyons & Co.	LEO
National Physical Laboratory	Pilot ACE	1951	English Electric	DEUCE
Université de Londres	APE(X)C	1951	BTM (ICL)	Série HEC
AERE Harwell	Witch	1951	[technologie à tubes et relais]	
PTT néerlandais	PTERA	1953	STC	Zebra
MMN (Suède)	BESK	1953	Facit	Facit EDB
MC Amsterdam	ARRA +ARMAC	1956	Electrologica	X1/X8
Berlin DVL (rech. aéronautique)	Zuse Z3	1941	Zuse KG	Calculateurs « Z »
Munich TH (INT)	PERM	1956	Siemens	R 2002
Darmstadt IPM	DERA	abandonné	SEL	ER 56
Dresde TH	Tambour magnétique	1958	Karl Zeiss VEB	ZRA1
Université tech. de Vienne	Mailüfterl	1956	IBM	
Prague Institut Machines Math.	SAPO	1957	ZPA	
Varsovie Institut Machines Math.	XYZ	1958	ELWRO	ODRA
Université de Pise (dpt. Physique)	CEP	1957	Olivetti	Série 9000
Université de Sydney	Mk1 -CSIRAC	1949	[Instruments Math. /Radiophysique]	
Université de Sydney	SILLIAC	1956	[Recherche nucléaire]	
Weizmann Institute, Rehovot	WEIZAC	1955	Elron /Elbit	
Nippon TT	N1 (Parametron)	1957	Fujitsu	Facom 200
Université de Tohoku	Senac (Parametron)	1959	NEC	NEAC 1000
Université de Tokyo	TAC	1952-1959	Toshiba	
Université de Tokyo	PC 1 & 2	1958-1961	Fujitsu	

La question « qui a inventé l'ordinateur ? » est sans réponse précise. Au milieu des années quarante, plusieurs personnes, en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne, imaginaient la possibilité d'un calculateur à programme enregistré. Leur travail était fondé sur un mélange de mathématiques, de physique et de connaissance intime des calculateurs existant à l'époque. La plupart travaillaient dans le cadre de la recherche publique, en majorité dans des laboratoires universitaires.



Figure 1. La rencontre de la logique formelle et du fer à souder :
l'EDSAC au Mathematical Laboratory de Cambridge (1948)

En 1948, dans un laboratoire universitaire, construire un ordinateur est une aventure qui exige des compétences très variées : électronique, électricité, mécanique, mathématiques... Aptitude, aussi, à diriger un projet technologique : faire travailler ensemble et communiquer ces spécialistes ; choisir des compromis entre concepts scientifiques et possibilités des techniques disponibles ; obtenir des crédits, convaincre les hautes autorités ; respecter un calendrier, des délais de réalisation, parfois aux dépens des performances. Activité nouvelle, considérable à l'échelle d'un laboratoire de mathématiques, un tel projet est cependant à la portée d'une petite équipe – une dizaine de personnes.

Ici, Maurice Wilkes et ses collaborateurs assemblent l'EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) au laboratoire de mathématiques de l'université de Cambridge. Fort de ce succès technique, ce pôle pionnier joue un rôle essentiel dans la diffusion du *stored-program computer* au début des années 1950 : il publie le premier manuel de programmation en 1951 ; quelques Français, parmi d'autres Européens, s'y viennent initier au calcul électronique et à l'architecture d'ordinateur (photo Cambridge Mathematical Laboratory).

Le transfert technologique de la recherche à l'industrie s'est effectué de plusieurs manières. Parfois, le prototype universitaire a été directement adopté par une entreprise : ainsi, les ordinateurs conçus à l'université de Manchester ont été industrialisés par la firme Ferranti Ltd. Souvent, des chercheurs sont passés dans le secteur privé, mettant leur expérience au service de nouveaux projets ; c'est ainsi qu'un ancien ingénieur du MIT ayant participé au projet SAGE (vaste réseau radar contrôlé par ordinateurs, dont la mise au point a entraîné une vague d'innovations), a fondé en 1957 Digital Equipment. D'autre part, les laboratoires pionniers ont exercé un rayonnement durable qui a contribué à renforcer leur position dans ce domaine nouveau. C'est le cas de Princeton, de Cambridge et de Manchester, mais aussi de centres secondaires comme Amsterdam ou Göttingen, dont la machine G1 est copiée en Finlande sous le nom de *ESKO* par le Comité pour les machines mathématiques.

On reconnaît là le modèle « linéaire » de l'innovation, telle qu'on la percevait à l'époque : l'invention née dans la recherche suit un chemin qui la mène, à travers les étapes du développement et de l'adaptation au marché, à la production industrielle. Même si ce modèle a été critiqué et enrichi par la suite, il repose sur des expériences vécues depuis la seconde guerre mondiale, comme le calcul électronique et l'énergie nucléaire. Il est effectivement valable pour une courte période de l'histoire de l'informatique, la période pionnière.

Dans le cas qui nous occupe, quelle importance a le fait que les premiers calculateurs soient construits dans la recherche plutôt que dans l'industrie⁷ ? À cette époque pionnière, les laboratoires de la recherche publique étaient plus à même que les entreprises de prendre les risques inhérents au développement des premiers ordinateurs : ils travaillaient sans contrainte de rentabilité financière ; ils possédaient la culture mathématique sur laquelle se fondaient à la fois la conception logique des ordinateurs et les procédés de programmation ; les valeurs du milieu scientifique étaient a priori plus propices à l'innovation radicale que celles des bureaux d'études des firmes, voués en majorité aux perfectionnements « incrémentaux » ; les chercheurs pouvaient développer des spécifications en toute indépendance des constructeurs de matériels et des standards existant, envisager des applications futuristes sans se soucier de la réceptivité immédiate du marché (notons que la même ambiance permettra vingt ans plus tard

7 J'utilise l'expression *recherche publique* pour simplifier, en gardant à l'esprit les spécificités nationales dans l'organisation de la recherche. Ainsi, lorsque la France veut se doter d'une structure analogue aux Bell Labs (laboratoires du groupe ATT), l'État fonde un *Centre national d'études des télécommunications*. Les termes *recherche fondamentale* ou *recherche universitaire* seraient trop restrictifs ; *recherche* tout court serait trop extensif.

d'inventer Arpanet, l'ancêtre d'Internet). Ils jouissaient de plus de liberté pour expérimenter des techniques et des concepts nouveaux, consacrer du temps à explorer diverses voies, travailler à long terme. Les informations y circulaient plus aisément, en principe, d'une discipline et d'une institution à l'autre, qu'entre des entreprises où la propriété intellectuelle était souvent protégée, soit par le brevet, soit par le secret. Par culture et par vocation, ils étaient donc davantage portés à initier une révolution technologique, à diffuser celle-ci par l'essai, l'enseignement et les publications.

Ajoutons trois remarques à ce schéma descriptif, trois observations de régularités. D'abord, les premiers ordinateurs ont été en majorité construits au sein des départements de mathématiques, plutôt que des départements de « génie électrique » – significativement, à l'époque, on les appelle « machines mathématiques ».

56

Deuxièmement, ils n'y sont pas apparus *ex nihilo*, mais sur un terrain déjà préparé par l'existence, soit de calculateurs analogiques, soit de grandes machines électromécaniques, soit de services de calcul travaillant avec des machines de bureau – ainsi, à la fin des années 1930, les principales universités d'Europe du Nord construisent des répliques de l'analyseur différentiel électromécanique conçu par Vannevar Bush au MIT : il est frappant de constater la corrélation entre la présence de ces équipements (parfois dès le début des années trente) et le développement ultérieur d'ordinateurs dans les mêmes institutions ou dans leur environnement immédiat.

Troisièmement, construire un ordinateur dans les années quarante et cinquante était une tâche extrêmement difficile, et les échecs ont été nombreux. On peut considérer l'exemple de la Grande-Bretagne – pays comparable à la France par sa taille, ses ressources économiques et son niveau technique : sur une dizaine de grands calculateurs mis en chantier entre 1946 et 1950 dans la recherche publique, quatre seulement apparaîtront comme viables et auront une « descendance »⁸. Cela suffit néanmoins pour constituer de remarquables équipes de *computer science* et pour inciter quelques compagnies à se lancer dans l'aventure.

En commençant par cette synthèse très ramassée de quelques centaines de livres et d'articles sur les débuts de « l'âge digital », on prend évidemment le parti d'aborder l'histoire de l'informatique à travers l'histoire des premiers développements d'ordinateurs, plutôt que des utilisations de ces appareils, de leur économie ou des concepts fondamentaux qui les ont inspirés. On y viendra aussi dans cet ouvrage, mais cette première approche centrée sur les

8 S. Lavington, *Early British Computers*, Manchester, Manchester University Press, 1980.

objets et leur invention s'avère féconde, bien au-delà de la seule histoire des techniques. Nettement décalée par rapport au « discours des acteurs » français, elle jette aussi une lumière crue sur l'aptitude des organismes scientifiques à innover.

LA FRANCE : NORMALITÉ ET EXCEPTION

La France appartient, comme les autres pays du continent européen, à la deuxième génération des pays qui se sont lancés dans le calcul électronique. Quand les premières séries commerciales d'ordinateurs apparaissent aux États-Unis et en Grande-Bretagne au début de 1951, en France n'existent encore que des projets. Le calcul électronique, puis l'informatique se développeront d'abord dans quelques centres publics de recherche et d'enseignement supérieur (les universités de Grenoble et de Toulouse, l'Institut Blaise Pascal du CNRS, des établissements de la Marine et de l'Armée, etc.) et dans trois entreprises (SEA, IBM France et Bull). C'est en 1955 que plusieurs ordinateurs entrent simultanément en service dans l'Hexagone. À ce noyau pionnier s'ajouteront progressivement d'autres acteurs, d'autres institutions.

On a évoqué la contribution décisive de la recherche publique au démarrage du calcul électronique à l'étranger. On en vient donc naturellement, en examinant le cas français, à poser les questions suivantes : Qu'ont fait les organismes de recherche, d'une part, les universités et les écoles d'ingénieurs, d'autre part ? Quel est leur bilan, qu'il s'agisse de la conception et de la construction de machines, ou de la formation de spécialistes ? Cette technologie exotique, inventée aux États-Unis et en Angleterre, a-t-elle trouvé en France un terrain scientifique favorable à sa réception et à son développement ? Comment ce domaine nouveau était-il considéré dans le milieu académique⁹ et en particulier comment son émergence s'est-elle traduite sur le plan institutionnel ?

On constatera que la recherche publique française n'a réalisé aucun ordinateur à l'époque pionnière, malgré plusieurs tentatives dans différents laboratoires. On tentera ensuite d'expliquer cet échec, ou ce vide, en examinant le contexte national avant et après la seconde guerre mondiale, mettant notamment en évidence la relative faiblesse d'une tradition du calcul scientifique, corrélée à la fois à la domination des mathématiques pures et au mode de travail des entreprises du secteur électrique.

9 Suivant l'usage anglo-américain, on utilisera par commodité ce terme grec, *académique*, pour englober les milieux professionnels de l'université et des organismes civils de recherche fondamentale, tel le CNRS.

L'ÉCHEC DE LA CONSTRUCTION D'ORDINATEURS DANS LA RECHERCHE PUBLIQUE

Les premiers ordinateurs ont donc été construits à la fin des années 1940 dans des universités et dans divers laboratoires d'État britanniques et américains. Le plus souvent au sein de départements de mathématiques. Et jamais *ex nihilo*, mais sur un terrain déjà préparé par l'existence de services de calcul, parfois dotés de calculateurs analogiques ou de grandes machines électromécaniques : la conversion des mathématiciens à la science lourde, à la *Big Science*, fut un apprentissage progressif¹. Apprentissage à la fois technique et social, des machines comme de l'organisation humaine qui les entourait. Cette expérience a ensuite été mise à profit par l'industrie pour réaliser les premières séries commerciales.

Le même processus se retrouve, avec un décalage de quelques années, en Europe continentale et au Japon. Or, de tous les pays industrialisés, la France est le seul où la recherche publique n'a réalisé aucun ordinateur à l'époque pionnière, c'est-à-dire avant 1960. Ce n'est pas faute d'avoir lancé des projets. Comme nous le verrons, dans six centres de recherche français le processus décrit ci-dessus a été entamé, mais son déroulement s'est interrompu à un stade ou à un autre. On évoquera successivement ces échecs et leurs interprétations possibles². Auparavant, quatre remarques d'ordre général s'imposent.

Il est clair que nous tentons ici d'écrire une histoire « en creux », d'examiner un vide, une absence qui n'apparaît qu'a posteriori à la lumière d'une comparaison internationale. Celle-ci n'est possible qu'avec le recul et l'accumulation de

- 1 Ainsi, l'Anglais Maurice Wilkes consacre à « L'organisation d'un centre de calcul scientifique » un chapitre de son livre *Automatic Digital Computers*, London, Methuen & Co, 1955. La manière d'organiser un centre de calcul ou de traitement de l'information est un thème régulièrement abordé dans les publications spécialisées ou dans la correspondance des responsables scientifiques (telle la correspondance de J. Kuntzmann, lorsqu'il crée son laboratoire grenoblois) ; de même que la manière d'organiser rationnellement un atelier mécanographique est un sujet classique, depuis le début du siècle, dans la littérature des bureaux des comptables et des ingénieurs-conseils.
- 2 Cette conception a été présentée sous une forme résumée au colloque *Technological Change* (université d'Oxford, 8-11 septembre 1993) : « The Failure of the French Public Research System in Building Pioneer Computers », et publiée : « La recherche publique française et les premiers ordinateurs : un échec lourd de conséquences (1939-1959) », *XX^e Journées d'études sur la Parole*, Groupe francophone sur la communication parlée, SFA/ESCA, mai 1994, p. 23-29 ; et, sous une forme plus étendue, « L'enseignement supérieur, la recherche mathématique et la construction de calculateurs en France (1920-1970) », dans F. Birck et A. Grelon (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine. Enseignements industriels et formations technico-scientifiques supérieures, XIX^e-XX^e siècles*, Metz, Éditions Serpenoise, 1998.

travaux historiques qui nous offrent un panorama global des premiers pas de l'informatique dans différents pays, y compris de réalisations restées longtemps secrètes. Tel que nous le posons, le problème ne pouvait apparaître dans la conscience des acteurs de l'époque. Pour beaucoup d'entre eux, il est même évident que l'université ou le CNET, par exemple, « n'avaient pas à construire d'ordinateur ». Pour nous, cette évidence est objet d'interrogation, puisque des institutions étrangères comparables ont construit des ordinateurs. Si nos recherches d'archives et nos confrontations avec les témoins visent à découvrir et à serrer de près ce que nous tenons pour une réalité historique, notre grille de questions, d'interprétation et de présentation est donc une élaboration, un montage d'historien. Il arrivera peut-être que l'histoire choque la mémoire.

60 En recensant les premiers ordinateurs construits à travers le monde, nous avons dégagé une sorte de « modèle » de développement commun, toile de fond sur laquelle ressort « l'exception française ». C'est seulement en référence à ce modèle mondial que nous parlons d'un « échec » de la recherche nationale à construire des ordinateurs. L'étude comparative de cette « anomalie » s'insère dans la problématique plus large du « retard français », qui recèle un piège pour l'historien : considérer le « modèle » comme une norme, présenter notamment les États-Unis comme l'idéal dont les autres nations devraient suivre l'exemple au plus près – un peu comme les « cinq étapes de la croissance » de Rostow³, que des générations d'étudiants en économie ont apprises comme s'il s'agissait d'une imprescriptible loi naturelle. On évitera autant que possible de tomber dans ce travers stérile. La comparaison ne doit pas être normative, mais révélatrice. Elle nous aide à trouver des pistes de recherche et à comprendre les logiques, les intérêts à l'œuvre dans la France de l'époque.

Cette précaution prise, il faut toutefois souligner trois choses. Premièrement, s'il n'existe pas de *one best way*, de voie unique du développement technologique, force est tout de même de constater que celui-ci est soumis à un degré assez élevé de déterminisme – on n'invente pas n'importe quoi n'importe quand et n'importe où, la cohérence des systèmes techniques ne laisse qu'une marge de liberté créatrice limitée.

Deuxièmement, beaucoup d'acteurs de cette histoire considéraient eux-mêmes les États-Unis comme un modèle à suivre dans le domaine du développement scientifique et industriel, avec d'évidentes bonnes raisons ; donc on ne peut évacuer l'idée qu'une norme existe dans les esprits, qui détermine les comportements.

3 W.W. Rostow, *The Stages of Economic Growth*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960 ; trad. *Les Étapes de la croissance économique*, Paris, Le Seuil, 1963.

Troisièmement, si l'on se re-situe dans l'époque, l'effort de la nation visait à se moderniser pour retrouver rang et puissance. Et l'on savait dès la fin des années quarante que le calcul électronique en était l'une des clés. Or, dans les représentations plus ou moins scientistes qui avaient cours, la recherche publique devait être l'avant-garde de cette reconquête. C'est en vertu de ce raisonnement que sont fondés, en 1946, l'Institut Blaise Pascal et l'ONERA, tout comme le CEA et l'EDF avec sa puissante direction des études et recherches.

Ce modèle rappelle une notion familière aux spécialistes de l'innovation, celle du « processus linéaire » : les inventions nées dans les laboratoires de recherche fondamentale deviendraient des produits industriels et commerciaux à travers une succession d'étapes (recherche appliquée, développement, mise au point, production) réglées comme le jeu de l'oie... ou comme les cinq étapes de Rostow. Cette conception, largement répandue parmi les scientifiques et qui sert leurs intérêts bien compris autant que ceux de la science, a été diffusée dès avant guerre par des savants français idéalistes comme Jean Perrin, et ensuite avec encore plus d'influence par Vannevar Bush dans son livre *Science, the Endless Frontier*⁴.

La pousserait-on jusqu'à représenter la technologie comme le moteur déterminant et exclusif de l'Histoire, comme une force qui va, entraînant à sa suite l'humanité, à l'image de la Camarde menant les danses macabres du xv^e siècle ? Elle inspira l'organisation de la recherche fondamentale au milieu du siècle, étant au cœur de l'argumentation employée par J. Perrin pour obtenir la création du CNRS, par V. Bush pour susciter la fondation de la NSF. On présupposait alors que les applications suivraient d'elles-mêmes, qu'elles seraient les *retombées* naturelles de l'effort scientifique.

Dès les années soixante, cette conception a fait place à des représentations plus complexes et plus réalistes du processus d'innovation, prenant en compte les influences réciproques de la science, de la technologie et de la société, et accordant une attention nouvelle aux mécanismes du transfert technologique. Bref, un modèle dialectique. Pourtant, le modèle linéaire conserve une validité, dans certaines limites. Si l'on examine la genèse des premiers ordinateurs, on constate que c'est à l'intérieur même des laboratoires qu'ont eu lieu les interactions entre demande de calcul et offre technique, entre recherche pure et mise au point, entre concepteurs de schémas logiques, spécialistes du calcul et électrotechniciens : processus complet de réalisation d'un instrument scientifique, caractéristique de la « science lourde ». Les progrès des machines à calculer contemporaines répondaient d'abord à la demande des scientifiques et des techniciens : un bon produit de laboratoire pouvait leur suffire, industrialisé

4 V. Bush, *Science, the Endless Frontier*, Washington, OSRD, 1945.

sans grande modification, sans les redéfinitions et les normes exigées par une clientèle plus « commerciale ». Le modèle linéaire reste valable si l'on s'en tient au niveau institutionnel – du laboratoire à l'entreprise.

C'est pourquoi nous commencerons par visiter les six centres scientifiques qui, entre 1935 et 1955 (date où les premiers ordinateurs sont livrés par l'industrie en France), ont entrepris de réaliser des calculateurs : l'Institut Henri Poincaré, le laboratoire de calcul analogique Pères-Malavard, l'Institut Blaise Pascal, l'Institut d'optique, l'Office national d'études et de recherches aéronautiques et le Centre national d'études des télécommunications (un tableau récapitulatif figure en conclusion du volume). On évoquera de plus l'absence d'un grand laboratoire de métrologie et de physique appliquée dans le paysage scientifique français.

A. L'INSTITUT HENRI POINCARÉ ET LA MOBILISATION SCIENTIFIQUE

Prenez garde, nous avons les meilleures jumelles, de chez Zeiss, les meilleures tables de tir et les meilleurs pointeurs : n'approchez pas trop !

Ernst Jünger, *Le Boqueteau* 125

La domination des mathématiques pures, évoquée par tous les informaticiens qui nous ont livré leurs souvenirs, n'est pas un trait immuable de la science française. Caractéristique des décennies d'après-guerre où s'impose le groupe Bourbaki, elle est moins évidente lorsqu'on remonte dans le temps, dépassant l'horizon d'une mémoire de contemporain.

Les premières batailles de la Grande Guerre, en confirmant la supériorité de la technique allemande, avaient décidé les Français à retirer du front les scientifiques pour mobiliser leurs compétences dans les laboratoires au profit de leurs armes. C'est ainsi que furent mis à contribution les talents des mathématiciens, militaires et civils. L'un de ces derniers, Émile Borel, professeur en Sorbonne et brillant spécialiste du calcul des probabilités, fut nommé à la tête de la Direction des inventions intéressant la Défense nationale (DIIDN), créée en décembre 1915 par un autre mathématicien, Paul Painlevé.

Borel réorganisa le Centre d'études de l'artillerie fondé par Pétain pour enseigner aux officiers les principes et les outils de la guerre moderne ; il y fonda notamment un bureau de calcul⁵. Élu député en 1924, bientôt

5 Ce bureau de calcul employait une trentaine de personnes, parmi lesquelles des astronomes et des professeurs. Il est cité parmi les réalisations notables dans le *Rapport de la Direction des Inventions*, 10 novembre 1916 (Arch. nat. 313 AP 62). Y. Roussel, qui le mentionne, remarque à juste titre que ce genre de réalisation relevait beaucoup moins des « inventions » que de l'organisation des services techniques (Y. Roussel, « L'histoire d'une politique des

ministre, Borel attache son nom à une taxe instituée en 1925 pour financer les laboratoires publics, qui apporte un substantiel complément de ressources à la recherche. Le sous-développement de la science française est à l'époque l'objet de vives critiques et inspire de nombreux projets de réformes, qui aboutiront en 1939 à la fondation du CNRS⁶. Cette taxe, le « sou du laboratoire » est une étape dans l'avènement d'une activité scientifique autonome vis-à-vis de l'enseignement. Accessoirement, Borel préside l'Office national des recherches scientifiques et industrielles, ex-commission des Inventions créée pendant la guerre, ce qui confirme une impression générale : la guerre a été pour maints universitaires l'occasion de découvrir l'intérêt des applications de la recherche et du travail en collaboration ; ils y ont pris goût et souhaiteront désormais perpétuer ce mode d'action⁷. Au-delà des applications scientifiques ou techniques, Borel lui-même milite pour l'emploi des mathématiques dans l'aide à la décision.

En 1928, Borel instaure l'Institut Henri Poincaré avec le soutien du banquier Edmond de Rothschild et de la Fondation Rockefeller. La fondation Rockefeller offre des bourses aux jeunes « chercheurs » (le terme se répand alors), favorise les travaux interdisciplinaires et les domaines négligés aux marges des grands secteurs de la science officielle⁸. L'Institut Henri Poincaré résulte à la fois de cette politique d'une fondation américaine et au désir de savants français de développer ensemble deux domaines qui se sont rapprochés depuis la fin du XIX^e siècle : la physique mathématique et la recherche sur les probabilités et statistiques⁹. Modéliser la physique en utilisant les progrès les plus récents des mathématiques, c'est le programme essentiel de l'IHP.

inventions, 1887-1918 », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 3, p. 46-47). D'autres universitaires (Haag, Esclangon) ont travaillé en 1914-1918 avec la commission de Gâvre (artillerie de Marine).

- 6 F. Blancpain, « La création du CNRS : Histoire d'une décision, 1901-1939 », *Bulletin de l'IIAP*, Paris, octobre-décembre 1974, n° 32, p. 751-801.
- 7 La pratique générale de la recherche ne change pas pour autant ! Voir à ce sujet le chapitre « Des volontés de changement : désirs et réalités » dans D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Paris, Éditions des Archives contemporaines, 1985.
- 8 D. Pestre, *ibid.* Le projet d'Institut Henri Poincaré, élaboré par Borel en 1928, est officiellement adopté en 1931. Hors des salaires des enseignants, payés par la faculté des sciences, ses ressources en 1937 totalisent 301 221 F (taxe d'apprentissage, produit des travaux pratiques, subventions, rente 4 1/2 %) (Archives du rectorat de Paris, AG5).
- 9 Norbert Wiener explique dans *Cybernétique et Société* que les probabilistes français Borel et Lebesgue avaient inventé au début du siècle une théorie d'intégration qui se révéla être exactement l'outil dont avait besoin la physique probabiliste, dans le cadre de laquelle Wiener effectua la plupart de ses travaux, par exemple sur le mouvement brownien (N. Wiener, *Cybernétique et Société*, Paris, rééd. Éditions des Deux Rives 10/18, 1962, p. 8-9). L'intégrale de Lebesgue est l'une des grandes inventions mathématiques de ce siècle, à la fois comme concept mathématique et comme outil pour la physique.

PORTÉE EN MÈTRES.		ANGLE de tir en degrés et minutes.		DISTANCE en mètres.		MÉTÈRES à partir de la hauteur de la pièce.		FOURCHETTE en mètres.		CORRECTIONS EN PORTÉE.		CORRECTION de la hausse.		CORRECTIONS AU CORRECTEUR.		CORRECTIONS EN PORTÉE.		CORRECTION de la hausse.		CORRECTIONS AU CORRECTEUR.		PORTÉE EN MÈTRES.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24										
en mètres	en degrés	en minutes	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres	en mètres										
7500	16 55	585	5975	5700	6615	5100	40	160	200	12	0,575	250	23,6	73	6	11	5	-111	+40	-100	-285	15	+480	-110	27	+989	-265	-2,3	-2,0	-3,0	-1,1	-0,1	7500
7600	16 43	299	5200	6700	5500	40	160	200	12	0,490	250	21,1	70,0	6	11	5	-112	+41	-107	-288	16	+477	-111	27	+976	-271	-2,3	-2,0	-3,0	-1,1	-0,1	7600	
7700	17 8	299	5200	6825	5575	40	180	200	11	0,563	258	21,1	70,0	6	11	5	-112	+41	-108	-215	16	+472	-112	27	+976	-278	-2,3	-2,0	-3,0	-1,2	-0,1	7700	
7800	17 22	306	5235	6900	5675	45	180	200	11	0,547	258	20,9	69,0	7	11	6	-115	+42	-110	-218	18	+470	-112	28	+971	-282	-2,3	-2,1	-3,1	-1,2	-0,1	7800	
7900	17 57	311		6975	5775	45	180	200	11	0,529	257	20,9	68,0	7	11	6	-115	+43	-112	-223	18	+467	-113	28	+965	-293	-2,3	-2,1	-3,1	-1,3	-0,1	7900	
8000	18 32	321			5850	45	180	200	11	0,502	257	20,6	67,0	7	15	6	-115	+43	-113	-228	20	+467	-113	29	+959	-300	-2,3	-2,1	-3,2	-1,3	-0,1	8000	
8100	18 47	328			5925	45	180	200	11	0,526	256	20,2	66,0	7	13	6	-115	+44	-115	-233	21	+468	-114	29	+952	-307	-2,3	-2,2	-3,2	-1,3	-0,1	8100	
8200	19 13	335			6025	50	180	200	11	0,510	256	20,0	66,0	7	15	6	-115	+45	-117	-238	22	+467	-115	30	+945	-315	-2,3	-2,2	-3,2	-1,4	-0,1	8200	
8300	19 50	343			6125	50	200	200	11	0,581	256	20,0	66,0	8	15	6	-115	+45	-118	-245	23	+468	-116	30	+938	-323	-2,3	-2,2	-3,3	-1,4	-0,1	8300	
8400	20 6	351			6200	50	200	250	16	0,599	255	20,0	65,0	8	15	6	-115	+46	-120	-248	24	+468	-117	30	+931	-331	-2,3	-2,3	-3,4	-1,4	-0,1	8400	
8500	20 33	359			6300	0 50	200	300	16	0,611	255	20,0	64,0	8	15	7	-116	+47	-122	-253	25	+470	-118	30	+924	-339	-2,3	-2,3	-3,4	-1,5	-0,1	8500	
8600	21 1	367			6375	1 0	200	300	16	0,629	255	20,1	110,0	9	16	7	-116	+47	-124	-258	26	+468	-119	31	+917	-348	-2,3	-2,4	-3,5	-1,5	-0,1	8600	
8700	21 50	375			6450	1 0	200	350	16	0,643	255	20,0	110,0	9	16	7	-116	+48	-126	-263	27	+467	-120	31	+910	-356	-2,3	-2,4	-3,6	-1,6	-0,1	8700	
8800	21 59	384			6550	1 0	200	400	18	0,661	254	20,0	110,0	9	16	7	-118	+49	-127	-268	28	+465	-121	31	+903	-365	-2,2	-2,4	-3,6	-1,6	-0,1	8800	
8900	22 29	392			6625	1 0	200	450	18	0,678	254	20,1	123,0	9	16	7	-118	+50	-129	-274	29	+466	-122	31	+896	-374	-2,2	-2,4	-3,7	-1,6	-0,1	8900	
9000	22 59	401			6725	1 10	200	500	18	0,695	254	20,1	129,0	10	16	8	-119	+50	-131	-279	30	+466	-123	31	+889	-383	-2,2	-2,4	-3,8	-1,7	-0,2	9000	
9100	23 30	410			6800	1 10	200	550	18	0,713	254	20,1	133,0	10	16	8	-119	+51	-133	-284	31	+466	-124	31	+882	-392	-2,2	-2,4	-3,8	-1,7	-0,2	9100	
9200	24 1	419			6875	1 10	200	600	18	0,730	254	20,1	137,0	10	17	8	-120	+52	-135	-289	32	+467	-125	32	+875	-401	-2,2	-2,4	-3,9	-1,8	-0,2	9200	
9300	24 36	428			7100	2 50			20	0,753	254	20,0	138,0	10	17	8	-120	+53	-137	-294	33	+468	-126	32	+868	-410	-2,2	-2,4	-4,0	-1,8	-0,2	9300	
9400	25 11	440			7250	2 50			20	0,776	254	20,0	148,0	11	17	8	-121	+53	-139	-300	35	+455	-127	31	+861	-419	-2,2	-2,4	-4,0	-1,9	-0,2	9400	
9500	25 46	450			7400	3 50			20	0,799	254	20,1	158,0	11	17	9	-121	+54	-141	-306	36	+457	-128	31	+854	-428	-2,2	-2,4	-4,1	-1,9	-0,2	9500	
9600	26 22	460			7600	4 50			20	0,812	255	20,0	159,0	11	17	9	-122	+55	-143	-311	37	+459	-129	32	+847	-437	-2,2	-2,4	-4,1	-1,9	-0,2	9600	
9700	26 59	471			7800	5 50			20	0,831	255	20,0	163,0	12	18	9	-123	+56	-146	-316	39	+461	-130	32	+840	-446	-2,2	-2,4	-4,2	-2,0	-0,2	9700	
9800	27 38	482			8000	6 50			25	0,858	255	20,0	171,0	12	18	9	-123	+57	-149	-322	40	+463	-131	32	+833	-455	-2,2	-2,4	-4,2	-2,0	-0,2	9800	
9900	28 18	494			8200	8 0			25	0,882	256	20,0	178,0	12	18	10	-124	+58	-151	-327	41	+465	-132	33	+826	-464	-2,2	-2,4	-4,3	-2,0	-0,2	9900	
10000	29 0	506			8400	9 0			25	0,908	256	20,0	185,0	12	18	10	-125	+59	-153	-333	43	+467	-133	33	+819	-473	-2,2	-2,4	-4,3	-2,0	-0,2	10000	

Variation de la vitesse initiale : $dV_0 = +10^{\circ}$ de la température de la poudre : $dV_0 = +3^{\circ}$.

64

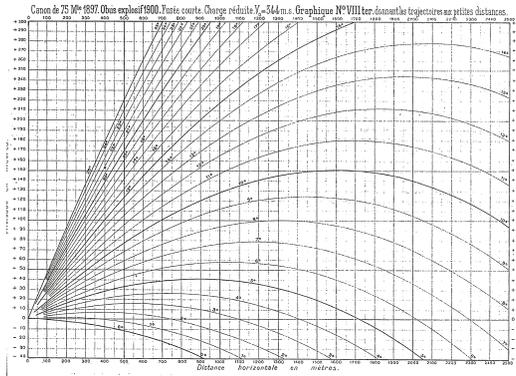


Figure 2. Extrait des Tables de tir du canon de 75 (1925)

Un canon de campagne moderne du début du xx^e siècle tirait différents types de munitions, de poids et de formes divers, à des distances approchant 10 kilomètres. De nombreux facteurs externes pouvaient influencer la trajectoire de l'obus : le vent, la température de l'air, etc. Le chef de batterie, ou son observateur, devait mesurer ces variables, ainsi que la distance et l'altitude de sa cible. Puis, au lieu de calculer lui-même l'orientation à donner à ses pièces, il consultait les tables de tir qui lui fournissaient toutes les données numériques prêtes à l'emploi, c'est-à-dire directement affichables sur les instruments de réglage des canons. Ces tables étaient calculées, ligne après ligne et colonne après colonne, par les bureaux de calcul des Commissions d'études pratiques, notamment celle de Bourges pour l'Armée de terre. Elles comportaient des tables de logarithmes à 4 décimales, des tables de conversion des valeurs des angles, des tableaux des températures, des abaques et des graphiques, et des tableaux fournissant les données de tir pour chaque type de projectile, de 100 m en 100 m : angle de tir, durée du vol, tangente de l'angle de chute, etc. Il s'agissait donc de production de masse d'informations arithmétiques dont la fiabilité était une question de vie ou de mort.

(Ministère de la Guerre, *Tables de tir du canon de 75, modèle 1897*, Bourges, 1925)

Par ailleurs, l'Institut Henri Poincaré réalise une idée souvent formulée dans les milieux scientifiques : organiser la recherche en instituts groupant de véritables équipes de spécialistes, travaillant avec plus d'efficacité que la vieille formation individualiste (un professeur et ses assistants-élèves) qui règne dans l'université française¹⁰. Un avantage des instituts est qu'ils ont les moyens financiers et humains de disposer de matériel « lourd », coûteux, moderne. L'Institut Henri Poincaré est donc porteur d'innovation sur les plans à la fois scientifiques et organisationnels – même s'il n'est pas seul de son espèce : l'Institut du radium, l'Institut d'optique participent au laborieux renouvellement des structures de la recherche.

Autour de la physique théorique, l'Institut Henri Poincaré a vocation à polariser les mathématiques appliquées – spécialité de Borel. Installé dans l'ensemble de bâtiments construits rue Pierre-et-Marie Curie pour loger des centres de recherche, l'IHP compte au début de 1939 quatre laboratoires, dont chacun comporte un service de calcul¹¹ :

- « Mathématiques » (Borel, entouré de Fréchet, Hadamard, Montel, Bouligand, Lévy) ; le bureau de calcul, dirigé par René Lagrange, est équipé d'une douzaine de machines numériques, « en particulier en vue de l'astronomie¹² », acquises sur les crédits de la Caisse nationale des recherches scientifiques (la CNRS créée en 1935).
- « Calculs » (Henri Mineur, entouré de Paul Couderc, Melle Canavaggia, Jacques Chapelon, et employant une dizaine de calculatrices qui utilisent 12 machines de table)¹³.
- « Physique théorique » (Louis de Broglie).
- « Statistiques et probabilités » (Maurice Fréchet, professeur de calcul différentiel et intégral).

La guerre approchant, les laboratoires voient leur charge de travail croître considérablement. Le Haut comité de coordination des recherches

-
- 10 T. N. Clark, « Le patron et son cercle : clef de l'université française », *Revue française de sociologie*, vol. XII, 1971.
- 11 Université de Paris, Institut Henri Poincaré (mobilisation scientifique) : Organisation proposée pour la 11^e section du 3^e groupe du CNRSA, 25 septembre 1939 (Arch. nat. 80/0284/8).
- 12 Groupe 3, s. 11-41 (Arch. nat. 80/0284/8). L'inventaire mentionne une machine mécanique Brunswiga et 11 machines électriques Madas, Millionnaire, Monroe, Metal, Marchant, Friden, plus trois « rouleaux calculateurs » (analogiques).
- 13 Gabrielle Mineur, épouse de l'astronome Henri Mineur, rapporte qu'elle effectuait jusque là les calculs nécessaires aux recherches de son mari, et qu'elle avait fini par faire créer ce service (« Entretien avec Gabrielle Mineur, secrétaire de Jean Perrin », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989-2). On y trouve en 1940 un « coordinatographe », imposante machine de 400 kgs dont la valeur est estimée à 500 000 F (inventaire du matériel scientifique évacué en juin 1940, Arch. nat. 80/0284/40).

scientifiques entreprend de passer en revue l'état de la recherche française et de concentrer les efforts sur les problèmes les plus importants, sur les actions urgentes dans les différentes disciplines¹⁴. Le calcul en fait partie. L'artillerie nécessite des calculs balistiques – rappelons que c'est cette application qui suscitera, quatre ans plus tard, la construction de l'ENIAC pour l'US Army Ordnance Department. Les Armées ont besoin d'études d'aérodynamique aux grandes vitesses, pour les avions et les projectiles, de calculs des vibrations critiques d'ailes d'avions (*flutter*), de statistiques pour contrôler la qualité des munitions, etc. Il faut des calculs pour connaître les phénomènes de diffraction optique (projecteurs), pour l'analyse des enregistrements des vibrations sonores, pour la recherche en électronique¹⁵. Dans le cadre de la mobilisation scientifique, l'Armée suscite la création de deux nouveaux services de calcul à l'IHP :

66

- Un laboratoire de « Balistique » dirigé par Henri Lebesgue, auquel succède bientôt son adjoint Georges Valiron, assisté d'un jeune boursier, Pierre Lelong. La Marine y est représentée par un co-directeur, l'ingénieur général de l'artillerie navale René Garnier, agrégé de maths.
- Un laboratoire de « Calcul mécanique » dirigé par Louis Couffignal, comprenant lui aussi un service de calcul (4 personnes au début de 1940), et orienté vers les recherches sur de nouvelles machines à calculer¹⁶. On en attend qu'il « augmente considérablement le rendement des laboratoires déjà existant, lesquels groupent une quarantaine de mathématiciens et calculatrices »¹⁷. Il dispose en 1940 d'un intégraphe dont la valeur est estimée à 50 000 F¹⁸.

14 Arch. nat. 80/0284/30 et service historique de l'Armée de terre 2 N 136/1. Cet état des lieux de la recherche est effectué en exécution d'un décret-loi du 12 mars 1938. L'épais dossier qui en résulte préfigure les rapports de conjoncture et les schémas directeurs que publiera le CNRS des décennies plus tard. Une note n° 12251 S1/12 du 1^{er} décembre 1938 énumère une douzaine de thèmes, dont « l'application possible de la technique des compteurs d'électrons pour déceler de faibles quantités de lumière » (collaboration déjà entreprise avec Leprince-Ringuet).

15 Service historique de l'Armée de terre 2 N 140/4.

16 Arch. nat. 80/0284/5, 80/0284/32 et 80/0284/71. Voir aussi *Revue scientifique*, 1938-1948.

17 CNRS PV CA 21 mai 1940, note sur les travaux effectués au CNRS pour la Défense nationale.

18 Inventaire du matériel scientifique évacué en juin 1940 (Arch. nat. 80/0284/40).

Le terme *mécanique* a plusieurs significations qu'il importe de distinguer ici afin d'éviter les contresens. La première recouvre les techniques fondées sur la transmission de l'énergie par des objets matériels (engrenages, arbres à cames, etc.), comme on en trouve dans les anciennes machines à calculer et, encore aujourd'hui, dans les périphériques. Deuxièmement, l'adjectif *mécanique* peut qualifier tout ce qui concerne les *machines*, quelle que soit leur technologie : quand un auteur du milieu du *xx^e* siècle parle de *Calcul mécanique*, il peut avoir à l'esprit aussi bien un ordinateur électronique qu'une machine à manivelle. Troisièmement, la « Mécanique » est un ensemble de disciplines scientifiques, rattachées depuis le *xvii^e* siècle aux mathématiques : science du mouvement des corps (balistique), mécanique des fluides, mécanique rationnelle, mécanique quantique, etc. Ces domaines, précisément parce qu'ils décrivent les phénomènes en termes mathématiques, ont développé des besoins croissants de calcul et ont poussé de manière décisive à la construction des premiers grands calculateurs. La « Mécanique » constitue traditionnellement une branche des mathématiques appliquées, à côté de l'analyse numérique, des statistiques et des probabilités.

L'Armée, comme le CNRSA responsable de la mobilisation scientifique (200 laboratoires, 1000 chercheurs), financent ces efforts. Borel, qui voit grand, demande au directeur du CNRS de prévoir 1 MF, dont l'essentiel viendra sans doute du ministère de l'Armement « pour lequel sont faits en grande partie nos recherches et nos calculs¹⁹ ». La faculté des sciences prévoit pour 1940 de verser à l'IHP 550 500 F (personnel 383 000 F, matériel 167 500 F), subvention très supérieure à ce qu'elle donne aux laboratoires de physique de l'université de Paris ; s'y ajoutent les crédits d'origine militaire. L'IHP emploie 45 personnes fin 1939, 64 en juin 1940 : « dans des locaux devenus presque étroits, se presse un personnel nouveau ; on y voit souvent des uniformes et on y parle presque autant de canons que d'électrons. Transformation assez surprenante sans doute, mais ce sont là les tâches nécessaires de l'heure présente »²⁰.

19 Borel à Maurain, 10 janvier 1940 : prévisions de dépenses de la S11 (IHP) pour 1940 (Arch. nat. AJ/16/5823). Le ministère de la Défense nationale verse 16, 6 MF en 1939 à la CNRS, et inscrit 54 MF pour le CNRS au budget 1940 (SHAT 6 N 328/1). Le CNRSA est le Centre national de la recherche scientifique appliquée, fondé en 1938 à partir d'un office de recherche créé pendant la Grande Guerre ; il fusionne avec la CNRS en 1939, devenant le CNRS.
SHAT 6 N 327/3 : Caisse nationale des recherches scientifiques (le dossier ne contient que cette information : le ministère de la Défense nationale budgète en 1939 à la CNRS une subvention de 16 630 000 F (loi de finances 31 décembre 1938, tableau A bis - comptes des investissements en capital, rubrique « Guerre » chapitre F ter). Répartition (lettre Laugier au Min. Défense nationale, 11 août 1939) :
Chercheurs (bourses, ITA, frais matériels) : 6,395 MF
Laboratoires de recherche spécialisés : 1 MF
Laboratoires des université et grands établissements scientifiques : 7,9 MF
Voyages et missions : 0,9 MF
Publications scientifiques : 0,435 MF

20 L. de Broglie, *Jubilé scientifique d'Émile Borel*, Paris, Gautier-Villars, 1940, p. 16-23.

Travaux de calcul effectués par l'IHP en septembre-octobre 1939

G₃-S₁₁-L₂ (IHP - laboratoire de Broglie) :

Calcul sur le pot Michelin (optique : projecteur de DCA), pour la DEFA (SCREFA)

Calcul des vibrations d'ailes d'avions, (Centre) Rocard-ministère de l'Air

Calcul numériques d'intégrales donnant le rayonnement d'une antenne circulaire pour diverses longueurs d'onde, (Centre) Rocard-ministère de l'Air

Calcul sur la visibilité rétinienne, Lopicque

G₃-S₁₁-L₃ (IHP - laboratoire de statistiques, Fréchet) :

Étude des analyseurs différentiels, (Centre) Rocard-ministère de l'Air (perfectionnement de procédés numériques des Calculs, étude en cours).

G₃-S₁₁-L₃ et L₄ (IHP - laboratoires de statistiques, Fréchet, et de balistique, Valiron & Garnier) :

Mouvements et vitesses des projectiles, de Broglie, IGA Garnier « et le Centre » (?)

Source : SHAT 6 N 328/1 et SHAT 2 N 140/1.

68

a. La demande de calcul et la machine de Fréchet

L'équipement de calcul de l'IHP, respectable pour l'époque, est pourtant loin de suffire : les demandes excèdent le triple des possibilités, signale Fréchet au directeur du CNRS, et le problème s'aggraverait à mesure que des « clients » plus nombreux connaîtraient l'institut²¹. S'amorce une course à la puissance de calcul, l'accroissement de l'offre amplifiant la demande. Pour y répondre, l'Institut Henri Poincaré continue d'augmenter son parc de « calculettes » du commerce, et surtout entreprend de réaliser une machine beaucoup plus performante.

Maurice Fréchet est professeur à la faculté des sciences de Paris depuis 1935, puis successeur de Borel dans la chaire de calcul des probabilités et à la direction de l'IHP en 1941. Fréchet commente ainsi sa *Notice sur les travaux scientifiques* :

Ce sont certainement les recherches « abstraites et générales » qui ont le plus contribué à me faire connaître des mathématiciens. Mais, de tout temps, je me suis aussi intéressé activement à diverses questions particulières qui se sont présentées à mon esprit en géométrie et en analyse. Et, dans la dernière quinzaine d'années, je me suis efforcé de contribuer à la vulgarisation des applications scientifiques et industrielles des mathématiques²².

²¹ Correspondance entre Raoul Dautry, ministre de l'Armement, Émile Borel et le recteur de l'université de Paris, 1939-1940. Dans l'hiver 1939-1940, l'IHP achète encore deux machines de bureau « Mercedes » (une Addo et une Euclid 38) pour une somme de 76 457 F (Archives du rectorat de Paris, AG5).

²² Dossier de Maurice Fréchet (Arch. nat. AJ/16/5738). Dans les années 1950, Fréchet aura toutes les compétences voulues pour s'intéresser à la recherche opérationnelle : il l'enseignera dans la Marine, traduira l'un des premiers manuels américains et fera profiter la SEMA naissante

En 1938, le laboratoire de statistiques de l'IHP (Fréchet) a obtenu de la CNRS un crédit de 100 000 F pour faire construire une calculatrice binaire électromécanique, constituée d'une machine comptable NCR Ellis et de traducteurs binaire-décimal. Un marché est passé en mai 1939 avec la firme l'Outillage RBV et y reçoit un commencement d'exécution²³. L'IHP suit ainsi une logique d'évolution que l'on observe à la même époque dans les laboratoires équivalents d'autres pays : en développant un service de calcul pour répondre à la demande de calcul scientifique, on suscite en retour l'accroissement de la demande, qui nécessite la construction d'une machine puissante, mécanique ou électrique ; ce processus cumulatif d'offre et de demande conduit à s'intéresser aux performances des composants électroniques, dans les années 1940-1950, et parfois à construire un ordinateur.

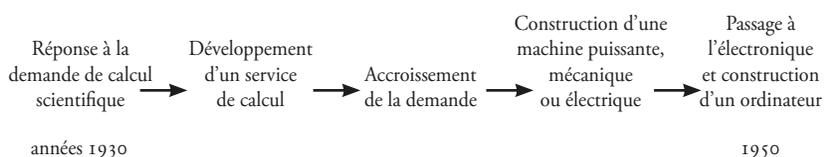


Figure 3. Processus calcul → ordinateur

Mais la défaite et l'exode de 1940 interrompent la réalisation du projet de l'Institut Henri Poincaré. Le matériel est transporté à Vendôme, puis à Blois. Le secrétaire général de l'IHP, Jean-Louis Destouches, s'installe avec deux calculatrices au château de l'Aulnière à Cellettes, où le rejoint Couffignal. Les bombardements rendent bientôt la situation intenable et, le 11 juin, Borel ordonne la dispersion de l'institut. Après l'armistice on tente de remettre en activité l'IHP en effectuant des calculs demandés par les services publics, « par exemple nous avons calculé ces derniers mois des répartitions d'énergie dans les réseaux électriques à la demande du ministère des TP [il s'agit de]

de ses connaissances. Sur sa biographie intellectuelle, voir M. Armatte, « Maurice Fréchet statisticien, enquêteur et agitateur public », *Revue d'histoire des mathématiques*, 2001, fascicule 1, p. 7-65.

23 Lettres Recteur de l'Académie de Paris au MEN (31 mai 1939) et Fréchet, directeur des laboratoires de calcul et de statistiques de l'IHP, au directeur du CNRS (24 août 1942) (Archives du rectorat de Paris/AG5 et Arch. nat. 80/0284/69). Un échange de lettres concernant ce crédit de 100 000 F, versé à l'IHP par le ministre de l'Armement, montre que Borel veut qu'il soit porté au compte de la faculté des sciences : « C'est sur ce crédit que nous payerons les calculateurs des laboratoires de mathématiques dépendant de l'IHP pour effectuer les travaux de balistique ». Le tableau de bord budgétaire de l'IHP établi le 19 décembre 1939 mentionne une subvention de 100 000 F du CNRS pour faire construire une machine à calculer (Archives du rectorat de Paris/AG5).

redonner vie à notre bureau de calcul » écrit Destouches à la fin de l'été²⁴. Mais les moyens de l'IHP ne représentent plus qu'une fraction de ce qu'ils étaient au début de 1940. Tout le personnel du laboratoire de balistique a été licencié en août.

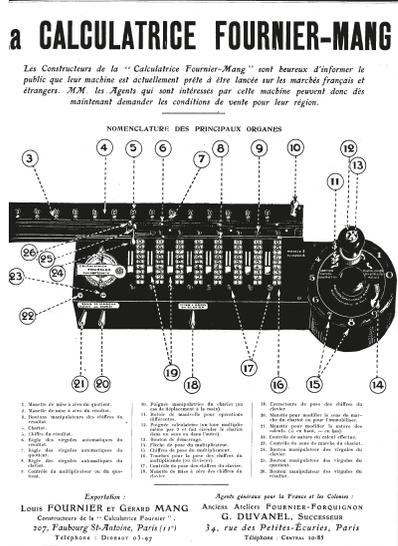


Figure 4. Machines comptables et calculatrices de bureau

Ces machines du commerce sont, avec les règles à calcul, les abaqués et les tables numériques, les instruments habituels des centres de calcul jusqu'aux années 1950. La plus répandue est la Brunswiga allemande.

b. La première machine de Couffignal

Une autre machine a été mise en chantier simultanément à l'IHP, celle de Louis Couffignal (1902-1966). Couffignal avait passé sa licence en 1921-1924 à la faculté des sciences de Grenoble, où il avait travaillé brièvement à l'Institut électrotechnique. Agrégé de mathématiques en 1927, il commence une thèse de logique symbolique, puis se tourne vers l'étude des machines sous l'influence du géomètre Maurice d'Ocagne²⁵.

24 Arch. nat. AJ/16/5823, Dossier Comptabilité. Les « TP » sont évidemment les Travaux Publics. C'est l'une des rares mentions que nous ayons trouvées de calculs sur machine pour l'électrotechnique, avec les études réalisées chez Alsthom à l'aide d'une cuve Malavard, et une allusion de Hahn aux études de champs autour des conducteurs haute tension. H. Parodi a fait des calculs d'électrotechnique pour la traction ferroviaire, A. Hocquenghem pour la radio, mais on ne trouve pas trace d'utilisation d'équipements de calcul importants.

25 L. Couffignal, *Sur l'analyse mécanique : application aux machines à calculer et aux calculs de la mécanique céleste*, Paris, thèses présentées à la faculté des sciences de Paris, Gauthier-Villars, 1938. Pour une analyse critique des conceptions de L. Couffignal, voir

En 1930, il communique à l'Académie des sciences une première note « Sur une nouvelle machine à calculer²⁶ ». C'est une brève description, commentée par M. d'Ocagne, d'une machine capable de calculer les quatre opérations fondamentales et de les enchaîner en séquences. Couffignal y envisage les possibilités de connexion à une machine à écrire ou à cartes perforées, mais ne donne pas de détail sur les mécanismes. Une idée similaire est déjà exploitée par un industriel ami de Couffignal, R. Boutet, qui commercialise l'ensemble électrocomptable « Synchro-Madas ». En 1932, Couffignal prononce au Collège de France (chaire du professeur Hadamard) une conférence sur *Les Machines à calculer, leur principe et leur évolution*. Le texte de cette conférence, publié chez Gauthier-Villars, décrit les machines à cartes perforées de l'époque et analyse la possibilité de les interconnecter pour « résoudre le problème de Babbage », c'est-à-dire le contrôle programmé des calculatrices. Couffignal reçoit pour ces travaux la médaille d'or de l'Office national des inventions. En 1936, il soutient sa thèse de doctorat sur *L'Analyse mécanique, application aux machines à calculer et à la mécanique céleste*.

Le cadre intellectuel dans lequel Couffignal inscrit ses réflexions peut être schématisé ainsi : l'étude systématique des machines à calculer, comparable à la taxonomie des êtres vivants établie par les naturalistes, conduit à formuler la loi de leur évolution. Celle-ci va dans le sens d'une différenciation des organes et d'une complexification croissante nécessitée par l'automatisation croissante de ces machines. Ces idées sont visiblement inspirées d'un ouvrage contemporain, *Réflexions sur la science des machines*, publié en 1932 par Jacques Lafitte²⁷. Lafitte classe les machines par ordre croissant d'intégration,

G. Ramunni, « Louis Couffignal (1902-1966) : un pionnier de l'informatique en France ? », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988. L'étude de Couffignal est comparable au rapport publié par V. Bush en 1936, *Instrumental Analysis*, qui recense les types de calculateurs numériques de l'époque et propose d'interconnecter des machines à cartes perforées avec un mécanisme de contrôle de façon à réaliser « *a close approximation to Babbage's large conception* » (cité par B. Randell, « Origins of Digital Computers : Supplementary Bibliography », dans J. Howlett, N. Metropolis & G.-C. Rota (dir.), *A History of Computing in the XXth century, A Collection of Essays*, New York, Academic Press, 1980, p. 631). La similitude se retrouve dans le nom donné à la nouvelle science : *Instrumental Analysis* chez Bush, « analyse mécanique » chez Couffignal. V. Bush dirigera ensuite au MIT un projet de calculateur arithmétique électronique, financé par NCR ; abandonné en 1942, ce projet fournit néanmoins au MIT une expérience qui se retrouvera dans l'élaboration de l'ordinateur Whirlwind.

²⁶ *Compte rendus de l'Académie des sciences, Paris*, 191, p. 924-926 (1930).

²⁷ J. Lafitte, *Réflexions sur la science des machines*, Paris, Cahiers de la Nouvelle Journée, 1932, n° 21, rééd. Vrin, 1972 ; et « Sur la science des machines », *Revue de synthèse*, 1933, vol. VI, n° 2, p. 143-158. Les réflexions de Lafitte sont particulièrement intéressantes en ce que, à la recherche d'une nouvelle synthèse pour retrouver l'unité fondamentale du savoir, elle font de lui un proto-cybernéticien (d'où l'importance que lui donnera G.-Th. Guilbaud dans son « Que-sais-je? » sur *La Cybernétique*, Paris, PUF, 1954, p. 11-12). Il y a en même temps, dans sa passion classificatoire et évolutionniste, une attraction merveilleusement fouriériste.

plaçant au sommet les « machines réflexes » (servo-mécanismes, automatismes dirions-nous aujourd'hui). Son analogie entre la technique et le vivant (« règne animal ») aboutit à considérer qu'existe un « règne des machines », au sens d'un univers autonome réglé par ses propres « lois » d'évolution. Celles-ci fondent une science nouvelle : la *mécanologie*. Si l'on va au bout de cette idée, l'innovateur n'invente pas vraiment une solution nouvelle à un problème : il « découvre » seulement une forme technique virtuellement préexistante, « la bonne solution » (et la seule) au dit problème. Formulation extrême du technicisme, de la philosophie spontanée d'ingénieur, que Lafitte partage avec des auteurs allemands comme Reuleaux et Dessauer²⁸.

72

La thèse de Couffignal contient la description d'un calculateur électro-mécanique binaire contrôlé par programme. Couffignal publie simultanément une note sur « L'emploi de la numération binaire dans les machines à calculer et les instruments nomomécaniques »²⁹, où il démontre l'utilité de la notation binaire dans ces machines et étudie la conception de calculateurs électriques, en proposant des algorithmes originaux de division et de racine carrée. Son article de 1938 « Sur un problème d'analyse mécanique abstraite »³⁰ concerne le traitement mécanique ou électrique d'expressions logiques.

D'autres spécialistes dans le monde parviennent à la même conclusion à la même époque : la base 2 offre une solution à divers problèmes fondamentaux du calcul mécanique, notamment l'économie de composants. Au Cambridge Cavendish Laboratory, un pionnier du radar, Wynn-Williams, a construit un petit « compteur binaire » électronique en 1932. En 1936, l'excentrique William Philips présente un multiplieur binaire réalisé avec des cellules photo-électriques (aujourd'hui au Science Museum de Londres), et publie un article en faveur de l'utilisation du calcul binaire ou de l'octal. Plusieurs autres calculateurs binaires sont entrepris : l'un aux Bell Labs par George Stibitz en 1937, un autre par Atanasoff et Berry en 1937-1942 à Iowa State University, un autre encore en Allemagne par Konrad Zuse en 1938. Un siècle après les travaux d'algèbre pure à finalité théologique de Georges Boole, la redécouverte de la logique booléenne, par Shannon et d'autres mathématiciens intéressés aux problèmes de télécommunications, montre que l'idée est dans l'air du temps. Son application aux calculatrices est un cas typique d'invention simultanée.

Ce profil de mathématicien résolument tourné vers les applications attire bientôt l'attention de diverses institutions civiles et militaires. De 1930 à 1937,

28 F. Reuleaux, *Cinématique, principes d'une théorie générale des machines*, Paris, trad. française chez Savy, 1877 ; F. Dessauer, *Philosophie der Technik*, Bonn, s.n., 1932.

29 *Comptes rendus Académie des sciences, Paris*, 202, 1936, p. 1970-1972. La monomécanique décrit les appareils analogiques tels que planimètres, intégraphes ou analyseurs harmoniques.

30 *Comptes rendus Académie des sciences, Paris*, 206, 1938, p. 1336-1338.

Couffignal dépose six brevets sur les machines à calculer, dont un système de conduite de tir utilisant le calcul binaire, breveté au nom de l'Outillage RBV³¹. Nommé professeur d'analyse et de mécanique à l'École des ingénieurs mécaniciens navals de Brest, Couffignal est chargé en 1936 par le ministère des Armées d'étudier un dispositif de visée pour bombardier lourd. Il s'intéresse aussi aux aspects « gestion » de la mécanographie : choisi par l'Intendance maritime comme conseiller technique pour la réorganisation mécanographique de ses services en 1934-1937, Couffignal présidera, de 1942 à 1945, la commission de calcul mécanique du Comité national de l'organisation française. C'est ainsi qu'on le retrouve dans les cercles de l'organisation scientifique du travail³².

Couffignal fonde sa carrière sur ce profil de spécialiste des machines à calculer. Ratant de peu un poste de professeur au CNAM, qui lui préfère André Sainte-Lagüe en 1937³³, il entre au CNRSA (devenu le CNRS en septembre 1939) : après dix ans consacrés à l'enseignement et à la recherche, Couffignal donne à sa carrière une orientation plus administrative. Depuis mars 1935, à la demande du directeur de l'Artillerie, il est chargé de mission auprès du directeur du CNRSA pour l'organisation d'un bureau de calcul mécanique destiné à étudier les calculs de trajectoires. Dans le cadre de la mobilisation scientifique, le Haut comité de coordination des recherches scientifiques charge Couffignal d'enquêter sur les « applications des mathématiques »³⁴.

Son rapport, considérant que « le problème fondamental de l'applications des Mathématiques à la recherche scientifique et aux diverses techniques est celui de l'exécution matérielle des calculs », souligne les progrès accomplis dans les dernières décennies par les méthodes de calcul graphiques, nomographiques, mécaniques et électriques. En France le calcul analogique est illustré par la méthode Perès, « très féconde ». Dans le domaine du calcul arithmétique, les machines comptables conviennent aux calculs simples ; pour les calculs savants,

31 Brevet n° 815 489 (28 mars 1936), demandé également en Belgique, en Grande-Bretagne et aux USA.

32 L. Danty-Lafrance, J. Chevalier, L. Couffignal, A. Chauvin, G.-L. Blanchard, F. Maurice, *Le Calcul mécanique et la comptabilité*, Paris, Communications aux séances du CNOF tenues avec la Société des ingénieurs civils de France, CNOF, 1942.

33 Le débat dans les instances du CNAM a été très serré, témoignant du rayonnement qu'exerce Couffignal sur son auditoire et de sa capacité de persuasion. Il est classé premier à deux reprises, devant Sainte-Lagüe, en comité d'audition et au conseil de perfectionnement. Le conseil d'administration donne finalement la préférence à Sainte-Lagüe, mutilé de la Grande Guerre qui enseigne au CNAM depuis longtemps, avec talent. La candidature de Couffignal semble être soutenue par Émile Picard et par Georges-Albert Boutry (électronique). Interviennent en faveur de Sainte-Lagüe : Anatole de Monzie (ancien ministre, président du conseil d'administration), Émile Borel (qui a confié à Sainte-Lagüe la conception de la salle mathématique au Palais de la Découverte), Edmond Labbé (ancien directeur de l'enseignement technique) (Archives du CNAM, PV CA 28 octobre 1937).

34 Arch. nat. 80/0284/30.

« une machine puissante a été conçue [par Couffignal], dont un prototype est en construction à Paris sous le patronage du Conseil supérieur de la recherche scientifique³⁵ ». Dans le domaine du calcul nomomécanique, enfin, tous les appareils sont fabriqués à l'étranger, sauf les règles à calcul. Couffignal signale les grands services que rend l'analyseur harmonique conçu par Vannevar Bush au MIT de Cambridge, reproduit à Manchester et à Oslo : il calcule vingt fois plus vite qu'un être humain, mais seulement avec une précision inférieure à 0,01. Le rapport conclut en recommandant de développer les « mathématiques utilisables », tâche à confier au CNRS. Le rapport de synthèse place parmi les priorités la « science du calcul (méthodes et machines) » en sciences pures et « le développement du calcul mécanique (machines, méthodes, personnel) » dans les problèmes de science appliquée urgents, ainsi que « le développement de l'électronique »³⁶.

74

En septembre 1939, à la demande du chef du service des recherches de la Direction des Fabrications d'Armement, l'ingénieur général Desmazières³⁷, un bureau de calcul balistique pour l'artillerie est constitué, dans les locaux de l'Institut Henri Poincaré, par le CNRS qui vient de naître avec mission d'organiser la mobilisation scientifique. Il s'agit du même laboratoire « L6 » que dirige Couffignal. Couffignal a convaincu les militaires de doter ce centre de calcul « d'une machine puissante », construite selon ses plans³⁸. À cette fin, il passe lui aussi un contrat avec l'Outillage RBV. Il s'agit de réaliser une connexion entre une machine comptable Sanders-Octoplex et une calculatrice Monroe, permettant la transcription automatique d'un nombre de l'une sur le clavier de l'autre et l'enchaînement automatique des opérations commandé par une bande perforée³⁹. 80 000 F y sont affectés par le CNRS. Soutenu par l'Armée, Couffignal obtient pour son projet la priorité sur celui de l'Institut Henri Poincaré.

35 *Rapport annexe présenté par la direction du CNRSA sur l'application des Mathématiques à la recherche scientifique et technique* (M. Couffignal, chargé de mission) - HCCRS (Arch. nat. 80/0284/30).

36 *Projet de programme des problèmes intéressant l'économie nationale ou la Défense nationale et appelant un effort immédiat de recherche scientifique* - HCCRS (Arch. nat. 80/0284/30).

37 Desmazières, directeur du LCFA, est membre de trois sections du Conseil supérieur de la recherche scientifique appliquée (Mathématiques, Mécanique, Physique appliquée) et de neuf comités spécialisés (des machines-outils aux télécommunications). Après la guerre, il enseignera la balistique à l'École supérieure de l'Armement.

38 Il s'agit sans doute de la « machine à calculer les trajectoires » mentionnée en même temps qu'un « Traceur de route » pour avion parmi « 11 questions en cours dans les laboratoires de calcul » (SHAT 2 N 140/2).

39 F.-H. Raymond, qui construira en 1954 les premiers ordinateurs français, considère ce projet comme une impasse : « Les plans du projet de machine que L. Couffignal avait établi avant la guerre resteront dans les dossiers. Ayant eu l'occasion, en 1948, de consulter ces plans à la Radio-Industrie [...], je dois dire qu'il est heureux que le projet restât en cet état ; mais il ne permit pas d'allumer quelques étincelles qui eussent peut-être orienté mieux les choses.

La défaite bouleverse ces plans. Les quelques éléments achevés sont expédiés vers un lieu de repli, mais rattrapés en route par les Allemands et saisis comme prise de guerre. Chez RBV, le conseil d'administration, en majorité juif, est dissous, et une partie du matériel de l'entreprise confisquée par l'occupant⁴⁰. La firme ne se remet à fonctionner qu'au début de 1942.

Couffignal a été nommé entre temps secrétaire général de la Commission des inventions et brevets du CNRS, et continue à diriger son service de calcul, devenu « laboratoire de calcul mécanique du CNRS ». Il prend contact avec les nouveaux dirigeants de RBV. Les moyens étant désormais réduits, et les importations de machines américaines, impossibles, il suggère alors de fusionner les deux projets avortés de 1939 : pour une somme de 180 000 F, à partir de la calculatrice Sanders qui n'a pas été égarée, le constructeur réaliserait

de beaucoup la machine à calculer la plus puissante qui ait été construite jusqu'à présent. [...] La machine complète, travaillant sous ma direction au laboratoire de calcul mécanique du Centre, serait d'un rendement très efficace et pourrait décharger le bureau de calcul de l'Institut Henri Poincaré d'une partie de ses travaux⁴¹.

Couffignal considère peut-être qu'il est en position de force pour négocier, car Borel, ancien ministre du Cartel des Gauches, a été démissionné par Vichy, et même emprisonné un mois à Fresnes par les Allemands ; l'IHP est dirigé temporairement par Valiron, professeur à la Sorbonne, puis par Fréchet à partir de 1942.

Fréchet renâcle, mais accepte finalement de dessaisir l'IHP de son crédit de 100 000 F au profit du projet de Couffignal, à condition que le laboratoire de statistique de l'IHP dispose des deux tiers du temps de la machine et l'utilise comme il l'entend sous le contrôle d'un représentant de Fréchet⁴². La guerre empêche qu'aucune suite pratique soit donnée dans l'immédiat, mais le principe

À la même époque, de l'autre côté de l'Atlantique, les Bell Laboratories travaillaient » (F.-H. Raymond, « Informatique et Automatique », *Automatisme*, septembre 1970, p. 372).

⁴⁰ RBV, constructeur d'outillage de précision et de machines-outils, animé jusque-là par Armand Vorms, a été pris en main à la fin de 1941 par un commissaire-gérant collaborationniste ; les commandes allemandes favorisent RBV, dont l'effectif et la production doublent en 1941-1944 (500 salariés à la Libération) (R. De Rochebrune & J.-C. Hazera, *Les Patrons sous l'Occupation*, Paris, Odile Jacob, 1995, p. 649). RBV a créé une filiale Radio-Industrie, où l'ingénieur Henri de France développera plus tard le système de TV couleur Secam et qui sera absorbée par Thomson.

⁴¹ « Note sur les marchés de machines à calculer intervenus entre l'Institut Henri Poincaré & le CNRS d'une part, & la Sté l'Outillage RBV d'autre part », signée Couffignal, 31 juillet 1942 (Arch. nat. 80/0284/69). Le destinataire a noté en marge : « Quel est ce bureau de calcul du Centre distinct du bureau de l'IHP ? ».

⁴² Lettre de M. Fréchet, directeur des laboratoires de calcul et de statistique de l'IHP, au directeur du CNRS, 24 août 1942 (Arch. nat. 80/0284/69).

semble désormais acquis : la construction d'un grand calculateur revient au CNRS. L'Institut Henri Poincaré ne peut plus en entreprendre, à moins de trouver d'autres financements que ceux du CNRS (ce qui est difficile dans la France ruinée d'alors) et de risquer un conflit avec le Centre national de la recherche scientifique.

L'IHP continuera à se développer dans d'autres directions, sous la direction de Maurice Fréchet puis de Georges Darmois. Fréchet est un organisateur hors pair, qui réunit des colloques et attire beaucoup d'élèves français et étrangers à l'IHP. L'Institut Henri Poincaré joue un rôle actif dans l'ouverture des mathématiques vers l'économie, les sciences sociales prenant le chemin de son bureau de calcul. Après la guerre, il accueille des conférences de J. Mothe, professeur de statistiques industrielles à l'ENSAE. Le successeur de Fréchet, Darmois (mathématicien et chef d'entreprise !), organise des travaux collectifs, publie une revue de statistiques appliquées, crée un centre de formation des ingénieurs et cadres ainsi qu'une association facilitant le financement de ces activités par l'industrie ; les séminaires qu'il anime offrent aux statisticiens et aux industriels la possibilité de discuter librement hors des lieux de travail, donc de faire progresser les instruments statistiques.

76

En juin 1941 a été créé à l'IHP un Centre d'études de mathématiques en vue des applications (CEMA), financé par le CNRS⁴³. Ses missions consistent à publier des monographies de mathématiques et de physique théorique, constituer un centre de documentation, effectuer des recherches et former des spécialistes. Sans doute sert-il aussi de couverture à des activités clandestines pendant l'occupation. Le CEMA est divisé en groupes par sous-disciplines : probabilités, mécanique ondulatoire, applications physiques et industrielles, etc. Point important, il vise à « mettre en contact des physiciens et des mathématiciens en vue de résoudre des problèmes qui nécessitent la collaboration de plusieurs spécialistes. » De fait ses membres appartiennent à tous les grands centres scientifiques : université, CNET, CNAM... Sa production la plus visible est une série de publications collectives sur les méthodes de calcul et de résolution d'équations : c'est, après guerre, le premier noyau français d'analyse numérique⁴⁴. Le CEMA, et autour de lui l'IHP, constitue donc bien l'organisme français central de recherche en mathématiques appliquées, comparable de ce

43 L'IHP comporte, après la guerre : le CEMA, un centre de chimie théorique, un Centre d'études de logique symbolique et de philosophie des sciences. Le CEMA est alors rattaché directement au CNRS ; ses présidents seront F. Joliot, L. de Broglie et M. Parodi.

44 Le CEMA publie ainsi une série de brochures sur les méthodes de calcul (ainsi, M. Parodi, *Applications Physiques de la transformation de Laplace* en 1948), une autre de *Formulaires de Mathématiques à l'usage des Physiciens et des Ingénieurs* (équations aux dérivées partielles en 1956, etc.), sous la direction de M. Fréchet. Ce sont typiquement des livres lus par les ingénieurs, non par les mathématiciens.

point de vue à des centres étrangers comme le National Bureau of Standards où ont été construits quelques-uns des premiers ordinateurs.

Pourquoi cela n'a-t-il pas été le cas à l'IHP ? En fait, après la guerre, le CEMA fonctionne seulement comme une commission du CNRS et, dans le domaine qui nous intéresse, l'activité de l'IHP se limitera à deux objets :

- L'IHP maintient son laboratoire de calcul numérique. La *Revue scientifique* de janvier-mai 1946 contient une publicité pour ce service, qui facture 60 F ses heures de calcul et les propose aux entreprises aussi bien qu'à la recherche publique. À la fin des années cinquante, l'IHP s'agrandit, consacrant notamment 1,5 MaF à installer deux salles de mécanographie⁴⁵ et se dotant d'un calculateur électronique Bull Gamma 3 en 1957. Ces équipements seront aussitôt annexés par l'Institut Blaise Pascal du CNRS. C'est le dernier acte d'un processus de quinze ans au cours duquel le CNRS a pris à l'université de Paris le monopole de la gestion des « moyens lourds » de calcul. Il s'agit d'une répartition des rôles non conflictuelle, puisque le directeur de l'Institut Blaise Pascal est aussi doyen de la faculté des sciences, et dispose d'un bureau à l'IHP.
- Un groupe de calcul numérique se forme à l'IHP en 1947 à l'initiative d'Étienne de Lacroix de Lavalette, un amateur enthousiaste, et de Paul Belgodère, le bibliothécaire de l'IHP, sorte de Lucien Herr des mathématiques qui a modestement exercé une grande influence. Ce groupe organise des séminaires rassemblant différents spécialistes venus de tous les horizons, complétant les activités du CEMA. Il sera à l'origine de l'Association française de Calcul (1957), la société savante des informaticiens.

B. LA MÉCANIQUE DES FLUIDES ET LE CALCUL ANALOGIQUE

C'est la recherche universitaire en mécanique des fluides, soutenue par l'Armée et l'industrie, qui, la première en France, réalise des appareils à calculer entre les deux guerres. De nouvelles demandes suscitent en effet le développement de recherches en mathématiques appliquées, principalement pour l'hydrodynamique et l'aérodynamique. Cela, principalement à Nancy, à Paris puis dans d'autres villes de Province.

a. L'hydrodynamique

Au début des années 1920 Ernest Hahn, professeur de mécanique à l'Institut d'électrotechnique de Nancy, confectionne une « cuve rhéologique » pour résoudre des problèmes d'hydrotechnique concernant l'écoulement de l'eau et la formation de tourbillons derrière les turbines hydro-électriques. Il s'agit

45 Archives du rectorat de Paris/AG5, et archives de l'Institut Blaise Pascal.

d'une cuve pleine d'eau où sont disposées des électrodes ; le courant électrique y circule en fonction de lois similaires à celles qui s'appliquent dans d'autres domaines, comme l'hydrodynamique. On peut donc simuler des phénomènes d'écoulement, de façon moins coûteuse qu'en expérimentant sur maquettes⁴⁶. Les cuves rhéologiques peuvent « calculer » tous les types d'équations aux dérivées partielles, dont l'équation de Laplace est la plus simple. Leur principe est donc transposable à divers problèmes techniques ou scientifiques. « La méthode en soi n'a rien d'inédit, signale Hahn ; les électriciens par exemple l'ont employée pour étudier les champs autour des conducteurs à haute tension⁴⁷. »

L'université de Nancy est un grand établissement dont la III^e République s'est efforcée de faire une vitrine de la science française après la perte de Strasbourg en 1870. L'Institut d'électrotechnique, en particulier, est un lieu de recherche actif, où notamment Gutton et Pierret étudient vers 1927 les échos d'ondes très courtes (16 cm), que Gutton appliquera ensuite à la détection électromagnétique.

78

Le travail de Hahn et son laboratoire d'hydraulique sont soutenus par la Société Hydrotechnique de France⁴⁸, qui finance parallèlement des recherches à la faculté des sciences de Toulouse (chaire de C. Camichel) et dans le laboratoire qu'elle fonde en 1925 à Beauvert, près de Grenoble⁴⁹.

Ingénieur suisse diplômé du Polytechnikum de Zurich et ancien professeur à Lausanne, Hahn n'a pas statutairement le droit de diriger des thèses dans l'université française. Il ne forme donc à Nancy ni équipe, ni successeur. À la fin des années trente, son retour en Suisse entraîne la disparition de l'activité qu'il avait initiée en Lorraine. La crise générale réduit les ressources de l'Institut : tarissement des subventions de l'État et des entreprises, obligeant à mettre

46 E. Hahn, « Méthode expérimentale pour la résolution des équations du mouvement des fluides », *Revue générale d'électricité*, 26 mars 1927, p. 485-489 (communication présentée au Congrès de mécanique appliquée de Zurich en septembre 1926). Je tiens à remercier Françoise Birk pour les renseignements sur la carrière de Hahn à Nancy.

47 E. Hahn, « La méthode d'analogies rhéographiques et rhéométriques. Installations et recherches du laboratoire d'analogies électriques de l'Institut de mécanique des fluides », *Bulletin de la société française des électriciens*, Paris, août 1938, p. 715-747. Voir aussi G. Ramunni, « Simuler avant de construire. Les outils conceptuels employés par les ingénieurs électriciens dans l'entre-deux guerres », dans F. Cardot (dir.), *Des entreprises pour produire de l'électricité*, Paris, PUF, 1988, p. 33-44.

48 La Société Hydrotechnique de France fut fondée en 1912 par les grandes compagnies productrices d'électricité, désireuses de mettre en commun leurs moyens d'études (J.-F. Picard, A. Beltran, M. Bungener, *Histoire de l'EDF*, Paris, Dunod, 1985 ; et J.-F. Picard, *Recherche et industrie. Témoignages sur quarante ans d'études et de recherches à EDF*, Paris, Eyrolles, 1987). On trouve à la SHF, pendant la seconde guerre mondiale, des ingénieurs économistes issus de Polytechnique (P. Massé, P. Le Brun) et un mathématicien, E. Halphen ; après guerre, leurs calculs permettront d'optimiser la gestion des réserves hydrauliques.

49 L. Méguint, « Neyrcp et les machines hydrauliques », dans F. Cardot (dir.), *Des entreprises pour produire de l'électricité*, op. cit., p. 189-214.

pratiquement les laboratoires en sommeil ; effets conjugués d'un concours plus sévère et de l'arrivée des classes démographiquement creuses, qui font chuter le recrutement. La chaire de Hahn sera attribuée en 1944 à un spécialiste des engrenages, le futur recteur Capelle. Nancy deviendra une capitale des mathématiques pures et le calcul ne s'y réintroduira pas sans mal.

b. L'aérodynamique : des souffleries au calcul analogique⁵⁰

C'est au contraire une « école » vigoureuse, doublée d'une véritable filière technologique, qui apparaît à la même époque dans d'autres villes sous l'impulsion de l'Aéronautique.

En 1923, le sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique, Laurent-Eynac, secondé par Albert Caquot, incite la faculté des sciences de Paris à créer une chaire de mécanique des fluides. La raison première de cette intervention est que la mécanique des fluides était à peu-près inexistante dans l'enseignement supérieur, si l'on excepte les centres de Toulouse, spécialisé dans l'hydraulique fluviale, et de Grenoble, spécialisé dans l'étude des turbines hydrauliques. Les « chercheurs en matière d'aéronautique trouvent difficilement les théories faisant autorité qui leur sont nécessaires pour constituer la base de leurs recherches ou l'appui de leurs projets. [Il manque un] haut enseignement purement théorique des lois de résistance de l'air, [capable de] maintenir une unité de doctrine »⁵¹.

Par convention du 28 août 1924, la direction de l'Aéronautique s'engage à régler une subvention annuelle et met à la disposition des chercheurs ses moyens matériels (soufflerie, escadrille d'essai de Villacoublay). Le service technique de l'Aéronautique (STAé) verse 80 000 F pour que la chaire démarre à la rentrée 1924. Le premier titulaire de la chaire est Paul Painlevé, un « mathématicien-homme d'État » (il est plusieurs fois ministre et président du conseil) ; trop occupé, il laisse en 1927 la place à Henri Villat (ENS 1899). Deux maîtres de conférence assurent les « enseignement expérimentaux » et, pour renforcer encore cette formation, on invite des savants d'autres établissements à venir prononcer des conférences. La chaire de Paris amorce un mouvement qui va prendre une ampleur certaine dans la décennie suivante.

50 Le chapitre qui suit a été publié sous le titre « Un programme technologique national : la Mécanique des fluides », dans A. Grelon et M. Grossetti (dir.), *Programme Villes et institutions scientifiques, Rapport final*, Paris, CNRS PIR Villes, 1996.

51 Laurent-Eynac au recteur de l'université de Paris, 11 août 1923 et 30 novembre 1923 (AJ/16/5775). André Laurent-Eynac (1881-1970), sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique de 1923 à 1926, puis ministre de l'Air (il crée la fonction) de 1928 à 1930 où le remplace bientôt son ami Painlevé (E. Chadeau, *L'Industrie aéronautique en France (1900-1950). De Blériot à Dassault*, Paris, Fayard, 1987). Sur Painlevé et les origines de la Mécanique des fluides en France, voir Cl. Fontanon & R. Frank (dir.), *Paul Painlevé (1863-1933). Un savant en politique*, Rennes, PUR, coll. « Carnot », 2005, et les travaux de Cl. Fontanon.

Après 1929, la politique aéronautique ne vise plus seulement à maintenir un potentiel in-dustriel, mais bien à rattraper un retard. Celui-ci se révèle brutalement dans trois circonstances : en 1927, Lindbergh traverse l'Atlantique et atterrit au Bourget sur un petit monomoteur – hérésie pour la doctrine française officielle – ; un an plus tard, le ministre Bokanowski périt dans l'accident d'un avion construit par une maison partenaire des services ministériels ; vers 1930 enfin, les ailes françaises se ridiculisent dans divers concours internationaux de vitesse (coupe Schneider), face aux Italiens et aux Anglais. Bientôt, le défi de la Luftwaffe renaissante passera au premier plan des inquiétudes nationales. « L'organisation de la recherche scientifique en cette matière exigeait en premier lieu de regarder bien au-delà des préoccupations immédiates des constructeurs d'alors (il est bon de rappeler qu'en 1930 les ingénieurs construisaient les hélices destinées aux avions français concourant pour la coupe Schneider, suivant les principes adoptés pour les fluides incompressibles) »⁵².

80

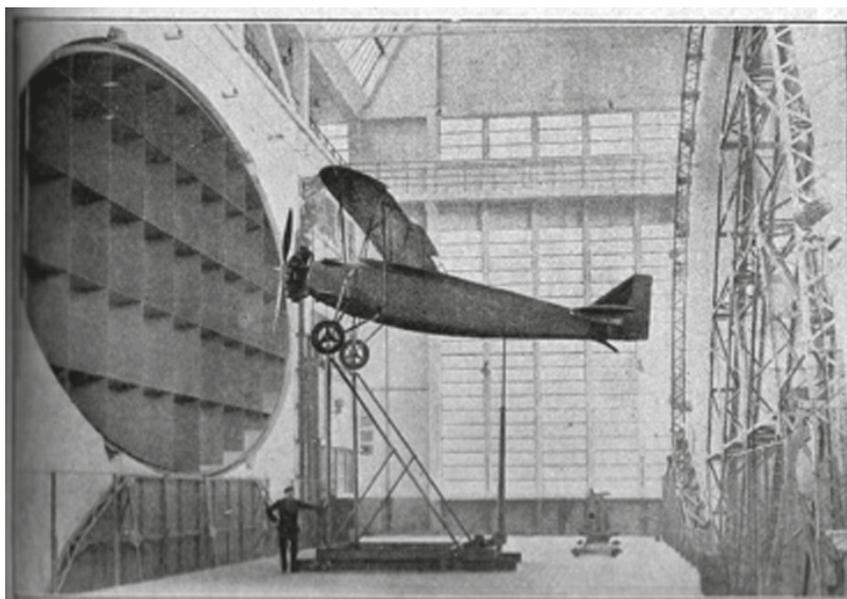
À partir de l'expérience parisienne, le ministère de l'Air et l'université décident en 1930 d'étendre le dispositif. Ils créent quatre instituts de mécanique des fluides (Paris, Lille, Marseille, Toulouse⁵³) et cinq enseignements annexes (Caen, Lyon, Nantes, Poitiers, Strasbourg).

Les enseignements annexes sont organisés sous forme de cours complémentaires (l'Air y paye un assistant à 18 000 F / an + 6 000 F de frais de recherche), pour une période probatoire qui arrive à expiration en 1935. Leur succès est inégal : Nantes et Strasbourg étant les plus actifs, le rapport Villey suggère de moduler la répartition des subventions en faveur de ces « gagnants » – suggestion qui détonne dans l'égalitarisme universitaire de rigueur à l'époque.

Les instituts de mécanique des fluides sont des organismes permanents créés par conventions entre l'Air et les facultés, avec un programme d'enseignement commun. La formule des instituts d'université a l'avantage de la souplesse : autonomes, ils sont habilités à recevoir des contributions non seulement de l'Éducation nationale et de l'Air, mais éventuellement d'autres administrations, et à encaisser des recettes commerciales correspondant à des services directement rendus à l'industrie. La formule est économique pour les différents partenaires, puisque l'Air a pu faire créer les organismes dont il avait besoin en assumant seulement une partie de la dépense nécessaire, inférieure à 50 % des frais de

52 Dossier Adrien Foch, Arch. nat. AJ/16/5738.

53 En 1939, le laboratoire toulousain de Camichel effectue des recherches d'hydrodynamique pour les coques d'hydravions Latécoère, et envisage un partenariat avec Dewoitine à qui une contribution est demandée pour construire une soufflerie (Arch. nat. 800284/14, Toulouse, Rapport Trombe, mobilisation 1939 ; et AJ/16/5775, Dossier Instituts 1924-1941, Chémise Chaire de mécanique des fluides et applications, 1923-1927).



LES GRANDES SOUFFLERIES AÉRODYNAMIQUES 267

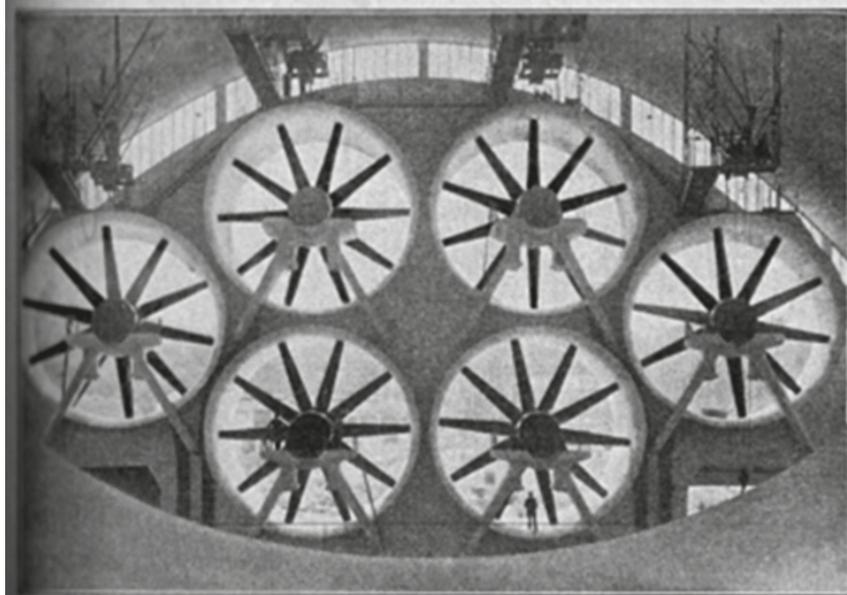


FIG. 6. — LA SOUFFLERIE DE CHALAIS-MEUDON EST ÉQUIPÉE DE SIX HÉLICES-VENTILATEURS DE 8 M 70 DE DIAMÈTRE, CHACUNE ACTIONNÉE PAR UN MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 1 000 CV

Figure 5. La grande soufflerie de Chalais-Meudon, près de Paris (1936)

L'expérimentation sur maquettes ou en grande réelle restera longtemps le principal moyen de tester des hypothèses et de collecter des données. À la fois complémentaire et concurrent de l'expérimentation, le calcul gagnera de plus en plus de terrain à mesure que les ordinateurs progresseront en puissance et permettront de simuler des processus plus complexes (photo *La Science et la Vie*, n° 226, avril 1936, p. 267).

fonctionnement en 1935. Sur le plan de l'efficacité scientifique et technique, les instituts permettent de profiter de la synergie entre les différentes branches de la mécanique.

La facilité apparente avec laquelle on parvient à développer en quelques années une école de mécanique des fluides vient de ce que ses bases existent traditionnellement dans la science française : « lieu par excellence de la physique continuiste, de la physique des équations différentielles et terre d'élection des mathématiciens »⁵⁴, la mécanique des fluides est une discipline où le milieu universitaire peut se mobiliser lorsqu'une demande sociale le réclame, financements à l'appui. Dès le début des années trente, les enseignants capables d'aborder ce domaine (par formation ou par reconversion, comme dans le cas de Joseph Pérès) sont relativement nombreux et peuvent attirer des dizaines d'étudiants. Ils restent cependant très en retard, sur le plan strictement scientifique, par rapport aux travaux allemands : l'école de mécanique des fluides constituée autour de Ludwig Prandtl est un pôle d'attraction international, sauf pour les Français qui en ont boudé les congrès après la Grande Guerre. L'Institut de technologie de Californie sait en profiter pour accueillir Von Kármán qui fera de CalTech un pôle de recherche de renommée mondiale dans cette discipline. Les travaux de Prandtl et de ses disciples ne seront vraiment pris en compte en France qu'après 1945.

82

La contribution annuelle de l'Air est fixée initialement à 70 000 F pour chaque institut provincial (210 000 F au total). C'est appréciable dans le contexte de l'époque, mais encore très inférieur à l'afflux financier dont bénéficie l'Institut de mécanique des fluides de Paris, qui nous intéresse au premier chef. Ce grand ensemble – l'un des rares laboratoires parisiens dont l'effectif dépasse la quinzaine – abrite dès 1932 19 personnes effectuant des recherches, dont 12 boursiers du ministère de l'Air et 2 autres étudiants⁵⁵. Il comprend trois chaires : une chaire de mécanique théorique des fluides financée par le STAé (J. Villat), une chaire de mécanique physique (H. Beghin⁵⁶), une chaire de mécanique des fluides expérimentale (A. Foch, un ancien de l'Institut électrotechnique de Toulouse, qui a proposé dès 1931 de construire une soufflerie supersonique) ; cette dernière chaire est subventionnée par Basil Zaharoff, le « marchand de canons » qui a fondé les « chaires d'aviation » des universités de Londres et de

54 D. Pestre, *Physique et physiciens en France*, op. cit., p. 86.

55 Arch. nat. AJ/16/5776. Cette description est fondée sur un rapport officiel qui présente sans doute une version très optimiste, voire « gonflée », de l'effectif de l'institut.

56 H. Beghin a consacré sa thèse (1922) à l'étude théorique des compas Anschütz et Sperry (jury : Kœnigs, Borel, Cartan) ; il introduit dans son enseignement des notions de « théorie des liaisons et des asservissements » (F.-H. Raymond, « Un siècle d'automatique en France », dans 3^e colloque sur l'histoire de l'informatique, op. cit.).

Göttingen⁵⁷. S'y ajoutent trois maîtrises de conférences et une collaboration permanente d'un savant russe de notoriété mondiale réfugié en France, Riabouchinsky, payé par le ministère de l'Air. Deux professeurs sans chaire, Toussaint et Villey, s'y trouvent en 1938 (tous deux enseignant par ailleurs au CNAM et y font des recherches au laboratoire d'aérotechnique).

L'institut englobe toutes les disciplines liées à la mécanique : mathématiques et physique, approches théorique et expérimentale, étude des moteurs. Grâce au soutien de l'Aéronautique, sa croissance ne souffre pas de la crise et de la déflation. Le projet de budget 1937 prévoit une subvention de 400 000 F du STAé, la moitié du budget total (803 066 F) ; la taxe d'apprentissage, providence des autres laboratoires, est ici marginale (28 000 F). Ces crédits augmentent encore avec la mobilisation scientifique⁵⁸. La science lourde entre ainsi dans la recherche mathématique par la voie de l'Air.

Tableau 2. Institut de mécanique des fluides de Paris : projet de budget 1937

Contribution du MEN		FF
Mécanique des fluides	Personnel	9 542
	Matériel	18 245
Mécanique physique	Personnel	148 414
	Matériel	30 810
STAé		400 000
Université de Paris		
Mécanique des fluides		14 459
Mécanique physique		68 060
Taxe d'apprentissage		28 000
Total		803 066

c. Pérès, Malavard et le laboratoire de calcul analogique

En 1930, le patron de l'Institut de Marseille, Joseph Pérès (1877-1962), charge son assistant Lucien Malavard d'expérimenter une méthode de calcul fondée sur les analogies entre la circulation du courant électrique et certains phénomènes connus en mécanique des fluides. L'idée n'est pas entièrement

57 La « chaire d'aviation » de la Sorbonne fut fondée par Basil Zaharoff en 1909 pour Lucien Marchis. Un an plus tard, l'Institut Aérotechnique financé par Henry Deutsch de la Meurthe fut donné par celui-ci à la faculté des sciences ; il passera plus tard sous la tutelle du Conservatoire national des Arts et Métiers.

58 En 1940, la faculté prévoit des subventions de 45 000 F (matériel seulement) pour l'Institut de mécanique des fluides dirigé par Villat, et de 206 000 F pour le laboratoire de mécanique physique dirigé par Beghin. Pour indiquer un ordre de grandeur, le budget total de la recherche publique civile française en 1934 se monte à 40 MF, dont 2,1 pour l'Observatoire de Paris et autant pour l'ONRSI (chiffre tirés d'une note de Cavalier au MEN, cités par J.-F. Picard, *La République des savants. La recherche française et le CNRS*, Paris, Flammarion, 1990, p. 49, mais qui est à employer avec précaution car il inclut les ressources de la taxe Borel, 7,3 MF, avec les dépenses).

nouvelle⁵⁹, mais Pérès et Malavard vont l'exploiter systématiquement et avec grand succès. Le premier « bassin électrique » est bricolé avec les moyens du bord (50 F mensuels pour l'achat de matériel). C'est une cuve en bois, enduite de paraffine pour l'étanchéité, et parsemée d'électrodes ; un autre bassin étroit et allongé sert de potentiomètre. On plonge dans la cuve l'objet (ou sa maquette) dont les propriétés aérodynamiques doivent être analysées. L'écoulement du courant électrique et l'écoulement d'un fluide sont régis par la même équation, l'équation de Laplace. C'est ainsi que l'on peut simuler la circulation d'un fluide autour de l'objet étudié – en l'occurrence, celle de l'air autour d'une aile d'avion – afin de l'optimiser. Des dispositifs permettent d'obtenir, à la sortie du système, des tracés graphiques ou des chiffres. Une fois le calculateur construit, on obtient ainsi, en quelques heures d'adaptation, des résultats qu'un ingénieur mettrait trois jours à élaborer approximativement avec une règle à calcul.

84 Cédons la plume au secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Paul Germain,

pour admirer que Pérès, avec une lucidité étonnante, avait réalisé dès le début des années trente, d'une part que la mécanique classique est essentiellement la science fondamentale pour l'ingénieur, et que c'est à ce titre qu'elle garde au xx^e siècle à la fois une fécondité proprement scientifique et un avenir de tout premier plan, et d'autre part que l'impact de la science moderne sur les techniques dépend crucialement des capacités du calcul scientifique. C'est donc dix ans au moins avant l'apparition des ordinateurs qu'il apporte une méthode de calcul élégante, précise, rapide, qui pose sous un jour tout nouveau la question de l'application des résultats théoriques aux problèmes concrets. C'est donc plus de quarante ans avant que le Centre national de la recherche scientifique ne reconnaisse et ne mette en œuvre le concept de science pour l'ingénieur que Pérès en fait sa ligne de conduite et celle de ses élèves. La collaboration entre l'université et l'industrie qui paraît une préoccupation récente de la science française, qui semble encore aujourd'hui difficile à réaliser, Pérès, dans les années

59 L. Malavard, « Le calcul analogique au CNRS », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988. L'idée de l'analogie électrique remonte au physicien allemand Gustav Kirchhoff qui, en 1845, utilisa un papier conducteur pour étudier la distribution du potentiel dans un champ électrique ; en 1876, le physicien britannique William Grylls Adams mit au point son *electrolytic tank*, ancêtre direct des cuves rhéoélectriques. D'après Malavard, J. Pérès avait conçu le principe de la cuve rhéologique en s'inspirant d'une idée du mathématicien italien Vito Volterra, sous la direction duquel il avait préparé sa thèse à Rome avant la guerre de 1914 ; Volterra avait en vue des problèmes de thermique. Les cuves rhéoélectriques Pérès-Malavard sont un bon exemple d'application d'un concept inventé dans d'autres pays européens – démenti de plus au cliché selon lequel « les Français » seraient plus doués pour l'invention que pour la réalisation.

trente, va la vivre et la promouvoir sans bruit, sans prétention, sans esprit de système, mais avec une admirable efficacité⁶⁰.

En octobre 1932, Pérès est élu en Sorbonne. Malavard le suit et s'inscrit à l'École nationale supérieure d'aéronautique pour parfaire ses connaissances d'aérodynamique par une formation plus pratique. Leur équipe va désormais bénéficier des moyens concentrés à la Cité de l'Air qui rassemble, entre la place Balard et Issy-les-Moulineaux, le ministère de l'Air, Supaéro, une soufflerie, diverses installations de l'Institut de mécanique des fluides – l'œuvre d'Albert Caquot, grand rationalisateur de structures et couleur de béton⁶¹. Bientôt à l'étroit dans le local qui lui a été attribué, où ses calculateurs d'ailerons attirent des clients de plus en plus nombreux, Pérès obtient l'installation du laboratoire d'analogies électriques à Issy dans trois grandes salles mises à disposition par le STAé en octobre 1938. Le laboratoire est un centre de travail collectif, fréquenté par une quinzaine de chercheurs, ingénieurs, boursiers, thésards. Les utilisateurs sont d'abord les constructeurs d'avions français et britanniques, puis d'autres industries, notamment l'électrotechnique : des travaux sont effectués pour la Société française des électriciens, Alsthom, LMT (optique électronique) qui se dote d'un bassin électrique copié sur celui de Malavard.

Les recherches de Malavard sont maintenant connues des principaux constructeurs qui se rendent compte des services que peuvent leur rendre les méthodes de calcul électrique que Malavard a mises au point. Le "calculateur d'ailerons" de ce dernier donne, sur la répartition des efforts dans une aile, des

60 P. Germain, *Joseph Pérès et le renouveau de la mécanique en France*, Paris, Institut de France, 1977.

61 Albert Caquot, chef du service technique de l'Aviation en 1918, revient aux affaires en 1928 comme directeur général technique du ministère de l'Air, où il reste jusqu'en 1934. Malgré l'instabilité ministérielle de l'époque, il existe donc, grâce à des hommes d'État passionnés d'aviation – Laurent-Eynac, Painlevé, Caquot – une certaine continuité de la politique aéronautique. Caquot fait édifier boulevard Victor les bâtiments néoclassiques de la Cité de l'Air, destinée à recevoir le Ministère, une caserne (« Balard »), des laboratoires, l'École supérieure d'aéronautique nationalisée par ses soins en 1928 et promue École d'application de polytechnique. Caquot incite parallèlement les industriels à bâtir de grandes usines en province. Il obtient dès 1929 un doublement du budget technique et industriel de l'Aéronautique (988 MF en 1930) et, mieux encore, une certaine régularité dans la reconduction ultérieure des crédits. Il retourne ensuite à son autre passion : l'organisation du travail industriel (il possède un bureau d'ingénieur-conseil et présidera la CEGOS). Après Munich, le gouvernement demande à Caquot de reprendre en main les nationalisées. Il entreprend de les rationaliser et d'y relancer la recherche. Il démissionne en mars 1940, ne pouvant s'accorder avec le général Vuillemin, nouveau chef d'état-major de l'Armée de l'Air – prestigieux pilote de guerre et de raid qui, en devenant chef d'état-major, atteint son niveau d'incompétence (il aurait annoncé en prenant ses fonctions : « L'ère des recherches est terminée, l'ère des réalisations commence ! »). Caquot présidera l'ONERA de 1949 à 1952, siégeant en même temps à la commission de mécanique générale et de mathématiques appliquées du CNRS.

renseignements précis qui permettent effectivement un allègement constructif donnant un gain très appréciable à tous points de vue. Quand un constructeur constate, comme l'ont fait hier les ingénieurs de Latécoère, que les résultats du "calculateur d'ailes" recourent très précisément les essais de maquettes plus longs et coûteux [en soufflerie], tout en donnant des résultats plus complets, les demandes d'essais affluent et le laboratoire devient une manière de bureau d'études où les constructeurs apportent les cas embarrassants⁶².

86

Un contrat est conclu le 6 juillet 1939 entre le laboratoire d'analogies électriques du Pr Pérès et le CNRSA qui coordonne les recherches universitaires en vue de la Défense nationale⁶³. En juin 1940, l'équipe Pérès-Malavard doit détruire les équipements du laboratoire de mécanique des fluides de Paris. En 1941, ses activités redémarrent plus ou moins clandestinement dans un sous-sol de l'ENS, attirant deux jeunes normaliens. Raymond Siestrunk (ENS 1939), spécialiste de la théorie tourbillonnaire de l'hélice, reprend le principe du calculateur d'ailes pour calculer les performances aérodynamiques des hélices ; il fera l'essentiel de sa carrière au laboratoire. Paul Germain (ENS 1939) utilise les analogies électriques dans le cadre de ses travaux sur la théorie des écoulements supersoniques ; il deviendra plus tard secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Notons que ce laboratoire, où la recherche fondamentale fait bon ménage avec les applications industrielles et militaires, recrute des normaliens mathématiciens, apparemment sans heurt déontologique ou institutionnel.

Parallèlement, Malavard est chargé par le STAé d'un projet : créer un laboratoire d'analogies électriques dans les locaux de la soufflerie de Cannes. L'invasion de la zone libre en 1942 oblige à réduire le projet à un aménagement clandestin dans une autre pièce de l'ENS, financé par la Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Ouest (SNCASO)⁶⁴. Après la guerre, les deux laboratoires – le premier à vocation plus théorique, le second tourné vers l'exploitation – retourneront à la Cité de l'Air, puis seront transférés en 1950 dans les locaux de l'ONERA sous la direction de Malavard.

62 Lettre-rapport Pérès à Villat, 3 février 1937 (Arch. nat. AJ/16/5775, chemise Institut de mécanique des fluides 1929-1941).

63 Arch. nat. 80/284, liasses 52 et 53. À cette date, le laboratoire de mécanique des fluides est dirigé par le professeur Henri Bénard, adjoint de Villat.

64 Ces avatars ont été racontés après la guerre par H. Girerd, « L'effort français en aérodynamique de 1940 à 1945 », *Revue de l'Aviation-Espaces*, février 1946. Le terme *calcul analogique* n'apparaît qu'à cette époque, en France comme ailleurs, sans doute pour distinguer cet ensemble hétérogène de techniques face à l'émergence des grandes machines numériques.

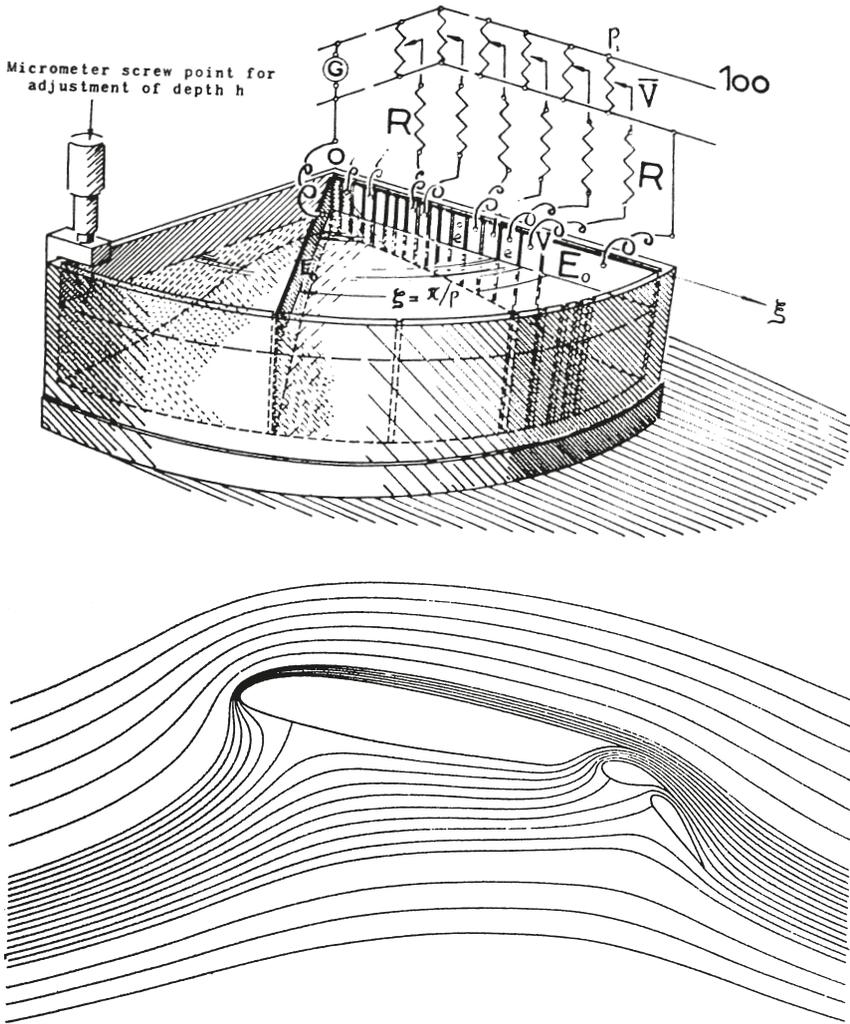


Figure 6. Cuve rhéoélectrique Pérès-Malavard (1940)

Les cuves rhéologiques peuvent « calculer » tous les types d'équations aux dérivées partielles, dont l'équation de Laplace est la plus simple. Le principe est donc transposable à divers problèmes techniques ou scientifiques. Mettons entre guillemets le terme *calculer* car, *stricto sensu*, l'appareil réalise une homothétie entre deux phénomènes, sans nulle manipulation de chiffres. Le calculateur d'ailes « donne une solution numérique commode de l'équation de Prandtl dont dépend la répartition des efforts »⁶⁵.

65 J. Pérès, *Rapport du 20 septembre 1939 sur le laboratoire d'analogies électriques de l'Institut de mécanique de Paris*, Comité de mécanique des fluides de l'IRSDN, Arch. nat. 80/0284/39.

En 1945 le laboratoire de calcul électronique analogique est intégré au CNRS. Il continue à réaliser de nombreux types de calculateurs spécialisés (calculs de profils d'ailes ou de turbines pour Dassault, la SNECMA, etc.), en liaison avec l'ONERA. Joseph Pérès devient directeur adjoint du CNRS, puis doyen de la faculté des sciences de Paris en 1950. Malavard est nommé chef de division à l'ONERA, élu professeur à la chaire d'Aviation de la Sorbonne. Tous deux siègent dans les hautes instances du CNRS et de l'Enseignement supérieur, et finiront académiciens⁶⁶. Dès 1948, leur rayonnement est attesté par le colloque international sur *Les Méthodes de calcul en mécanique des fluides* qu'ils organisent à l'Institut Henri Poincaré, sous l'égide du CNRS et avec le soutien de la fondation Rockefeller⁶⁷.

88

Ce laboratoire a tout pour lui : patrons prestigieux dominant une discipline qui a le vent en poupe, des « clients » dans l'Armée et la construction aéronautique, d'appréciables ressources financières et humaines. Comment expliquer qu'il ne construit pas d'ordinateurs, à l'époque où à l'étranger d'autres centres voués jusque-là au calcul analogique se « convertissent » au digital – le MIT, par exemple ? Trois explications peuvent être avancées :

- 1) Pour Pérès et Malavard, mécaniciens des fluides, les instruments de modélisation qu'ils ont fait progresser appartiennent à une culture scientifique de l'expérimentation, plus qu'à celle du calcul : le concept de la cuve rhéologique est nettement différent de ceux qui inspirent les analyseurs harmoniques ou différentiels. Le fait même que ces deux savants acquièrent des positions de pouvoir et des charges administratives réduit à la fois leur intérêt à se lancer dans une technologie radicalement nouvelle et le temps qu'ils pourraient y consacrer. Un nouvel éclairage apparaît si l'on considère ce groupe savant dans le contexte transatlantique de la communauté de mécaniciens des fluides, assemblée par Von Kármán à partir de l'Institut de technologie de Californie (CalTech), notamment dans le cadre de l'OTAN et de sa structure scientifique l'AGARD : l'intérêt pour les ordinateurs numériques y apparaît remarquablement tard, vers 1960 seulement, vraisemblablement parce que l'on peut faire du

66 L. Malavard (1910-1990) est nommé maître de recherches au CNRS en 1946, puis directeur de recherches. Il est élu professeur à la Sorbonne en 1952 et deviendra le premier directeur de la Direction des recherches et moyens d'essais du ministère des Armées, la DRME (1961-1965).

67 Ce colloque (n° 11 du CNRS) se réunit les 8 et 9 avril 1948 à l'Institut Henri Poincaré. Il est organisé conjointement par l'Institut Blaise Pascal et par le Centre d'études supérieures de Mécanique, tous deux dirigés par Pérès. L'aide de la Fondation Rockefeller, à cette époque de reconstruction, est considérable. Sur les 184.242 F que coûte le colloque, 119 000 F (\$ 398) sont donnés par la Fondation. Les dollars servent notamment à inviter une demi-douzaine de conférenciers étrangers (Arch. nat. 80/0284/146). Le laboratoire de calcul analogique reçoit par ailleurs des contrats de recherche des administrations américaines (entretien avec L. Malavard, 12 octobre 1987).

bon travail avec les instruments familiers à ces équipes, dans les domaines de la mécanique des fluides qui sont les leurs, et qui diffèrent sensiblement des applications à la détonique (ondes de choc) et aux explosions nucléaires⁶⁸. Les souffleries sont d'ailleurs utilisées elles-mêmes en partie comme des calculateurs analogiques⁶⁹, et il faudra plusieurs décennies pour que les ordinateurs, certes plus précis et plus souples, parviennent à les supplanter.

- 2) Les cuves rhéologiques, sans cesse perfectionnées et diversifiées, satisfont longtemps les besoins de la mécanique des fluides. Elles sont même utilisables dans d'autres domaines : le CNET, le CEA, l'EDF, le Bassin des Carènes, le laboratoire central de l'artillerie navale réalisent des « calculateurs Malavard » pour résoudre des problèmes variés. Vers 1960, le laboratoire de calcul analogique diversifie ses techniques et se divise en plusieurs sections⁷⁰. À côté des bassins rhéoélectriques initiaux, une équipe développe un calculateur à réseau de résistances, industrialisé sous le nom de Delta 600 par la firme Précision Mécanique Labinal⁷¹. La non-construction d'ordinateur dans ce centre ne peut donc être considérée en soi comme un échec, mais bien plutôt comme la rançon du succès des « calculateurs Malavard ». Ces machines spécialisées, « dédiées », permettent de résoudre les équations aux dérivées partielles, beaucoup mieux et à moindre frais qu'aucun calculateur électronique universel de première ou de deuxième génération : l'innovation incrémentale, conduite par des savants imaginatifs, assure un

- 68 Le plus grand exemplaire au monde de l'analyseur différentiel de V. Bush a été construit au Caltech, qui semble s'en contenter longtemps et développer plutôt une forte tradition expérimentale autour de ses souffleries. Malavard est en correspondance fréquente avec Von Kármán. En 1951, Von Kármán fonde le Groupe consultatif de l'OTAN pour la R&D aéronautique (AGARD). Joseph Pérès, Paul Germain et Lucien Malavard seront parmi les six délégués français à l'AGARD entre 1952 et 1966 (SHAA, E 7433, DTIA, et archives AGARD conservées au Caltech).
- 69 C'est ce qu'explique Von Neumann dans un article de 1946, cité par M. Farge, « L'approche numérique en physique », *Fundamenta Scientiæ*, 1986, vol. 7, n° 2, p. 167.
- 70 « L'intérêt croissant de ces recherches a fait du laboratoire un centre de formation aux méthodes analogiques ; [...] douze stagiaires français et étrangers ont effectué divers travaux d'application » (RA 1953-1954, p. 35-36). Le laboratoire envisage en 1960 de s'organiser en deux sections : section des analyseurs à réseaux selfs-capacités-résistances, et section des calculateurs analogiques électroniques (RA 1959-1960, p. 103).
- 71 Le Delta 600 est un analyseur différentiel à réseaux de résistances, conçu pour être connecté à des calculateurs digitaux afin de constituer des ensembles hybrides. Il résout les équations aux dérivées partielles par la méthode des différences finies, problème dont le traitement sur ordinateur digital exige les plus grosses machines. Permettant de simuler des systèmes matriciels d'ordre 1200, le Delta 600 résout les équations bi- ou tridimensionnelles de Laplace, de Poisson, de Lagrange, ainsi que les équations de diffusion en milieux isotropes ou anisotropes (J. Girerd & A. Riotte, « L'analyseur différentiel à réseaux Delta 600 », *L'Onde électrique*, décembre 1960, p. 995-1005). Labinal n'ayant pas conservé d'archives, nous ignorons le destin commercial du Delta 600, sans doute fort modeste.

avantage compétitif durable⁷². Lorsque les performances des machines numériques surpasseront nettement celles des dispositifs analogiques, dans les années 1960, le laboratoire aura l'embarras du choix parmi les ordinateurs du commerce, et ne développera en interne que des systèmes hybrides⁷³.

- 3) En 1946, la direction du CNRS a décidé de constituer un grand centre de mathématiques appliquées : l'Institut Blaise Pascal, qui associe le laboratoire Pères-Malavard et le laboratoire Couffignal. Or la division en deux parties de l'IBP réserve le calcul numérique à ce dernier.



Figure 7. Cuves rhéologiques Pères-Malavard à l'ONERA (1950)

Les besoins en modélisation des industries hydraulique, puis aéronautique, sont à l'origine d'une filière de « calcul » analogique : celle des cuves rhéologiques.

72 Aux Pays-Bas par exemple, les équations aux dérivées partielles étaient résolues laborieusement sur des machines numériques de bureau (G. Alberts, *Jaren van berekening. Toepassingsgerichte initiatieven in de Nederlandse wiskundebeoefening, 1945-1960*, Amsterdam University Press, 1998). La longévité des « calculateurs Malavard » mériterait une étude particulière, incluant une comparaison avec les *electrical tanks* utilisés à l'étranger. Par exemple, en Suède, des cuves électrolytiques sont employées vers 1950 chez SAAB (aérodynamique) et chez Ericsson-SER (calcul de trajectoires électroniques). Une communication sur « The Use of the Electric Tank » est présentée en 1953, au Palais de Chaillot, à la réunion du Wind Tunnel and Model Testing Panel de l'AGARD. Cette longévité s'explique notamment par le fait que les équations de Laplace ne pouvaient être traitées sur machine numérique sans de longues transformations mathématiques. Vers 1965, General Electric, désirent optimiser la forme de ses turbines de centrales électriques, consulte trois laboratoires européens : un laboratoire allemand, qui propose une solution fondée sur le calcul numérique ; un laboratoire italien, qui offre des procédés physiques et optiques d'expérimentation ; et le laboratoire de calcul analogique du CNRS, qui emporte l'appel d'offres (entretien avec Guy Renard). Les cuves rhéométriques sont encore présentées dans le manuel d'Ouziaux et Perrier, *Mécanique des fluides appliquée*, Paris, Dunod, 1989.

73 B. Caussade & G. Renard « Une technique hybride originale : un exemple de passage fructueux du calcul analogique au calcul digital », dans *Actes du 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit.

Les responsabilités de Couffignal au CNRS sous Vichy ne l'ont pas empêché de poursuivre son ascension après la Libération (le CNRS a été globalement épargné par l'épuration, et du reste Couffignal n'a pas d'engagement politique⁷⁴). Au début de 1945, une mission du CNRS en Allemagne se constitue auprès de la 1^{ère} Armée. Ses membres reçoivent des grades d'officiers, quelques véhicules, et partent saisir, dans les laboratoires allemands, du matériel et des informations. 800 tonnes d'équipement seront ainsi expédiées au CNRS, qui crée en 1947 à Courbevoie un « service du matériel allemand » dont profiteront largement universités et centres de recherche français⁷⁵. Couffignal en fait partie, représentant la direction de l'Enseignement technique. Promu commandant, muni d'une Jeep et d'un chauffeur-secrétaire-interprète, il récupère nombre de machines-outils et de machines comptables. Une fraction de ce matériel sert à équiper l'enseignement technique alsacien, dont l'École nationale supérieure des Arts et Industries de Strasbourg et un lycée technique de la même ville, qui sera rebaptisé « Lycée Louis-Couffignal » dans les années 1960.

Les « machines à statistiques » rapatriées sont dirigées vers le CNRS. Le Comité de mécanique et mathématiques appliquées du CNRS, réuni le 20 juillet 1945, entend Couffignal exposer que

la mission scientifique a récupéré en Allemagne un matériel de calcul important, comprenant notamment plusieurs équipements de machines à cartes perforées. Les perfectionnements apportés depuis quelques années aux calculatrices à cartes perforées permettent d'utiliser ces équipements pour des calculs scientifiques ; c'est donc un ensemble de recherches nouvelles qu'il s'agit d'organiser. [...] M. Pérès ajoute que des appareils de calcul divers [...] et notamment un analyseur différentiel à lampes qui paraît d'un grand intérêt, peuvent être fabriqués en Allemagne à des conditions très avantageuses⁷⁶.

74 Couffignal n'a pas d'étiquette politique, même si son insertion dans le CNRS de 1939 et ses fréquentations (Union rationaliste, P. de Latil, L. Lapicque, etc.) le situent plutôt à gauche.

75 M.-F. Ludmann-Obier, « La mission du CNRS en Allemagne (1945-1950) », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 3 ; et « Un aspect de la chasse aux cerveaux : les transferts de techniciens en France (1945-1949) », *Relations internationales*, 1986, n° 46.

76 À notre connaissance, un tel analyseur différentiel à lampes n'a jamais été installé au CNRS. Peut-être s'agit-il de l'intégrateur de l'université technique de Darmstadt, au sujet duquel Couffignal a interrogé Wilfried de Beauclair au camp du Struhof en 1945 ? La « sous-commission des analyseurs harmoniques et synthétiseurs » du CNRS évoque encore en 1947 l'emploi éventuel d'une « machine à intégration des équations différentielles actuellement en Allemagne et que le Centre pourrait acquérir (5 ou 6 millions) » (Arch. nat. 80/0284/209, CEMA 1944-1954). Le rapport d'activité 1953-1954 signale la commande d'un intégrateur électronique destiné à l'IBP, mais il s'agit vraisemblablement alors d'un calculeur de fabrication française (RA 1953-1954, p. 6).

Le Comité propose que :

- Une partie du matériel ramené d'Allemagne soit affectée à l'organisation d'un laboratoire de calcul mécanique rattaché directement au CNRS (ce laboratoire sera re-créé pour Couffignal le 10 novembre 1945. Le terme *calcul mécanique* signifie ici *effectué par machine* et ne se réfère pas à une technique précise).
- Une autre partie soit affectée au bureau de calcul qui sera créé, « en liaison avec le CNRS et la Société nationale de recherche aéronautique » (futur ONERA, à Châtillon).
- Le reste soit mis en réserve. Les petites machines de bureau, additionneuses et multiplieuses, à main ou électriques, « feront l'objet d'une répartition spéciale ».

92

Pères, directeur adjoint du CNRS et président du Comité de mécanique et mathématiques appliquées, prend alors l'initiative d'associer son propre laboratoire et celui de Couffignal, initiative appuyée par Darmois (IHP) et de Broglie. L'ensemble serait dirigé par Pères, assisté d'un comité directeur, et baptisé Institut Blaise Pascal⁷⁷. Il fait partie d'une vague de créations d'une vingtaine de laboratoires par le CNRS qui s'efforce de rattraper le retard scientifique national. L'IBP est ainsi fondé le 22 juillet 1946, groupant administrativement le laboratoire de calcul analogique et le laboratoire de calcul mécanique. Le regroupement des deux modes de calcul sous un même nom donne une meilleure visibilité à l'action du CNRS en la matière et répond au souci de rationaliser et de coordonner les structures.

En réalité, les deux laboratoires sont dispersés dans des locaux de la région parisienne – rue de Sèvres à l'Institut d'optique, rue Pierre-et-Marie Curie à l'IHP au quartier latin, à Châtillon dans les bâtiments de l'ONERA – et ils ne semblent pas collaborer. Si l'ambition des fondateurs de l'IBP est d'en faire « un centre de mathématiques appliquées unique au monde »⁷⁸, les moyens ne sont pas à la hauteur. Le service de calcul du laboratoire Couffignal est certes bien équipé pour la France de l'époque, mais son atelier est qualifié de

77 Directoire du CNRS, 31-1 et 14-6 1946, Arch. nat. 80/0284/99. Il semble même qu'un projet plus ambitieux, intégrant le laboratoire de calculs numériques de l'Institut Henri Poincaré à l'Institut Blaise Pascal, ait été envisagé. Le 21 novembre 1944, le CEMA (Centre d'Études mathématiques de l'Institut Henri Poincaré) tient une réunion au CNRS (Joliot, Broglie, Pères, Daudel y participent) et conclut : « Plus tard, envisager un groupement avec les bureaux de calcul de MM. Pères, Fréchet et Couffignal ». L'idée revient à plusieurs reprises. Les archives sont muettes, mais on peut supposer que Fréchet n'a pas favorisé sa réalisation. Le CEMA participe, notamment à travers Fréchet, à une éphémère « sous-commission des analyseurs harmoniques et synthétiseurs » du CNRS en 1947.

78 Discours du directeur du CNRS devant le Comité national, séance plénière de juin 1948.

« rudimentaire⁷⁹ » et l'ensemble n'emploie en 1946 que quatre personnes, outre son directeur : deux calculatrices, un dessinateur d'étude, une auxiliaire de bureau. Bien que deux jeunes chercheurs s'y ajoutent bientôt, il ne semble jamais avoir dépassé un effectif d'une dizaine de personnes toutes catégories comprises : à peine assez pour faire fonctionner l'atelier mécanographique⁸⁰.

Si l'IBP démarre en 1946 avec d'importants crédits d'équipement et de fonctionnement (le laboratoire Couffignal obtient cette année-là un budget hors personnel de 0,9 MF), ces crédits se rétractent nettement les années suivantes : l'ensemble de l'IBP n'obtient que 567 kF en 1947, 480 kF en 1948, avec une remontée à 950 kF en 1949⁸¹ – mais il faudrait ajouter à cela les sommes dix fois plus importantes versées à Logabax pour construire le calculateur. Par comparaison, la subvention versée par l'État au CNRS en 1947 est d'environ 900 MF⁸².

Enfin, Couffignal ne se consacre pas à plein temps au laboratoire. En effet, jusque-là salarié du CNRS, il est nommé en 1946 inspecteur de l'enseignement technique. Devant effectuer des tournées d'inspection dans les écoles techniques à travers la France, il ne passe qu'un ou deux jours par semaine à l'Institut Blaise Pascal. Bref, le « centre de mathématiques appliquées unique au monde » est comparable, par sa taille, à une vingtaine d'autres laboratoires de calcul européens. Il n'a d'exceptionnel que son organisation, inadaptée à la gestion d'un projet technologique quelque peu ambitieux.

En 1946, Couffignal part en mission aux États-Unis, chargé d'une enquête sur les grandes machines à calculer et sur l'enseignement de la technologie dans

79 Archives du CNRS (Arch. nat. 80/0284/101), chemise « Plan quinquennal. État récapitulatif sciences exactes ». D'abord logé au 155 rue de Sèvres à Paris, près de l'Institut d'optique, le laboratoire de calcul mécanique déménage en janvier 1951 dans les locaux de l'ONERA (Châtillon-sous-Bagneux) où il rejoint le laboratoire Malavard. L'ensemble de la réalisation des nouveaux laboratoires coûte 7 MF au CNRS.

80 Le service de calcul travaille non seulement pour les laboratoires du CNRS, mais aussi pour la recherche appliquée : PTT, Gaz de France, Citroën, etc. En août 1951 (Propositions pour le plan quinquennal), Couffignal demande à recruter : – Pour le laboratoire, 4 opératrices mécanographes, 2 calculatrices (mêmes qualifications que celles qui sont en service), 1 mathématicien (licencié, cadre de la recherche), 1 mécanicien radioélectricien ; – Pour l'atelier, 1 ajusteur-outilleur « de haute qualification ».

81 Une partie de ce financement vient de la Fondation Rockefeller, qui met 250 000 dollars à la disposition du CNRS en 1946 pour acheter du matériel. Parmi les laboratoires destinés à en bénéficier en priorité figure « le centre de calcul de M. Couffignal sous la direction de M. Pérès ». En 1951, une enquête est lancée par la direction du CNRS pour chiffrer les besoins des laboratoires correspondant à la période du II^e plan de modernisation et d'équipement (1952-1956). Plusieurs demandes estiment les frais de fonctionnement de l'IBP à environ 5 MF/an et situent les frais d'équipement du LCM dans une fourchette allant de 108 MF à 150 MF. Un peu plus tard, la « Commission Laugier » propose, pour l'IBP, 168, 48 MF destinés à « l'achat de matériel scientifique (ch. 66-10, art. 3) à répartir sur trois ans (1954, 1955 et 1956).

82 L'État verse au CNRS en 1947 une subvention ordinaire de 756 MF et des crédits extraordinaires de 155 MF (CNRS, Séance plénière du Comité national, 2 juin 1948, annexe III, p. 35).

les écoles d'ingénieurs américaines. Chaperonné par le physicien français Léon Brillouin, il y visite les principaux chantiers de construction de « machines mathématiques » : laboratoire Aiken à Harvard, IAS à Princeton, Moore School à Philadelphie. Rentré en France, il présente un projet de calculateur électronique, fondé à la fois sur ce qu'il a observé aux États-Unis et sur ses conceptions personnelles. Songeons qu'à la même époque, le CEA réalise la pile atomique « Zoé », premier réacteur nucléaire construit hors du monde anglo-américain ; et que des prototypes français d'avions à réaction commencent à voler. Se lançant dans le montage d'un calculateur d'avant-garde, un an à peine après l'inauguration de l'ENIAC aux États-Unis, la recherche nationale prend l'offensive sur tous les fronts du rattrapage technologique. En 1947 le CNRS conclut une convention avec la société Logabax pour construire la « machine de Couffignal ». Montant prévu : 30 à 40 MF⁸³. La machine définitive devrait entrer en service opérationnel en 1950.

94

a. Un partenaire inapte : Logabax

Comme Bull, Logabax est une entreprise qui a voyagé avant de se fixer en France. Son origine remonte à 1920, lorsqu'un banquier espagnol, Francisco Campos Campaña (1885-1955) déposa à Berlin ses premiers brevets pour une « machine à calculer les comptes courants ». Cette machine pouvait tenir les comptes des clients d'une banque, par exemple, c'est-à-dire qu'elle pouvait non seulement additionner et soustraire, mais aussi « mémoriser » les résultats dans des registres mécaniques. En 1933, Louis Couffignal saluait ainsi cette innovation :

Une additionneuse à mille chiffreurs vient d'être construite. C'est la machine Campos. Elle se range dans la catégorie des additionneuses à chiffreur imprimantes en ce qui concerne son mécanisme calculateur, avec cette particularité d'être pourvue d'un inscripteur à leviers [...]. Mais – nouveauté importante – à l'appel de son numéro, chaque chiffreur offre au totalisateur le nombre qu'il porte, ou prend en garde le nombre que porte celui-ci. [...] La machine de Campos peut être rapprochée de la machine de Babbage par la présence de mille chiffreurs⁸⁴.

⁸³ Note de la CNME au ministère de l'Économie et des Finances, 7 novembre 1947, B 42213. Une première subvention de 10 MF est versée par le CNRS à Logabax pour contribuer à l'organisation du laboratoire d'électronique et aux premières études (contrat n°857 du 12 mai 1947) ; de plus, le CNRS met à la disposition de Logabax une vingtaine d'appareils de laboratoire et plusieurs centaines de tubes électroniques. Un nouveau marché est passé le 7 juin 1949 pour le traducteur décimal-binaire, pièce maîtresse de la « machine-pilote ».

⁸⁴ L. Couffignal, *Les Machines à calculer, leur principe, leur évolution*, Paris, Gauthier-Villars, 1933. La comparaison avec Babbage aide à comprendre pourquoi Couffignal choisit Logabax pour construire sa machine : les conceptions de base des trois inventeurs sont apparentées et se situent dans le même univers conceptuel : celui de la mécanique.

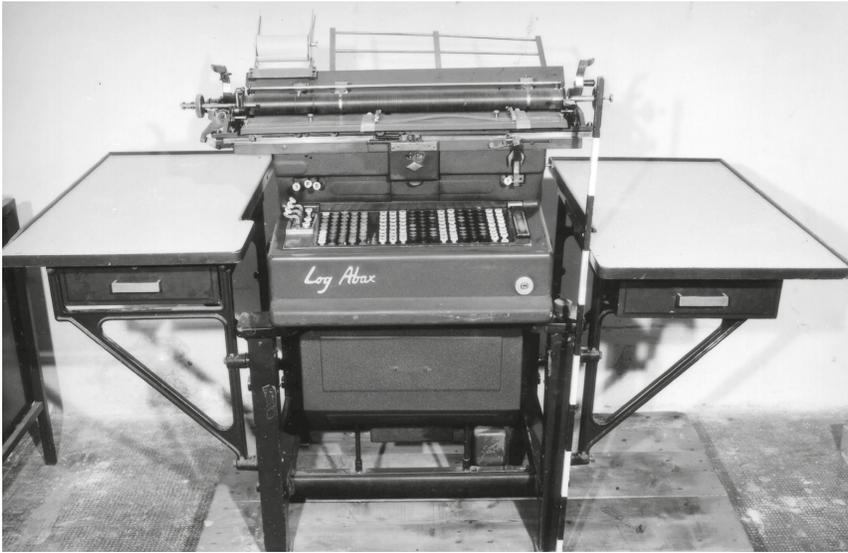


Figure 8. Machine Logabax à 200 compteurs (vers 1946)

Inventées par un banquier espagnol, Francisco Campos Campaña, perfectionnées avec ses associés français, les machines Logabax « à 200 compteurs » constituaient en France, au milieu des années quarante, un summum de ce que la mécanique pouvait offrir au calcul ; leurs performances et leur prix les situaient entre les machines de bureau et les équipements à cartes perforées. La *Log-Abax* pouvait tenir les comptes des clients d'une banque, par exemple, c'est-à-dire qu'elle pouvait non seulement additionner et soustraire, mais aussi « mémoriser » les résultats dans des registres mécaniques. Elle était aussi utilisable en calcul scientifique.

Bien que cette machine fût conçue pour la tenue de comptes, sa grande capacité d'enregistrement présentait des possibilités intéressantes pour le calcul scientifique. L'invention était remarquable, puisqu'il s'agissait de rien moins que de la première mémoire de masse adressable. En revanche elle était très délicate à réaliser de manière fiable avec les techniques de l'époque – l'idée d'enregistrer de grands fichiers dans une machine individuelle n'entrera dans la pratique qu'avec les micro-ordinateurs des années 1970 – et cela, joint à la difficulté économique de concurrencer les multinationales américaines de la machine comptable, explique les tribulations ultérieures de Campos.

En 1925, Campos avait fondé une entreprise à Hambourg pour industrialiser son projet. Un prototype doté d'une imprimante fut présenté en 1928. Il intéressa vivement Acc and Tab, la filiale britannique de Powers-Remington-Rand, qui l'acquiesça et en fit construire plusieurs exemplaires. Cet engouement prit fin en 1935, quand les responsables d'Acc and Tab prirent conscience du manque de fiabilité d'une machine aussi complexe, dès qu'elle était construite en série, et abandonnèrent l'opération⁸⁵.

85 La phase 1920-1935 de l'histoire de Campos est résumée dans R. Bülow, « Before the "Logabax" : The Design and Machines of Francisco Campos », *Actes du 2^e colloque sur*

Cependant, trois exemplaires avaient été vendus en France. Campos, désormais installé à Paris, y déposa de nouveaux brevets et fonda la Société civile des brevets Logabax. Les capitaux venaient d'un homme d'affaires spécialisé dans le matériel de bureau, Georges Outhier, qui exploitera personnellement la société jusqu'en 1946.

Campos et Outhier mettent au point en 1942 un nouveau type de machine. Diffusée à partir de 1943, elle est plus petite que les précédentes, plus ergonomique et capable d'opérations plus variées. Pour en améliorer la fiabilité, Campos a réduit le nombre des registres à 198, d'où le surnom de « machine à 200 compteurs ». Les machines Logabax constituent en France, à l'époque, le summum de ce que la mécanique peut offrir au calcul ; leurs performances et leur prix les situent entre les machines de bureau et les équipements à cartes perforées. En 1943, Couffignal en recommande l'achat par l'Institut de physique du globe : « Cette machine fera de l'IPG l'établissement le mieux équipé dans le monde pour l'analyse harmonique », mieux que le MIT, les universités de Berlin et de Cambridge⁸⁶.

Une centaine de machines sont fabriquées dans les années qui suivent. Une usine est achetée à Malakoff, équipée de matériel moderne, et commence à produire en 1947. Un centralien, Angelle, est nommé directeur technique. L'activité commerciale repose sur un service de vente et sur un service technique pour l'étude des applications, employant des opératrices-monitrices. La plupart des machines sont placées en France (aciéries de Longwy, service national des statistiques, Assurances sociales). Des agences sont fondées en Suisse, en Belgique et en Tchécoslovaquie, des contrats de concession signés dans d'autres pays.

Malgré cette activité, Logabax est le partenaire idéal, à l'époque, pour qui veut réunir toutes les conditions d'un échec assuré. Sur le plan technique, elle n'a pas la moindre compétence en électronique (pourquoi Couffignal ne s'est-il pas adressé à Radio-Industrie, filiale de son ancien partenaire RBV ? Nous l'ignorons). Sur le plan de la gestion, cette petite SARL (capital : 6 MF en 1947), en réorganisation permanente, ne parvient pas à sortir d'une « situation financière très lourde ». Si les pertes cumulées fin 1946 (436 kF)

l'histoire de l'informatique en France, op. cit., et dans M. Campbell-Kelly, *ICL : A Business and Technical History*, Oxford, Oxford University Press, 1990.

86 Dossier Logabax, B 42213. L'analyse harmonique permet l'étude des fonctions périodiques, notamment sinusoïdales, donc des vibrations. La lettre de Couffignal révèle que le service de calcul de l'IPG possède déjà un « analyseur Coradi à 50 périodes » (tout comme le MIT et l'observatoire météorologique de Berlin). Une machine Logabax vaut 510 kF en 1947. Couffignal était très lié aux Labrouste, qui dirigeaient l'IPG (entretien avec Jean Coulomb, 16 novembre 1994).

peuvent encore passer pour « le bilan d'une affaire qui se lance » (et l'on peut admettre que la croissance rapide de Logabax soit difficile à gérer), la firme se révèle ensuite incapable de mener à bien le programme de fabrication de machines comptables pour la réalisation duquel l'État a garanti ses emprunts à hauteur de 85,715 MF⁸⁷. Logabax aux abois a-t-elle vu dans le contrat du CNRS autre chose qu'un moyen de renflouer sa trésorerie à court terme ? Voilà pourtant le constructeur auquel l'État a choisi de confier la fabrication du premier ordinateur électronique français.

b. Une double faillite

La « machine de Couffignal » est entièrement électronique, binaire, et comporte des organes de sortie munis de traducteurs binaire-décimal. Couffignal annonce une vitesse de 1 000 opérations par seconde sur des nombres de 15 chiffres (multiplication en 50 μ s), performance fort honorable pour l'époque, voisine de celles du Ferranti Mk1 ou de l'ACE Pilot britanniques et nettement supérieure aux petits calculateurs électroniques IBM ou Bull. Dans ses rapports à la direction du CNRS, Couffignal souligne que l'appareil est essentiellement destiné à « débiter du calcul » ; il laisse aussi entrevoir, dans une conférence donnée en 1947 au ministère des PTT, la possibilité d'applications mécanographiques – comptabilité, tri des chèques postaux, automatisation de la documentation bibliographique ; devant des ingénieurs navals, il évoque non seulement le calcul de trajectoires, mais aussi la conduite de tir et l'automatisation d'une usine chimique⁸⁸.

Une question d'architecture

Ce n'est toutefois pas un ordinateur au sens de Eckert et Von Neumann, pour deux raisons principales. D'une part, son architecture est hautement parallèle, l'idée de Couffignal étant d'agencer sa machine comme un bureau de calcul selon les règles de l'organisation scientifique du travail, en faisant fonctionner simultanément différentes unités arithmétiques. En 1930, Couffignal a conçu un ordinateur, basé sur une machine comptable mécanique Elliott-Fisher Wahl, consistant « à mettre en relation deux à deux de toutes les façons utiles : les chiffreurs principaux d'une calculatrice automatique (totalisateur, multiplicande, multiplicateur), un clavier, un mécanisme imprimant, et des chiffreurs de réserve [mémoire de travail] destinés à conserver les premiers résultats partiels formés par la machine,

87 PV Comité d'étude/Lettre d'agrément CNME 16 avril 1948 (Dossier Logabax, B 42213).

88 CR par M. Pigué, ingénieur contractuel des Constructions et Armes Navales, de la conférence donnée le 10 février 1947, à l'école d'ingénieurs de Marseille, par M. Couffignal, sur « Les grandes machines mathématiques modernes », ronéoté, p. 27 (archives personnelles de Geneviève Coulmy).

pendant qu'elle calcule les suivants »⁸⁹. La calculatrice électronique entreprise en 1947 a exactement la même architecture générale, moyennant l'adjonction d'un programme externe ! Au fond, elle combine l'ancien projet de machine de Couffignal, les modèles d'organisation scientifique du travail auxquels il s'est familiarisé au sein du CNOF, et l'adoption de l'électronique suivant son voyage aux États-Unis.

D'autre part la mémoire de la future machine est volontairement réduite au strict minimum et ne sert qu'à retenir des données intermédiaires dans les calculs : il n'est pas question de programme enregistré ni de branchements conditionnels⁹⁰. Caractéristique est le fait de confier la traduction binaire-décimal à des circuits électroniques, si peu fiables à l'époque, plutôt qu'à du *software*, alors que l'algorithme de changement de base est connu – il est vrai qu'on y gagne en vitesse.

98

En fait, Couffignal n'a rien renié des conceptions qu'il a élaborées dans les années trente, conceptions qui l'habitent depuis dix ans sans qu'il ait encore pu les concrétiser. Il poursuit naturellement le programme de recherche auquel il croit, qui est au fond celui de Babbage et de Jacques Lafitte.

Ce qu'il a vu aux États-Unis ne l'a pas amené à y renoncer. On a résumé plus haut le processus qui a mené au concept de programme enregistré, à travers l'expérience d'ENIAC, les problèmes de rendement identifiés par Eckert et Mauchly, la formalisation par von Neumann qui avait connaissance des travaux de Turing. L'adoption de l'électronique change complètement les perspectives dans la conception architecturale des calculateurs.

Mais qui, à l'époque, possède l'outillage mental pour percevoir cette « révolution » ? Quelques hommes comme Turing, Wilkes, Hartree en Angleterre,

89 *Les Machines à calculer*, 1933, se référant à la note de 1930 à l'Académie des sciences citée plus haut. Il ne s'agit pas d'architecture « parallèle » (traitement des impulsions mot par mot, où l'opération s'effectue simultanément sur tous les bits constituant un mot) par opposition à « sérielle » (bit par bit), toutes deux classiques dans les « machines de von Neumann ». L'idée de connecter plusieurs types de machines comptables est rendue possible par leur électrification entre les deux guerres ; elle inspire des projets à divers inventeurs qui vont parfois jusqu'à l'industrialisation, ainsi la Synchro-Madas.

90 Pour une description technique plus détaillée de la machine de Couffignal, voir par exemple L. Couffignal, « Traits caractéristiques de la calculatrice de la machine à calculer universelle de l'Institut Blaise Pascal », *Proc. 2nd Symp. Large Scale Digital Calculating Machinery*, 13-16 Septembre 1949. *Annals of the Computation Laboratory of Harvard University*, Cambridge, Ma, Harvard University Press, 1951, vol. 26 (communication lue *in absentia* par L. Brillouin) ; L. Couffignal, « La machine à calculer de l'Institut Blaise Pascal », *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, Paris, Éditions du CNRS, 1953 ; et P.-É. Mounier-Kuhn, « The Institut Blaise Pascal : From Couffignal's Machine to Artificial Intelligence », *Annals of the History of Computing*, vol. 11/4, décembre 1989 ; « L'Institut Blaise Pascal du CNRS (1946-1969) », dans J. Sakarovich (dir.), *De Bourbaki à la machine à lire. Journée d'hommage à René de Possel (1905-1974)*, Paris, Publications de l'Institut Blaise Pascal, 1994, p. 15-29.

Dans un calculateur numérique, toutes les fonctions mathématiques doivent être décomposées en combinaisons des quatre opérations arithmétiques de base, elles-mêmes décomposées en longues séquences d'opérations logiques simples, seules exécutables par la machine. Les erreurs s'amplifient donc à mesure que le calcul se déroule à travers les itérations, aboutissant à des résultats aberrants si le calculateur n'est pas doté d'une grande précision et de programmes conçus en fonction des problèmes d'erreurs et d'approximations. Von Neumann, comme d'autres pionniers du calcul électronique, a étudié ce problème qui oblige à repenser une partie de l'analyse numérique. Lui-même a rencontré cet écueil en programmant sur l'IBM SSEC un problème de mécanique des fluides, en 1948, et a abandonné ; d'autres mathématiciens ont réussi à le résoudre sur la même machine en employant une approche différente^a.

On considère généralement que l'analyse numérique moderne est née en 1947 avec un article de Goldstine et von Neumann sur l'inversion numérique de matrices d'ordre élevé^b. C'est l'un des premiers articles qui étudient l'erreur d'arrondi et discutent de calcul scientifique au sens actuel. Bien qu'héritant d'une tradition ancienne, l'analyse numérique moderne se caractérise par la synergie entre des calculateurs puissants, l'analyse mathématique, le besoin et la possibilité de résoudre de vastes problèmes complexes : trajectoires balistiques, physique neutronique, mécanique multidimensionnelle des fluides en instabilité, ces domaines d'applications poussent au développement des ordinateurs, voire des super-ordinateurs, et dépendent étroitement des progrès en analyse numérique et en modélisation mathématique.

- a J. von Neumann, *L'Ordinateur et le Cerveau*, Paris, Flammarion, 1996, p. 34-37. C. Bashe et al., *IBM's Early Computers*, Cambridge (Ma.), MIT Press, 1986, p. 57.
- b J. von Neumann & H. Goldstine, « Numerical Inverting of Matrices of High Order », *Bulletin of the American Mathematical Society*, novembre 1947.

Brillouin et Raymond en France... Qu'ont-ils en commun ? À la fois une culture mathématique et une expérience de l'électronique. Comme l'écrit Wilkes, radio-amateur et radariste pendant la guerre : « *I had green fingers in electronics* »⁹¹.

Or, si Couffignal adopte l'électronique bien avant Zuse et Aiken, il n'en a aucune expérience personnelle concrète qui puisse lui faire saisir ce bouleversement. Les quinze brevets dont il sera titulaire en 1952 portent tous sur des dispositifs mécaniques. C'est un trait commun à Couffignal, Zuse, Aiken et à tous ceux qui poursuivent plus ou moins consciemment le dessein de calculateur à programme externe remontant à Babbage. Couffignal, pourtant numéricien expérimenté, tient pour négligeable le problème de l'accroissement de l'erreur d'arrondi en fonction de la puissance d'un calculateur électronique, malgré les avertissements

91 M. V. Wilkes, *Memoirs of a Computer Pioneer*, Cambridge, Ma, MIT Press, 1985.

des spécialistes : ce fait confirme qu'il n'a pas intégré les contraintes nouvelles imposées par l'emploi de l'électronique.

L'état de l'art : la conférence de 1947 et la « machine française »

Vers 1947, les spécialistes sont encore dans la plus grande incertitude quand à ce que seront les machines à calculer de l'avenir. On est sûr qu'il s'agira de gros appareils électroniques. Mais quelle sera la meilleure structure qui déterminera les performances, les méthodes de programmation et les applications possibles ?

Cette incertitude est visible dans la conférence sur « Les grandes machines mathématiques », organisée en juin 1947 au ministère des PTT⁹². Cette manifestation, première réunion scientifique tenue en France sur ce sujet autour des exposés de trois éminents professeurs, nous permet de comprendre comment l'on se représente ce nouveau domaine technique juste après la guerre.

100 Le physicien Léon Brillouin, celui des trois qui connaît le mieux les réalisations américaines puisqu'il enseigne à Harvard, passe en revue la variété des machines construites ou à l'étude aux États-Unis, leurs aptitudes et leurs domaines d'applications (du calcul au contrôle industriel), les diverses technologies, les architectures. Il insiste sur « deux fonctions qui sont vraiment nouvelles », la mémoire et le programme (enregistré ou non), et sur le problème de l'erreur d'arrondi. Il conclut en signalant « la cordialité de l'accueil » des Américains qui « nous demandent d'envoyer des jeunes gens pour travailler avec eux, pour les aider à monter les machines actuellement en cours d'exécution et ainsi acquérir empiriquement [...] toute l'expérience et tous les trucs de cette technique nouvelle. »

Ce qui ressort de son exposé, ce n'est donc pas « l'ordinateur » (qui n'existe encore que sur le papier ; le modèle de Von Neumann est seulement décrit parmi les autres), mais la variété des types possibles de grandes machines numériques, abondamment illustrés par les photos de machines d'Aiken. L'exposé de Couffignal sur « Les travaux français » renforce évidemment cette vision d'un choix très ouvert des architectures.

De plus, Couffignal porte déjà un tout autre projet. Théoricien d'une loi d'évolution historique des machines à calculer, fort de la connaissance approfondie qu'il en a acquise depuis quinze ans, il estime que « Le problème d'agencer les organes d'une telle machine, ce n'est pas seulement un problème

92 J. Pérès, L. Brillouin, L. Couffignal, « Les grandes machines mathématiques », *Annales des télécommunications*, 1947, t. 2, n° 11 & 12. Les mêmes textes sont reproduits dans la revue *Atomes* (ancêtre de *La Recherche*), ce qui atteste la réceptivité supposée du public scientifique français. Le texte de Brillouin sur « Les machines américaines » compte 15 pages et une bibliographie succincte qui offre au lecteur les références de base : publications de Bush, d'Aiken, des Bell Labs, de Goldstine, Burks et von Neumann.

scientifique et technique, c'est surtout un problème *d'organisation scientifique du travail*. » Son univers intellectuel est celui de la mécanique, et il ne peut admettre la nouveauté que comme appoint à des schémas fondamentaux qu'il ne remet pas en question⁹³.

Il connaît depuis 1946 les projets en cours de développement à Princeton et en Angleterre, qui confèrent à la mémoire une importance centrale. Or, objecte Couffignal, si

cette mémoire peut enregistrer 5 000 résultats dans certaines machines en cours d'étude, la machine anglaise notamment, l'examen des problèmes de physique mathématique que l'on se propose de résoudre avec ces machines montre que ce nombre sera insuffisant ; il faudra le porter à 10 000, 20 000 et peut-être 50 000 pour résoudre certains problèmes d'intégration d'équations aux dérivées partielles.

Couffignal voit donc bien que l'architecture von Neumann, combinée avec les exigences de calcul de la physique moderne, nécessitera bientôt des tailles mémoires considérables : des dizaines, voire des centaines de milliers de bits ! Il ne croit pas qu'on trouvera une solution technique à ce problème – qui est effectivement le problème technique crucial des premiers ordinateurs. Et, plutôt que d'approfondir la question par une enquête auprès des électroniciens, il préfère poursuivre dans la formule architecturale qu'il a depuis longtemps élaborée⁹⁴.

La Cybernétique

Par ailleurs, une autre occupation vient élargir le périmètre d'activités de Couffignal. Depuis 1942, aux États-Unis, un groupe de réflexion s'est rassemblé autour des problèmes de contrôle-commande, de prévision de comportements et de dérèglements des systèmes. En 1946, le mathématicien Norbert Wiener a suggéré le mot *Cybernétique* pour les désigner. Il s'agit de comprendre les problèmes ardues posés par le développement rapide des nouveaux systèmes techniques, de les modéliser mathématiquement et d'explorer les possibles analogies entre machines et êtres vivants, dans un croisement fécond d'approches disciplinaires habituellement cloisonnées par la spécialisation et les structures académiques. Wiener, francophone et francophile, séjourne à

93 On trouvera le même type de résistance à l'innovation radicale dans l'industrie mécanographique (IBM, Bull, BTM...), qui au début des années cinquante utilisera surtout l'électronique comme un appoint aux ensembles mécanographiques classiques, et fera sien le slogan « Evolution, not revolution ».

94 L. Couffignal, « Les travaux français sur les machines mathématiques », *Atomes*, n° 23, février 1948. Les mêmes arguments sont repris dans d'autres textes écrits ou inspirés par lui, ainsi P. de Latil, « Nouvelles machines à calculer électroniques », *Sciences et Avenir*, n° 50, 1951. Le « Que-sais-je ? » de René Taton sur *Le Calcul mécanique* consacre son dernier chapitre à « La machine française » de Couffignal, dont il vante les nombreux avantages sur les machines américaines.

plusieurs reprises en France. En juin 1947, il participe à Nancy à un colloque d'*Analyse harmonique*, où il rencontre des convergences d'intérêts similaires aux siens avec les ingénieurs des télécommunications.

Couffignal appartient d'emblée à ce collège invisible. Lui aussi a, dès 1941 au CNRS, noué un dialogue avec un notable de la biologie, le physiologiste français Louis Lapicque⁹⁵. Leurs discussions ont inspiré à Couffignal des analogies entre système nerveux et machines à calculer, publiées en 1943 dans un essai sur *La Machine nerveuse*. Couffignal est rejoint à l'IBP par un jeune ingénieur de l'armement, Robert Vallée (X 1943), qui fonde en 1949 un Cercle d'études cybernétiques et organise des conférences sur *La Cybernétique, théorie du signal et de l'information* (Paris, décembre 1950), sous la présidence de L. de Broglie.

102

Ce mouvement rapproche des mathématiciens, des physiciens, des ingénieurs et donne une légitimité à des travaux novateurs, dans un esprit qui est d'ailleurs celui de l'Institut Henri Poincaré. Ainsi des radioélectriciens français, désirant modéliser le comportement de l'information dans les circuits de télécommunications, suivent une démarche comparable à celle adoptée par Cl. Shannon quelques années plus tôt. Au département Radar-Hyperfréquence de Thomson-Houston, un ingénieur de l'équipe Altowsky chargé du premier relais hertzien de télévision Paris-Lille, Jacques Laplume, présente une communication à l'Académie des sciences portant « Sur le nombre de signaux discernables en présence de bruit erratique dans un système de transmission à bande passante limitée ». Ces travaux sont poursuivis et publiés en 1950 dans un article beaucoup plus complet de l'*Onde électrique*.

By 1948 the need for a theory of communication, encompassing the fundamental tradeoffs of transmission rate, reliability, bandwidth and signal-to-noise ratio, was recognized by various researchers. Several theories and principles were put forth in the space of a few months by A. Clavier [LCT, Paris], C. Earp, S. Goldman, J. Laplume [Thomson, Paris], C. Shannon, W. Tuller and N. Wiener⁹⁶.

Dans le milieu universitaire, Léon Brillouin – esprit universel qui a consacré sa thèse à la théorie des quanta, puis est devenu un expert en télécommunications – entreprend de fusionner théorie de l'information et thermodynamique. Un jeune professeur de physique, André Blanc-Lapierre (CNET et université d'Alger), qui a étudié à la fin des années 1930 la conduite de tir contre avion et la détection électromagnétique, travaille avec G. Darmois et M. Fortet sur les fonctions

⁹⁵ Fondateur de l'Union rationaliste, avec Émile Borel, Paul Appell, Jean Perrin, Lapicque était aussi un familier de l'Arcouest, la maison des Joliot-Curie en Bretagne, surnommée « Sorbonne-Plage ».

⁹⁶ S. Verdù, « Fifty years of Shannon Theory », *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 44, n° 6, octobre 1998, p. 2057-2078). Merci à Philippe Dupuis pour cette information. Voir aussi la thèse de J. Segal, *Le Zéro et le Un*, Paris, Syllepse, 2003.

aléatoires, concept alors pratiquement inconnu des physiciens, ce qui l'a mené au colloque de Nancy où il a lui aussi discuté avec Norbert Wiener. Étudiant en même temps les instruments d'optique (photocompteurs), il se pose la question du bruit de fond dans ces instruments. Problématiques croisées qui le conduisent à chercher comment la théorie de l'information pourrait s'appliquer à l'optique, et à lancer son laboratoire dans le traitement du signal⁹⁷.

Couffignal, lui, s'intéresse plutôt aux ambitions holistes de cette nouvelle « science des robots » qui suscite des discussions passionnées dans l'opinion française. Le réseau cybernéticien contribue à l'insérer dans un mouvement scientifique international où il deviendra l'un des principaux représentants européens de la Cybernétique. Chez ce professeur de l'enseignement technique, le modèle du savant-philosophe l'emporte sur celui du savant-ingénieur.

Toutefois, du point de vue de la construction de son ordinateur, on peut postuler que cette alliance ne lui sert à rien. La machine modèle, pour la plupart des cybernéticiens, est le servomécanisme et le ordinateur analogique. Or Couffignal est et restera un spécialiste du numérique – l'un des rares cybernéticiens qui croient d'emblée aux machines digitales plutôt qu'à l'analogique. Avançons l'hypothèse que ces spéculations, qui rejoignent celles de Lafitte, le confirment dans sa conception d'une machine complexe, parallèle, « baroque » (dirait un informaticien d'aujourd'hui), plutôt que d'une architecture fondamentalement simple comme celle de Von Neumann.

Enfin, pionnier de la conception de ordinateurs à base binaire, Couffignal peut s'estimer en avance sur l'ENIAC dont les encombrants circuits décimaux ont déterminé la taille monstrueuse. En 1946, le directeur du CNRS, Georges Teissier, écrit au ministre de l'Armement :

L'Institut Blaise Pascal doit prendre très prochainement un grand développement [...]. Vous savez en effet quels progrès les Américains ont réalisé ces dernières années dans le domaine des machines à calculer [...]. Or nous avons au CNRS des spécialistes de la question, et il semble bien que leurs idées ont été utilisées aux États-Unis pendant la guerre. Il est donc indispensable de faire un effort pour nous placer à leur niveau et mettre en œuvre, à notre profit, des moyens dont nous sommes les promoteurs⁹⁸.

97 Entretien de P.-É. Mounier-Kuhn et J. Ségal avec André Blanc-Lapierre, 19 mars 1997. Blanc-Lapierre se méfiait de l'étiquette *cybernétique*, d'autant qu'il s'intéressait plus au signal qu'à la commande

98 Lettre de G. Teissier, directeur du CNRS, au ministre de l'Armement, 7 mai 1946 (Arch. nat. 80/0284/126). L'affirmation que Couffignal a inventé le calcul binaire dix ans avant Von Neumann revient fréquemment dans les documents de l'époque, et n'a sûrement pas inspiré aux Français l'humilité nécessaire à l'acquisition d'une technologie étrangère. Cette revendication doit aussi se comprendre dans l'ambiance de l'après-guerre : bien des savants français, même pro-américains comme Bertrand Goldschmidt, étaient ulcérés que

Le directeur affirme ainsi l'une des missions du CNRS, moderniser l'équipement des laboratoires français en favorisant leur passage de la recherche artisanale à la « science lourde ». Teissier est un généticien des populations, et son intérêt pour le développement des outils statistiques renforce peut-être l'attention qu'il porte personnellement aux moyens de calcul. Plus généralement, sa lettre se situe dans le droit fil des préoccupations qu'exprimait quelques mois auparavant son prédécesseur, Frédéric Joliot-Curie : si la France n'entreprend pas un sérieux effort de recherche scientifique, elle deviendra, à plus ou moins long terme, une colonie⁹⁹. Thème que l'on déclinera abondamment, dix à vingt ans plus tard, à propos de l'électronique et des calculateurs, et qui motive fondamentalement les dépenses consacrées à la recherche.

Cette crainte se double d'un fort sentiment anti-américain, chez Joliot comme chez Teissier, tous deux communistes (ils siègent au comité central du Parti). Il est vraisemblable qu'à leurs yeux Couffignal réalise le calculateur capable de relever le défi de l'impérialisme yankee. De plus, ce calculateur est conforme à la loi du progrès énoncée par Couffignal : il est dans le sens de l'Histoire, contrairement à l'ordinateur de Von Neumann. Dans cette atmosphère de chauvinisme technologique, *mutatis mutandis*, Couffignal ferait presque figure de Lyssenko de l'informatique ! Cela contribue en tout cas à expliquer le soutien dont il bénéficie.

La presse de l'époque multiplie les articles sur l'Institut Blaise Pascal et célèbre à l'envi la « machine française »¹⁰⁰. Le nom officiel, « machine IBP », sonne

104

Washington traitât en ennemis les atomistes de l'équipe Joliot qui en 1940 avaient apporté leurs compétences à l'effort de guerre allié. L'affaire des « brevets atomiques » du CNRS était alors brûlante, bien que ces brevets aient peu de valeur juridique.

99 Ce thème se retrouve dans plusieurs discours de Frédéric Joliot-Curie à l'époque. Voir par exemple son article « Le CNRS » (*La Pensée*, 4^e trimestre 1945, n° 5) ; et son exposé au Comité directeur du CNRS, Sciences expérimentales, séance du 18 septembre 1944, p. 7 (Arch. nat. 80/0284/205). On le retrouve dans H. Laugier, « Une puissante recherche scientifique, condition préalable à toute grandeur française » (*Cahiers rationalistes*, 1955, n° 148). Il existait déjà sous Vichy, comme en témoigne vers 1943 un texte préparatoire à la création d'un Centre national des télécommunications : il faut « organiser la recherche en vue de la création d'une technique française, seule formule qui reste à la France si elle ne veut pas devenir définitivement vassale de l'étranger » (*sic*) (cité par M. Atten, « La construction du CNET, 1940-1965 », *Histoire, Recherche, Télécommunications. Des Recherches au CNET. 1940-1965*, Paris, CNET, coll. « Réseaux », 1996, p. 50). Ce patriotisme scientifique a un rôle directement politique de garde-fou face à des dirigeants monétaristes qui, comme Antoine Pinay, envisageraient volontiers de faire l'économie de la recherche en France et de se contenter « d'acheter des brevets à l'étranger ».

100 Ce thème de communication se trouve notamment dans L. Couffignal, « Les machines à calculer françaises », art. cit., et P. de Latil « Nouvelles machines à calculer électroniques », art. cit. Albert Ducrocq assure que, grâce à la « machine française IBP », la France a « une réelle avance théorique » en matière de « mémoires par diodes » à accès instantané ; « alors que les Américains en viennent seulement maintenant à la numération binaire, la machine française fut bâtie tout de suite sur cette numération, l'aménagement des circuits correspondant à une rentabilité maximum et à une capacité jamais égalée » (A. Ducrocq, *Appareils et cerveaux électroniques*, Paris, Hachette, 1952).

comme une réplique à l'*IAS machine* de Von Neumann : face à Princeton, Châtillon-sous-Bagneux relève le défi... La revue *Atomes*, en 1947, donne une large audience aux conférences données aux PTT par Pérès, Brillouin et Couffignal, en les publiant avec un « chapeau » prometteur¹⁰¹ :

[...] MM. Brillouin, professeur de Physique théorique au Collège de France, et Couffignal, Inspecteur général de l'Enseignement technique, dont les efforts conjugués vont permettre bientôt à la France de posséder une machine originale de sept tonnes, capable de rivaliser avec les plus belles réalisations d'outre-Atlantique.

« Grâce aux travaux de M. Couffignal, nous gardons une avance du point de vue théorique » déclare Pérès, d'habitude mieux inspiré, à la conférence de juin 1947.

Les machines à calculer et la pensée humaine

L'apothéose de Louis Couffignal est le colloque international qu'il organise au CNRS en janvier 1951 sur *Les Machines à calculer et la pensée humaine*¹⁰². Cette grande manifestation prestigieuse rassemble la plupart des spécialistes européens du calcul électronique, universitaires ou ingénieurs de l'industrie, avec quelques Américains aussi notables que Howard Aiken et Norbert Wiener (qui passe alors quelques mois comme professeur invité au Collège de France), ainsi que des médecins et des philosophes attirés par la cybernétique – de l'ordre de 250 participants au total. Le congrès est divisé en trois parties¹⁰³ :

- « Progrès récents dans la technique des grosses machines à calculer » (matériels).
- « Problèmes de mathématiques relevant des grosses machines » (analyse numérique et programmation).
- « Les grosses machines, la logique et la physiologie du système nerveux » (réflexions cybernétiques).

Couffignal y développe ses conceptions dans la première et la troisième session, son collaborateur Germain décrit le développement de la mémoire et d'un traceur de courbes, son élève Peltier présente des programmes de calcul en binaire¹⁰⁴. Un congrès de cette ampleur se prépare plus d'un an à l'avance :

¹⁰¹ « Les cerveaux électroniques » (titre général). J. Pérès, « L'évolution des machines à calculer », L. Brillouin, « Les grandes machines mathématiques américaines », *Atomes*, n° 21, décembre 1947. L. Couffignal, « Les travaux français sur les machines mathématiques », *Atomes*, n° 23, février 1948. Il est intéressant de voir une revue scientifique évaluer la puissance de calcul à la tonne.

¹⁰² *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, Paris, Éditions du CNRS, 1953. Le financement par la fondation Rockefeller est détaillé dans Arch. nat. 80/0284/141.

¹⁰³ Ph. Breton en a donné une analyse, « La naissance de la cybernétique et l'autonomisation de l'informatique », *grkg/Humankybernetik*, Verlag Modernes Lernen, 1987, Band 28, Heft 1.

¹⁰⁴ J. Peltier, « Calcul de certaines fonctions usuelles en système binaire », *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, op. cit.

quand on s'y est engagé, on a vraisemblablement estimé que la machine de l'Institut Blaise Pascal serait alors terminée. Or, début 1951, elle en est loin et les participants peuvent constater l'insuffisance ou l'absence de la « machine française » : Couffignal ne présente que sa « machine-pilote », non la grande machine en construction, et évite d'emmener ses invités visiter son laboratoire ou celui de Logabax¹⁰⁵. En revanche, les participants sont conviés au centre de calcul analogique de la SEA à Courbevoie. Un mois après, l'université de Manchester inaugure un puissant ordinateur, construit sur ses plans par Ferranti, et organise à son tour un congrès international où les mêmes participants assistent à l'exécution de programmes de calcul...

La calculatrice existant à l'IBP n'est qu'une petite « machine pilote », une maquette de 200 tubes qui ne peut traiter qu'un nombre réduit de chiffres. Elle semble d'ailleurs avoir fonctionné correctement pour calculer des racines carrées et des sinus¹⁰⁶. On l'a construite uniquement pour tester les principes de Couffignal et perfectionner certaines solutions techniques. Ces vérifications faites, Logabax a commencé à monter, sur les mêmes bases, une grande « machine définitive » de 2 000 tubes destinée à l'Institut Blaise Pascal.

106

C'était une énorme machine, couvrant 3 ou 4 m², qui devait consommer plusieurs kilowatts et dont le fonctionnement n'a jamais donné entière satisfaction. [...] Composée de plusieurs milliers de tubes, en particulier de doubles triodes ECC 40, elle chauffait beaucoup. Personnellement, je n'ai jamais assisté à une suite de calculs exacts¹⁰⁷ !

Elle ne sera jamais terminée. En 1950, Logabax a un passif de 220 MF et se trouve chaque mois en cessation de paiement. La firme est reprise par un nouvel actionnaire, le groupe belge Électrobel-SOFIBA, qui consacre 400 MF à éponger les dettes. Le dépôt de bilan ne peut toutefois être évité, et en 1952 la compagnie se réduit à une « Société commerciale Logabax ». Par mesure d'économie, la

¹⁰⁵ Entretien avec Maurice Wilkes, août 1989.

¹⁰⁶ Entretien avec Geneviève Coulmy, 1989 ; mathématicienne, attachée de recherches à l'IBP à l'époque de Couffignal, G. Coulmy dirige et conçoit des calculs pour le CNET, la Marine ; c'est elle qui édite les actes du colloque de 1951. Elle concevra un calculateur de trajectoires pour la DRME en 1965.

¹⁰⁷ Entretien avec Ph. Becker, ancien ingénieur chez Logabax (lettre et entretien téléphonique, 6 octobre 1986). Le fait que plusieurs milliers de tubes « chauffent beaucoup » n'a rien d'anormal ; si l'on en était à essayer des calculs, c'est que la machine était en voie d'achèvement. C'est le seul témoignage que j'ai pu recueillir chez Logabax, Angelle étant introuvable et les archives ayant disparu ; il n'est pas très fiable, Becker ne travaillant pas sur ce projet mais dans les machines mécaniques classiques (« plusieurs milliers de tubes », c'est beaucoup plus qu'envisagé en 1949 : le projet a-t-il débordé ?). La commission technique chargée de suivre la construction de la « machine IBP » est composée de Couffignal, Darmois, Outhier (Logabax), Angelle (Logabax), Pérès, Brillouin. Ce dernier est le seul à connaître vraiment les réalisations américaines, mais il émigre aux États-Unis dès 1948.

fabrication des machines est désormais confiée à une autre filiale française d'Électrobel : Barriquand et Marre. Le calculateur du CNRS passe à la trappe.

COLLOQUES INTERNATIONAUX DU C. N. R. S.
INSTITUT BLAISE PASCAL

COLLOQUE INTERNATIONAL

“LES MACHINES A CALCULER
ET LA PENSÉE HUMAINE”

PARIS 8 AU 13 JANVIER 1951

PREMIÈRE SECTION

PROGRÈS RÉCENTS DANS LA TECHNIQUE DES GROSSES MACHINES A CALCULER

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE MONSIEUR LOUIS DE BROGLIE,
Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Secrétaire de la Section : M. P. GERMAIN.

LUNDI 8 JANVIER à 9 h 15

au Centre National de Documentation Pédagogique.

Ouverture du Colloque : M. G. Dupouy.

Présentation des travaux de la section : M. Louis de Broglie.

Report on Mark II, Mark III, Mark IV : H. H. Aiken.

A magnetic Automatic Calculating Machine : A. D. Booth.

La machine Zuse de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich et son application
à un problème d'intégration : E. Stiefel.

Development of Electronical Digital Computers at the National Bureau of
Standards : E. W. Cannon.

The Pilot. Model of the National Physical Laboratory Digital Computer (A. C. E.):
F. M. Colebrook.

Figure 9. Programme du colloque *Les Machines à calculer et la pensée humaine* (1951)

Sur fond d'un portrait de Blaise Pascal, les vedettes de cette grande manifestation internationale sont les laboratoires européens et américains qui ont mis de gros calculateurs numériques en service opérationnel – notamment ceux qui figurent dans le tableau 1. L'ensemble des exposés offre au public français un état de l'art d'une grande valeur pour l'époque. Principale originalité de ce congrès, une session entière est consacrée à la réflexion « cybernétique » sur les analogies entre la pensée humaine et le traitement de l'information dans les machines. Les actes du colloque, une somme impressionnante pour l'époque, seront diffusés à un millier d'exemplaires au cours des années cinquante – le CNRS a pris soin de faire traduire les communications étrangères en français, mais sans résumés en anglais, ce qui en limite l'audience. Le colloque de Paris, notable opération à l'échelle du milieu scientifique, ne touche nullement le grand public. C'est à peine si la presse généraliste le mentionne¹⁰⁸.

¹⁰⁸ Rappelons qu'à l'époque, même *Le Monde* n'avait pas de rubrique scientifique ! Dans son numéro du 14 janvier 1951 on peut lire, entre la colonne Hippisme et les programmes de radio-TV, un entrefilet intitulé « Après le Congrès de Cybernétique : Le cerveau humain conserve sa prédominance ». L'article, qui présente brièvement la cybernétique, ne transmet guère que ce poncif (repris dix jours après dans un pessimiste billet d'Y. Florenne) et ne mentionne pas la recommandation de l'Italien M. Picone d'initier les ingénieurs aux méthodes modernes de calcul.

Six ans après la création du laboratoire de calcul mécanique, le projet Couffignal se solde ainsi par un flagrant échec. Aujourd'hui largement oublié, ce ratage a des conséquences durables. La plus directe est le gâchis des efforts fournis par l'équipe Couffignal et par Logabax : des années de recherche-développement, plusieurs millions de francs engloutis à l'époque où la France souffre de pénuries dramatiques. Gâchis d'autant plus complet qu'aucune leçon ne semble avoir été tirée de l'échec lui-même.

D'une part, aucun bilan critique n'est dressé du projet Couffignal, qui permettrait d'en tirer malgré tout quelques enseignements : pour faire un tel bilan, il eût d'abord fallu admettre l'échec et remettre en question des réputations établies. Couffignal est maintenu en fonction par Pérès, auquel Dupouy fait toute confiance¹⁰⁹.

108

D'autre part, la réalisation de la machine, même inachevée, a été l'occasion de former quelques personnes à la conception de mémoires et de circuits électroniques numériques. S'il avait été maintenu, ce groupe aurait pu être utilisé pour un nouveau projet, au CNRS ou ailleurs. Or il va se disperser : Angelle, de Logabax, part pour Le matériel téléphonique¹¹⁰ ; Pierre Germain, qui avait conçu la « mémoire vive » de la machine de Couffignal, réalise un calculateur analogique, sujet de sa thèse, et part en 1955 au CERN où il fera une belle carrière¹¹¹.

Couffignal ne baisse pas les bras et cherche des solutions de rechange. Rien n'empêche le CNRS de récupérer l'équipe Logabax et le gros calculateur en cours de construction pour achever le travail. Les brevets concernant la machine de Couffignal appartiennent à une « Société civile d'études de calcul automatique », qui assurerait au CNRS une participation aux revenus éventuels. C'est vraisemblablement dans cette perspective que la direction du CNRS propose le marché à des firmes plus solides que Logabax : Bull, la SEA. En vain : ni l'une ni l'autre ne donnera suite¹¹². F.-H. Raymond, directeur

109 Le Comité de direction de l'IBP est composé en 1951 de : L. Couffignal, G. Darmois (IHP), A. Lichnérowicz, L. Malavard, M. Parodi (CNAM), J. Pérès, M. Roy (directeur de l'ONERA).

110 Il a été impossible de retrouver la trace d'Angelle.

111 A. Hermann, J. Krige, U. Mersits & D. Pestre, *History of CERN*, Amsterdam, North Holland 1990, vol. II (chap. « Who's Who in the History of CERN »). Pierre Germain a publié sur les cristaux piézoélectriques et la mesure des sons, puis étudié différents types de calculateurs : analyseur de Fourier électronique (dont certains éléments sont communs avec la machine de Couffignal), cuve rhéologique, etc. Parallèlement, une mémoire à enregistrement magnétique avait été étudiée par un ingénieur mécanicien, Ley, et un Allemand, le Dr.-Ing. Schuch, alors en fin d'engagement au laboratoire d'infrarouge de M. Lallemand à Meudon (donc dans la mouvance d'Yves Rocard).

112 Rapport à l'appui d'une demande d'autorisation en vue d'un emprunt obligataire, remis par Bull au ministère des Finances en juillet 1953, Archives du ministère de l'Industrie, Arch. nat. 77/1524/168.

de la SEA, se souvient d'avoir plutôt mal reçu la demande de construire « la machine de Couffignal », formulée par l'autoritaire directeur du CNRS, Gaston Dupouy, que par ailleurs il n'estime pas. S'il est peu vraisemblable que la demande ait été formulée en ces termes (Dupouy a sans doute exigé que la SEA mette une étiquette « machine IBP » sur un des ordinateurs qu'elle développait), l'industriel exprime nettement son refus de cautionner le déni d'échec du CNRS¹¹³.

Une solution se profile début 1954. On n'en connaît le cheminement qu'à travers un bref article publié par Couffignal. Son argument essentiel est que, désormais, les grandes machines arithmétiques l'emportent sur les appareils analogiques du point de vue de la rentabilité des travaux de calcul. Couffignal présente encore les calculateurs arithmétiques à travers un schéma élémentaire... de machine à programme externe, caractéristique des architectures de Zuse ou d'Aiken auxquelles il fait référence. Mais le changement décisif vient des progrès techniques : avec des mémoires à enregistrement magnétique et une construction industrielle en éléments enfichables, la firme anglaise Elliott, par exemple, a pu terminer récemment un prototype Elliott 401 au prix de 30 000 £, soit la moitié du prix des machines équivalentes proposées en France et 40 % de moins que les machines américaines¹¹⁴. En conclusion, Couffignal recommande de miser à fond sur l'interaction entre les progrès des grandes machines arithmétiques, type Elliott, et les progrès résultant du développement d'une discipline mathématique presque nouvelle, l'analyse numérique, qui « se répercuteront rapidement et avec une grande efficacité dans tous les domaines où s'exerce l'art de l'ingénieur » ; et souhaite « que l'industrie française mette à profit la position de pointe où se trouve l'analyse numérique dans notre pays ». Autrement dit, Couffignal ne renonce pas en principe à ses convictions, mais adopte dans la pratique une machine parfaitement von-Neumanienne.

L'affaire est bientôt conclue avec la firme britannique, qui livre début 1955 un ordinateur Elliott 402 à tambour magnétique, installé dans les locaux de l'IBP à l'ONERA. Pourquoi ce choix ? Aux considérations de prix mises en avant par Couffignal, qui ont dû convaincre l'administration (il s'agit de moins de 1 % du budget d'équipement du CNRS), s'ajoute le fait que la firme Elliott est incontestablement un brillant pionnier du calcul électronique, dont les méthodes de programmation viennent en partie de l'équipe de Cambridge. De

113 Entretien avec F.-H. Raymond (1987).

114 L. Couffignal, « Les machines à calculer modernes au service de l'art de l'ingénieur », *Technica*, juin 1954, n° 173, p. 3-6. Par comparaison, une CAB 2022 SEA vaut environ 40 MaF en 1955.

plus, elle est représentée à Paris par Outhier, ami personnel de Couffignal et... ancien dirigeant de Logabax !

Quelques techniciens de l'IBP et des utilisateurs traversent la Manche pour suivre un stage de programmation de deux mois chez Elliott et, rentrés à Châtillon, initient le reste du personnel. Dans cette technologie de pointe s'affirme nettement la « supériorité de l'Angleterre sur la France », pour reprendre le titre provoquant de Fr. Crouzet. L'IBP est finalement l'un des premiers établissements français à mettre un ordinateur au service de la recherche et de l'industrie, mais le génie scientifique national n'y est pour rien.

110

Le service de calcul a continué de fonctionner parallèlement avec ses machines électromécaniques, pour les laboratoires de physique ou de chimie du CNRS comme pour des clients extérieurs : Citroën, PTT, Gaz de France. Il produit régulièrement des articles de mathématiques appliquées. Deux jeunes chercheurs se forment à l'analyse numérique et passent leurs thèses sous la direction de Couffignal : Geneviève Coulmy, recrutée en 1949 à l'IBP, et qui passera plus tard au laboratoire Malavard. Jean Peltier, qui met au point des méthodes pour répondre aux demandes de calculs des laboratoires clients, notamment en optique, puis part pour la Cie française de raffinage diriger l'exploitation d'un IBM 650 en recherche opérationnelle. Tous deux rappellent le talent pédagogique de Couffignal et regrettent, comme F.-H. Raymond, qu'il ne se soit pas recentré sur l'enseignement de l'analyse numérique¹¹⁵.

Couffignal m'a appris beaucoup sur les équations linéaires, il m'a donné les bases fondamentales qui m'ont préparé à l'informatique. [...] Je n'étais pas programmeur, mais l'IBP m'y avait bien préparé : une bonne formation mathématique, logique, est plus utile que d'"apprendre l'informatique". [...] Mineur aussi, à l'Institut d'astrophysique, aurait pu faire de grandes choses¹¹⁶.

Couffignal crée d'ailleurs chez Gauthier-Villars, grand éditeur de livres mathématiques, une collection de manuels de calculs techniques consacrée aux « *mathématiques utilisables*, dont la partie la plus abstraite est l'analyse numérique » ; il y publie seulement trois ouvrages, le sien et ceux de ses deux élèves¹¹⁷. Mais l'élan est brisé, le centre de calcul du CNRS désormais éclipsé par ceux des entreprises privées et des universités de Grenoble et de Toulouse.

115 Entretien avec F.-H. Raymond, 1992.

116 Entretien avec J. Peltier, avril 1987. H. Mineur est mort en 1954, à 54 ans.

117 L. Couffignal, *Résolution numérique des systèmes d'équations linéaires*, Paris, Gauthier-Villars, 1950. J. Peltier, *Résolution numérique des équations algébriques*, Paris, Gauthier-Villars, 1957. G. Coulmy, *Exploitation des relevés expérimentaux*, Paris, Gauthier-Villars, 1962.

En 1955, siégeant au Comité de l'énergie atomique qui décide d'acheter pour le CEA un ordinateur Ferranti Mercury fabriqué à Manchester, Dupouy regrette « que la France, qui possède d'excellents chercheurs dans ce domaine [le calcul électronique], n'ait jusqu'ici pas réussi à produire de machines soutenant la concurrence internationale, par suite de la mésentente des chercheurs »¹¹⁸. Cette remarque, inscrite au procès-verbal alors qu'elle ne présente pas d'intérêt direct pour les décisions du CEA, indique au moins l'une des raisons du soutien continu de Dupouy à Couffignal : quatre ans après l'échec de la machine IBP, il ne met pas en doute l'excellence du projet de « machine IBP ». À tel point qu'il le relance ! L'Institut Blaise Pascal obtient de la direction du CNRS qu'un crédit « important » soit prévu, au titre du III^e Plan, « pour la réalisation d'une seconde machine donnant encore plus de possibilités, ce qui est nécessaire »¹¹⁹, parallèlement à l'achat de l'Elliott 402. Ce nouveau projet est bientôt abandonné : les premiers ordinateurs commerciaux deviennent disponibles en France. Couffignal semble renoncer à tout projet de machine pour se consacrer à une réflexion « cybernétique » de plus en plus marginale, tandis qu'une nouvelle communauté française des mathématiques appliquées se constitue sans lui. Il sera écarté du CNRS à partir de 1957 par le nouveau directeur du CNRS, Jean Coulomb.

La machine de Couffignal, longtemps oubliée, est devenue un fantôme qui hante l'histoire de l'informatique française. On peut considérer cette mésaventure de deux points de vue, conceptuel et managérial. Un savant tel

¹¹⁸ Comité de l'énergie atomique, séance du 7 juillet 1955. Gaston Dupouy fait vraisemblablement allusion au refus de F.-H. Raymond de construire la « machine IBP ». La capacité d'influence de Couffignal est attestée par un incident : en 1954, les Presses Universitaires de France publient un « Que-sais-je ? » sur *La Cybernétique*, écrit par un statisticien, G.-Th. Guilbaud (ENS 1931) ; or, dans les éditions suivantes, l'auteur du « Que-sais-je ? » n'est plus Guilbaud mais Couffignal. Évincer un auteur dans une grande maison d'édition n'est pas à la portée de n'importe qui ! D'autant que le livre de Guilbaud est nettement meilleur que celui de Couffignal.

¹¹⁹ G. Champetier et M. Schwob, *Rapport général de la Commission de la recherche scientifique et technique du Plan*, novembre 1954 (Arch. nat. 80-0284/105 et RE 130/30-560-2). Dans le cadre de la préparation du II^e Plan de modernisation et d'équipement, le CNRS avait demandé et le Plan semble avoir prévu des crédits pour deux calculatrices électroniques destinées au LCM : 130 MF pour la machine de Couffignal (« Une Société puissante accepte de se charger de la construction de l'ensemble pour une somme forfaitaire de 130 millions » signale une note IBP/Plan/Achat de deux machines à calculer électroniques, Arch. nat. 80-0284/104) ; et 150 MaF pour « la réalisation d'une deuxième machine universelle ». Cette dernière somme, si elle a été notifiée, a dû couvrir amplement l'achat de l'Elliot 402. Sur les deux calculatrices prévues au II^e Plan, une seule est donc finalement achetée. Un peu plus tard, la commission Laugier propose, pour l'IBP, 168 MaF répartis sur trois ans (1954, 1955 et 1956), destinés à acheter du matériel scientifique (chap. 66-10, art. 3) ; c'est la valeur de deux ordinateurs SEA ou Bull de 1956. Le refus de Raymond de collaborer avec Couffignal n'empêche pas Dupouy d'acheter en 1957 un calculateur analogique SEA pour son Institut d'optique électronique à Toulouse.

Couffignal a beau occuper une position forte au cœur d'une institution comme le CNRS, bénéficiaire d'appuis scientifiques et politiques solides, choisir un objet de recherche situé à un « point de passage obligé » pour la communauté scientifique – c'est le cas du calcul : s'il ne saisit pas certaines notions proprement scientifiques, s'il se trompe, non dans ses stratégies sociales, mais sur le plan intellectuel, il finit par échouer¹²⁰. L'échec sera d'autant plus criant qu'il se situera précisément dans un « point de passage obligé », et qu'il aura bloqué des projets concurrents. C'est en effet parce que Couffignal était enfermé dans son projet qu'il n'a pu collaborer avec la SEA. Dans la même configuration sociale et institutionnelle, Couffignal étant informé des projets d'ordinateurs anglais et américains, il lui aurait suffi d'une minute d'illumination pour modifier le sien et aboutir à une machine viable.

112

Cependant, construire un calculateur à programme externe, une machine de Babbage, n'était pas une voie absurde à la fin des années 1940. Aiken à Harvard, Zuse en Allemagne ont réalisé des machines de ce type qui ont bien servi avant que les ordinateurs de von Neumann ne s'imposent. Qu'elles aient été des impasses techniques n'était pas évident à l'époque, sauf aux yeux des quelques ingénieurs convertis par le rapport von Neumann. Elles ne l'étaient d'ailleurs pas vraiment : beaucoup de petits calculateurs commercialisés dans les années 1970, notamment par Hewlett-Packard, étaient à programme externe.

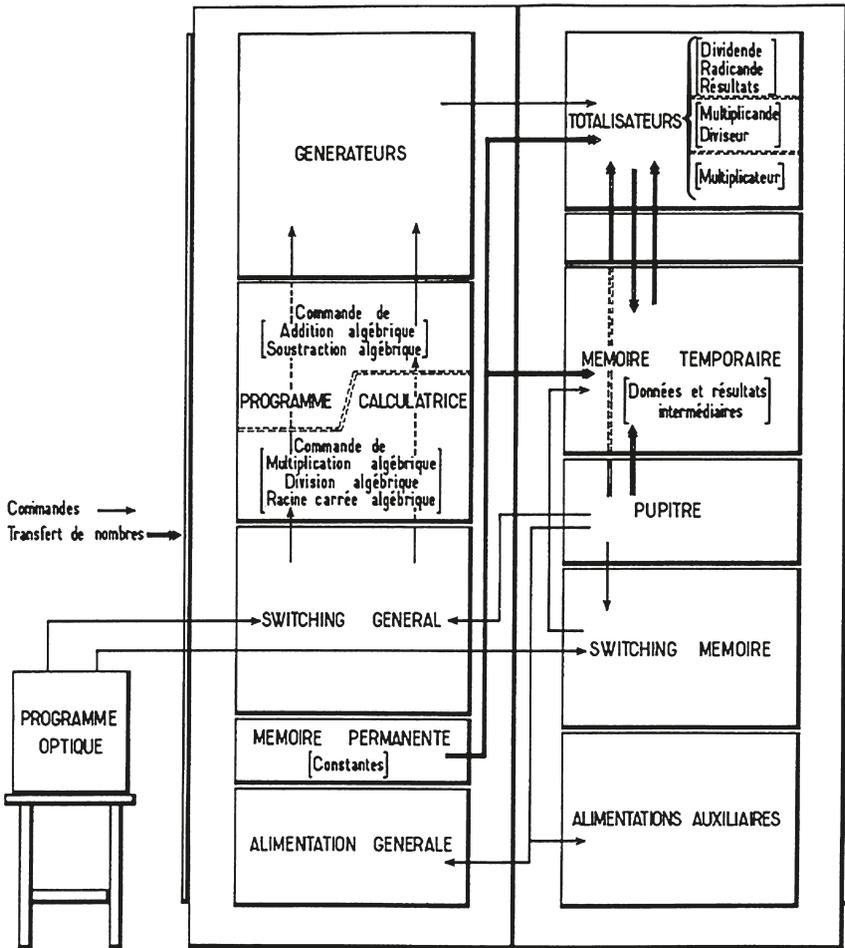
Ce qui a vraiment vicié dès l'origine l'entreprise Couffignal est la déplorable gestion du projet. N'ayant un responsable qu'à temps très partiel et un partenaire industriel vacillant qui avait tout à apprendre en électronique, le projet a traîné pendant 4 ans avant de sombrer, tandis que Couffignal écrivait des livres sur la Cybernétique et *Les Machines à penser*. Mieux encadré avec un directeur à plein temps et un comité vigilant, il aurait vraisemblablement abouti, comme beaucoup d'autres à l'époque, à un calculateur crachotant d'où l'on aurait tiré les leçons pour en réaliser un plus efficace – c'est ce qui s'est passé à Amsterdam, à Harvard, en Scandinavie et en France même, à la SEA dont la première machine digitale, le fizeaugraphe (1950) était à programme externe. C'est la qualité de la gestion de projet qui permet de mobiliser les ressources, cognitives et matérielles (y compris en profitant, comme le recommandait Brillouin, de « la cordialité de l'accueil » des Américains pour envoyer de jeunes chercheurs travailler avec eux, ce que le CNRS n'a pas fait) et de réorienter un développement mal parti. La technique, c'est le management de la technique, et l'on aura dans les chapitres et les volumes suivants maintes occasions de tester cette assertion. Couffignal

¹²⁰ C'est l'argumentaire essentiel de l'article de G. Ramunni, « La non-construction du premier calculateur électronique au CNRS », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 4.

apparaît comme un cybernéticien qui n'a pas su organiser le *feed-back* entre l'évolution de la technique, ses conceptions architecturales et la conduite générale de son projet.

L'histoire de la machine de Couffignal éclaire l'origine de certains problèmes rencontrés ensuite par la recherche française en calcul. La gestion amateuriste du développement a entaché l'image de la discipline. Le manque d'ordinateurs jusqu'en 1955 au CNRS et dans l'enseignement supérieur a retardé la formation de spécialistes. L'échec de la machine a sans doute dissuadé bien des personnes d'investir du temps et des moyens matériels dans ce domaine, jugé dès lors à haut risque. On peut faire remonter à cet épisode le faible développement de l'architecture de machines en France – notons que le CNRS, pendant les dix années suivantes, ne prendra aucun brevet de dispositifs de calcul numérique. Enfin, l'échec de Couffignal est aussi celui de la collaboration entre le CNRS et l'entreprise Logabax. Il n'a pu que creuser le fossé d'incompréhension ou de méfiance entre la science et l'industrie, entre la recherche fondamentale et la recherche technique.

Soixante ans après, avec le recul de l'histoire, il est facile de porter ce jugement. Couffignal n'est pas le seul, dans l'histoire de l'informatique, à s'être engagé dans une impasse. Ce qui est particulier à la France, c'est qu'après 1951, le CNRS n'a pas tiré les conséquences de l'échec et a attendu six ans pour prendre des mesures. Au-delà d'un cas individuel, cette inertie met en cause les mécanismes d'évaluation et d'orientation du CNRS de l'époque, où les laboratoires propres étaient de véritables fiefs, relativement fermés vis-à-vis de l'université comme de l'industrie.



MACHINE A CALCULER ELECTRONIQUE DE L'INSTITUT BLAISE PASCAL

Figure 10. Architecture de la « machine de Couffignal » :
un calculateur parallèle programmable (1948)

Les programmes sont inscrits sur une mémoire externe faite d'un film de cinéma, lecture par cellule photo-électrique. La mémoire permanente devait être un tambour magnétique. On estimait que, pour une capacité de 15 chiffres décimaux, la calculatrice complète contiendrait environ 500 tubes 12AU7, 250 tubes néon et 50 tubes de commande¹²¹ (archives de l'IBP).

¹²¹ L. Couffignal, « La machine de l'Institut Blaise Pascal », dans M.V. Wilkes (dir.), *Report of a Conference on High Speed Automatic Calculating Machines*, Cambridge [1949], rééd. Cambridge, 1977, p. 56-66. Ce papier, illustré de schémas et de photos, donne une description technique détaillée de la machine. Curieusement, Couffignal signale en réponse à une question que la mémoire interne peut stocker des instructions traitées comme des données.

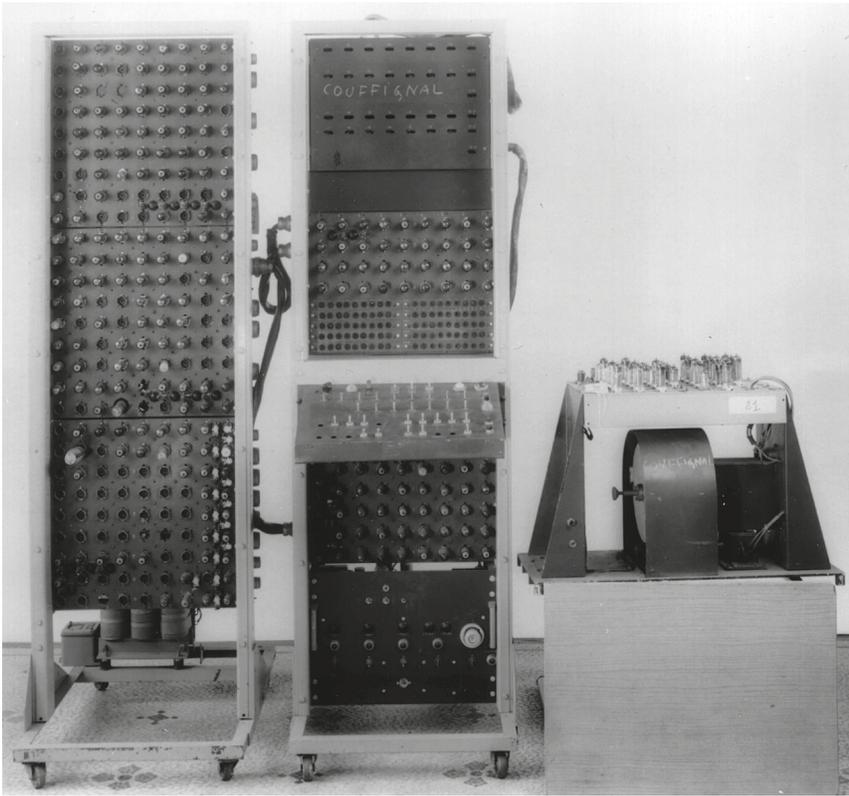


Figure 11. Calculateur électronique de Couffignal (machine IBP, 1950)

Une telle maquette de laboratoire était couramment appelée « machine-pilote ». Rien ne subsiste de la grande « machine définitive », en construction en 1951, qui a disparu quand Logabax a déposé son bilan (photo musée des Arts & Métiers).

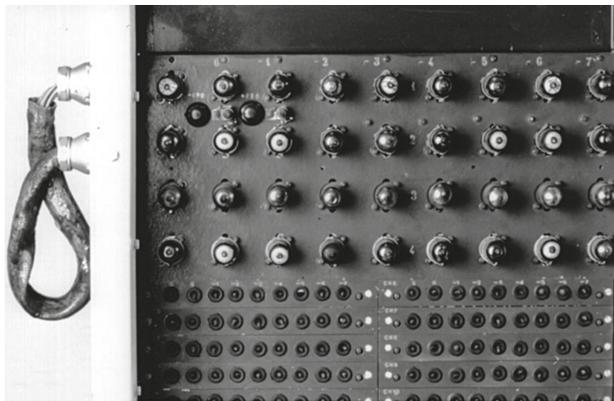


Figure 12. Mémoire rapide de la machine de Couffignal (1950)

La mémoire rapide de la machine de Couffignal, servant à stocker les résultats intermédiaires des calculs, est faite de diodes à gaz, surmontées de leurs tubes de commande. Plus rapide ($1\mu\text{s}$), mais moins fiable que les « tubes de Williams » inventés à Manchester, elle peut revendiquer avec ceux-ci le titre de première mémoire matricielle (photo Musée national des Arts et Métiers).

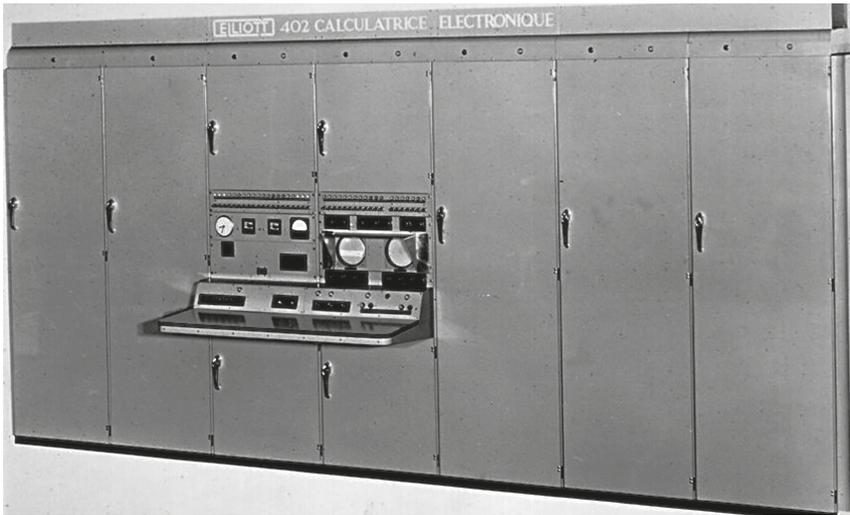


Figure 13. Elliott 402 livré en 1955 au CNRS-IBP (Photo ICL)

116

C'est l'un des tout premiers ordinateurs installés en France. L'inscription *Calculatrice électronique* en français est une gracieuseté commerciale de la part du constructeur britannique. L'Elliott 402 est une « petite » calculatrice à tambour magnétique (5 000 mots de 32 chiffres binaires), avec une mémoire de travail de 17 lignes à retard au nickel d'un mot chacune et une unité de bandes magnétiques pour stocker les programmes. Conçue pour le calcul scientifique, avec une cinquantaine de sous-programmes mathématiques inspirés des méthodes de Cambridge, elle est assez rapide pour l'époque (addition en 200 μ s, multiplication en 3300 μ s) et a passé les tests imposés par Couffignal, notamment une inversion de matrice. Prix d'achat : £ 27 000. La machine télex à ruban perforé qui sert d'entrée-sortie ne figure pas sur la photo.

Elle reste cependant « diabolique à programmer » selon l'un de ses derniers utilisateurs : cette machine « ne communiquait avec l'extérieur que par rubans perforés et selon des codes différents pour l'entrée et pour la sortie, si bien que nous étions obligés d'employer un "traducteur" à manivelle ! » (entretien avec L. Nolin, 1986). L'astrophysicien Roger Cayrel, dont la thèse nécessitait de lourds calculs, en garde lui aussi un mauvais souvenir. Formé à l'utilisation de l'IBM 650 de la place Vendôme en 1956, il est ensuite orienté vers l'Elliott 402 de l'IBP : « D'abord elle était placée dans un endroit d'accès difficile (l'ONERA à Châtillon), ensuite les entrées étaient sur ruban perforé au lieu de cartes, enfin les performances [étaient] médiocres avec une mémoire vive des plus réduites. J'ai écrit un programme d'analyse semblable à celui dont on disposait sur l'IBM 650, imprimant le contenu des mémoires opérandes, instruction après instruction dans le déroulement du programme. Pour que les divisions soient justes, il fallait que l'adresse du dividende soit en relation avec l'adresse de l'instruction ou du diviseur, je ne me rappelle plus. Un vrai cauchemar pour écrire un programme d'analyse ! Presque personne ne se servait de cette machine ». Ce désintérêt est confirmé par un rapport administratif qui l'explique aussi par le manque de personnels techniques au CNRS¹²². L'exploitation n'atteint son plein régime qu'en 1957, avec l'intégration de calculateurs venus de l'Institut Henri Poincaré et formés à la programmation.

Dix 402 seulement sont construits par Elliott, qui se fonda plus tard dans ICL. Il est possible qu'en acquérant le premier exemplaire fabriqué, le CNRS ait « essayé les plâtres ». La firme allemande d'optique Leitz, qui achète en 1958 un Elliott 402F (F pour virgule flottante) en remplacement d'un Zuse Z5, l'utilisera jusqu'en 1970.

¹²² Rapport G. Lemerle sur le fonctionnement du CNRS et sur son personnel, mars 1958 (Arch. nat. 80-0284/107).

D. L'INSTITUT D'OPTIQUE

L'Institut d'optique, créé pendant la Grande Guerre pour améliorer l'équipement militaire en instruments optiques, avait été rattaché après l'Armistice à la faculté des sciences de Paris et s'était installé boulevard Pasteur, sous la direction du physicien Charles Fabry. Dans son domaine, il faisait un peu figure de CNRS avant la lettre : l'Institut d'optique employait une cinquantaine de permanents, publiait une revue, recevait des crédits de divers ministères et de l'industrie, comportait des commissions d'évaluation spécialisées¹²³.

Après la Libération, l'Institut d'optique reconstitue un petit bureau de calcul avec l'aide du CNRS et de la Fondation Rockefeller. Mais cette solution traditionnelle ne suffit plus aux besoins de la recherche en optique. Un jeune assistant, André Maréchal, conçoit un intégrateur mécanique permettant de calculer des intégrations complexes (intégrales de la diffraction en présence d'aberrations)¹²⁴. L'intégrateur fonctionne de manière satisfaisante pour le laboratoire et permet notamment à Maréchal de venir à bout de sa thèse, soutenue en 1947.

Comme dans de nombreux laboratoires à travers le monde, cette machine ne fait que rendre les scientifiques plus conscients de leurs besoins en grands équipements de calcul. Cette situation est clairement décrite dans le programme rédigé en 1950 par la direction de l'Institut d'optique, à la demande du CNRS : le chef du bureau de calcul, G. Penciolelli, « considère dès 1948, avec M. Maréchal, les grandes possibilités des machines à calculer rapides »¹²⁵. Cela intéresse non seulement l'Institut d'optique, mais toute la recherche française en Optique, dont les travaux sont gravement handicapés par la pénurie de moyens de calcul.

Maréchal a donc élaboré une version électronique de sa machine à calculer. Il a pris contact avec la Société d'électronique et d'automatisme, qui vient de se fonder précisément pour réaliser ce genre d'appareil ; la SEA pourrait construire la machine en moins d'un an (optimisme fréquent parmi les premiers constructeurs d'ordinateurs...).

Des crédits sont demandés à cette fin au CNRS dont le nouveau directeur, G. Dupouy, l'un des fondateurs de l'optique électronique en France, a invité les laboratoires à présenter des suggestions pour établir le II^e Plan quinquennal. Le rapport de l'Institut d'optique stigmatise le grave retard de la recherche française

¹²³ Voir A. de Gramont, « L'Institut d'optique depuis sa fondation » et P. Fleury, « Recherches poursuivies depuis 1940 à l'Institut d'optique », *Revue d'optique instrumentale et industrielle*, 1946, n° 25 ; M. Williams, *The Precision Makers*, London, Routledge, 1994 ; et G. Ramunni, « La non-construction du premier calculateur électronique au CNRS », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989-4.

¹²⁴ Cet intégrateur, réalisé à l'Institut d'optique par André Bayle (qui fondera ensuite son entreprise, REOSC), est décrit dans A. Maréchal, « Étude des effets combinés de la diffraction et des aberrations géométriques sur l'image d'un point lumineux », *Revue d'optique*, février 1948 (une photo du calculateur figure p. 80).

¹²⁵ P. Fleury, « Recherches poursuivies à l'Institut d'optique », art. cit.

en optique, dont les développements sont beaucoup plus lents qu'à l'étranger, « y compris dans les pays peu avancés » : maints travaux restent à l'état d'essais préliminaires, faute de moyens matériels. Le calcul de combinaisons optiques nouvelles, l'évaluation de leurs aberrations résiduelles « recevront une impulsion considérable par l'emploi de machines électroniques. Un projet établi depuis trois ans déjà par M. Maréchal n'a pas encore été réalisé, faute de crédits ; des négociations sont en cours. » L'institut réclame, pour les cinq ans à venir, 120 MaF d'équipement dont 26,2 MaF destinés au calcul, deux techniciens pour faire fonctionner en permanence l'intégrateur de Maréchal, ainsi que des électroniciens¹²⁶.

118

Ces demandes sont relayées par la commission d'optique et de physique moléculaire du CNRS : l'ensemble des facultés des sciences (Paris + Province) a besoin de 36 MaF pour acheter des appareils spéciaux pour le calcul des opérations et des combinaisons optiques, et de 18 MaF pour construire « une machine électrique pour le calcul des couches multiples et l'altération des surfaces »¹²⁷.

Mais le CNRS, accaparé semble-t-il par le projet Couffignal, ne donne pas suite. C'est finalement grâce à des fonds privés « et à l'appui de plusieurs grands services de l'État » que l'Institut d'optique acquerra un calculateur IBM « électromagnétique à cartes perforées, moins rapide que les machines électroniques »¹²⁸.

Cela ne suffit pas, et au milieu des années 1950 l'Institut d'optique réclame des moyens supplémentaire dans le cadre de la préparation du III^e Plan : le service de calcul des combinaisons optiques – l'une des quinze unités de l'institut – demande 15 MaF d'équipement, 2 MaF de crédits de fonctionnement et 8 agents dont 4 ingénieurs¹²⁹. Simultanément, de nouveaux thésards, M. Françon et R. Prat, développent à leur tour des intégrateurs électroniques.

À la même époque, le laboratoire de Zeiss, à Iéna (Allemagne de l'Est) et celui de Fuji Photo Film Co., au Japon, ont construit chacun un petit ordinateur pour traiter leurs calculs d'optique.

¹²⁶ Lettre-rapport au directeur du CNRS, 30 octobre 1950, Arch. nat. 80/0284/102. L'Institut d'optique demande 6 machines à calculer manuelles (240 kF), 2 électriques (260 kF), 1 grande machine électrique (480 kF), un intégrateur pour le calcul des distributions d'éclairement (1 MaF), une machine électrique pour le calcul des couches multiples « dont le principe a été donné par F. Abelès » (1, 5 MaF) (annexe II bis du rapport).

¹²⁷ Groupe 3/Section 1 du Comité national, demandes d'équipements pour toutes les facultés des sciences (Paris + Province), 1950, II^e Plan quinquennal, 1951, Arch. nat. 80/0284/102.

¹²⁸ P. Fleury, « Recherches poursuivies à l'Institut d'optique », art. cit. Il s'agit d'un IBM *Card Programmed Calculator*.

¹²⁹ Note de l'Institut d'optique au président du CSRSPT sur la préparation du III^e Plan, 12 juillet 1956 (Arch. nat. RE 130/11-257). L'auteur de la note rappelle que l'Institut d'optique a acquis depuis 1946, grâce à l'appui du CNRS, divers appareils scientifiques dont la valeur d'achat équivaut à 40 MaF.

E. LE LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS

Au début du xx^e siècle, les États-Unis, l'Allemagne, l'Angleterre, ont créé de grands laboratoires de physique et de mathématiques appliquées, répondant notamment aux besoins de l'industrie en métrologie : National Bureau of Standards (NBS), Physikalisch-Technische Reichsanstalt, National Physical Laboratory (NPL). De tels établissements, outre leur utilité pratique immédiate (étalonnage des instruments, par exemple), présentent un double intérêt pour l'industrie et la recherche. D'une part, ils permettent de participer à la définition des normes, des standards, dont le caractère stratégique est évident : ces institutions sont implicitement des organes de politique industrielle. D'autre part, leur activité de recherche aboutit assez naturellement à inventer ou à perfectionner des instruments de mesure, notamment en électricité, donc à créer avec l'industrie de nouveaux produits. Ces organismes construiront après la seconde guerre mondiale certains des tout premiers ordinateurs du monde (SEAC, SWAC, ACE-Pilot), le NBS fondant dès 1947 à Washington un Institut d'analyse numérique.

Or, en France – patrie du système métrique et siège du Bureau international des poids et mesures ! – ce type d'établissement ne se développe pas, malgré les demandes répétées de certains responsables scientifiques et politiques depuis 1901¹³⁰. Le laboratoire national d'essais, dépendant du CNAM, aurait vocation à jouer un tel rôle. Mais il reste anémique jusqu'en 1936. À cette date son nouveau directeur, Georges-Albert Boutry, lui donne une vigoureuse impulsion, hélas éphémère. Après la Libération, « des dogmes administratifs rigides font que le laboratoire est empêché de renouveler son outillage en temps opportun et que le personnel est mal payé. Le laboratoire (140 personnes en 1947) se dépeuple et des postes essentiels restent vacants. [...] Dans le même temps, l'activité

¹³⁰ Ce manque d'un grand laboratoire de métrologie et d'essai est vite devenu un marqueur du retard français, au point d'être stigmatisé dans un roman policier de Gaston Leroux, *Rouletabille chez Krupp*, Paris, Laffite, 1917 ! En 1934, un rapport sur l'organisation d'un laboratoire national, constatant l'impossibilité de le créer de toutes pièces, suggère de rechercher plutôt une collaboration et une coordination des laboratoires existant, « dont la fonction principale est de s'occuper d'études directement utiles à l'industrie, dans le domaine de la Physique générale, de l'Électricité, de la Mécanique, de l'Optique ». Peuvent servir de modèle le laboratoire central d'électricité « et les laboratoires étrangers (NPL, Bureau of Standards, Reichsanstalt) qui, chargés du dépôt des étalons de mesure, ont développé sur cette base des recherches en métrologie – activité qui, en France, relèverait du CNAM, à condition de dépasser l'utilité immédiate visée par le laboratoire national d'essais ». Un Bureau national des laboratoires chapeauterait donc le laboratoire central d'électricité, le laboratoire national de Radioélectricité, l'Institut d'optique, le laboratoire des Hautes températures de la faculté des sciences de Paris et le laboratoire national d'essais du CNAM (Arch. nat. AJ/16/5775). On peut rapprocher le faible développement du LNE avec le déficit chronique de l'instrumentation scientifique française, dont témoignent les rapports de Maurice Ponte au Commissariat du Plan et au CSRSPT dans les années cinquante, et les importations massives d'appareils de mesure américains notamment pour le Commissariat à l'énergie atomique.

qu'on demande au laboratoire s'accroît »¹³¹. Boutry ne parvient pas à obtenir du ministre l'autonomie de gestion pour le LNE, et démissionne en 1948.

Le LNE retombe en léthargie... au moment où ses équivalents étrangers se mettent à construire des ordinateurs. La cause profonde de cette carence nationale nous semble être, d'une part l'immobilisme du CNAM qui ne sait ni donner au LNE les moyens de son développement, ni s'en séparer ; d'autre part, la vieille rivalité entre trois institutions : le laboratoire national d'essais, le laboratoire central d'électricité et le laboratoire central de l'Armement (très actif en métrologie, notamment pour la balistique et la mécanique industrielle). Boutry aurait eu les capacités de diriger la construction d'un calculateur, étant lui-même un spécialiste des tubes électroniques et un organisateur énergique. Il fonde ensuite une société de recherche privée, les laboratoires d'électronique et de physique, qui travaillera pour les filiales françaises du groupe Philips (ses tubes photomultiplicateurs à usage nucléaire seront un succès industriel ; le LEP dépose plusieurs brevets de dispositifs de calcul électronique à la fin des années cinquante). S'intéressant au traitement de l'information scientifique, Boutry présidera au cours des années soixante le comité « Documentation » de la DGRST, où il se consacrera notamment à l'automatisation des bases de données.

120

F. L'OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Selon la constante de Von Neumann, tout projet d'ordinateur met 18 mois de plus que prévu pour aboutir. Selon la loi de Hartree – pionnier britannique de l'emploi des grands calculateurs – quel que soit l'état d'un projet, le temps que son responsable estime nécessaire pour le terminer est constant ; tout travail prend deux fois plus de temps qu'on pouvait raisonnablement le penser. À l'époque même où ces constats sont formulés, l'ONERA s'apprête à les dépasser de plusieurs ordres de grandeur.

L'Office national d'études et de recherches aéronautiques, créé par une loi du 3 mai 1946, placé sous l'autorité du ministre de l'Armement, est chargé « d'effectuer ou de faire effectuer, soit de sa propre initiative, soit à la demande des services publics ou des Entreprises privées, des études et des recherches

¹³¹ F. Miserey, « Boutry, Georges-Albert (1904-1983), professeur de Physique appliquée aux industries du vide et de l'électronique », dans Cl. Fontanon et A. Grelon (dir.), *Les Professeurs du CNAM. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, INRP et CNAM, 1994, p. 268. La notice signale que le LNE, de 1902 à 1936, n'avait produit que 16 publications ; ce chiffre passe à 88 sous la direction de Boutry, qui dote le laboratoire d'un équipement parmi les meilleurs au monde. Voir aussi M.-Y. Bernard, *Le Conservatoire national des Arts et Métiers. Vers le XXI^e siècle*, Paris, Eyrolles, 1994 ; C. Fontanon, « Le laboratoire expérimental de mécanique » et M. Himbert, « Deux siècles de métrologie », dans C. Fontanon, M. Le Moël et R. Saint-Paul (dir.), *1794-1994 : Le Conservatoire national des Arts et Métiers au cœur de Paris*, Paris, CNAM et Ville de Paris, 1994.

présentant, pour le progrès de la science aéronautique, un intérêt commun. » Ce faisant, le législateur réagit contre « l'incohérence, la dispersion et trop souvent l'inutilité des recherches scientifiques en matière aéronautique – hérités d'un passé trop récent », selon le premier directeur général, René Jugeau¹³².

L'impulsion de Joseph Pérès et de Lucien Malavard, qui y est chef de division et en deviendra le troisième directeur en 1962, semble déterminante dans la fondation de l'Office. Par ailleurs, l'ONERA est financièrement bien doté, son budget dépassant ceux du CNRS et du CEA en 1947. Il n'est donc pas surprenant que cet organisme soit l'un des premiers en France à investir dans les moyens lourds de calcul. En effet, à côté des instruments de calcul traditionnels (machines de bureau, procédés graphiques), l'ONERA utilise :

- les cuves rhéologiques développées par l'équipe Pérès-Malavard, spécialisées dans divers calculs d'aérodynamique (profils d'ailes ou de turbines pour Dassault, la SNECMA, etc.).
- des machines à cartes perforées Bull qui, à partir de 1948, sont adaptées aux exigences du calcul scientifique en collaboration avec un ingénieur de Bull, P. Chenus¹³³, notamment pour résoudre des problèmes de résistance des structures. Ces machines évoluent en fonction des progrès réalisés chez Bull ; elles se voient renforcées d'un calculateur électronique Gamma 3 vers 1953, d'une mémoire à tambour magnétique en 1957.

Le bureau de calcul emploie des mathématiciens qui développent des méthodes numériques. La thèse de J.-M. Souriau (ENS 1942, ingénieur à l'ONERA jusqu'en 1952) exprime clairement la demande croissante en moyens modernes de calcul, qui apparaît à l'époque dans la recherche technique. J.-M. Souriau met au point en 1948, avec Eugène Bonneau, des méthodes de calcul matriciel dont certaines seront utilisées sur l'ENIAC¹³⁴ ; il effectue des démonstrations de programmation dans les centres de calcul de Bull et d'IBM France dès l'ouverture de ceux-ci et sera ensuite l'un des promoteurs de l'informatique à la faculté

132 Éditorial de René Jugeau, *La Recherche aéronautique*, 1948, n° 1. L'Office est fondé avec un statut d'établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), ce qui le différencie du CNRS, par exemple, dont le statut est d'esprit plus puriste. La revue officielle de l'ONERA contient mainte publicité pour les produits résultant des recherches menées à Chatillon. L'ONERA emploie de nombreux spécialistes allemands des missiles et des matériels électroniques, jusqu'à la fin des années 1950.

133 J. Floquet, « Procédé de calcul des forces aérodynamiques généralisées à l'aide de machines à cartes perforées », *Publications de l'ONERA*, 1949, n° 19 ; et R. Basile & R. Janin, « Résolution de systèmes d'équations linéaires algébriques et inversions de matrices au moyen de machines de mécanographie comptable », *Publications de l'ONERA*, 1949, n° 28. R. Janin est chef du service mécanographique et publie divers articles sur ces sujets dans *La Recherche aéronautique* (1954).

134 J.-M. Souriau, *Le Calcul linéaire*, Paris, PUF, 1964.

d'Aix-Marseille. Un procédé mis au point par Robert Basile permet d'abord d'inverser des matrices d'ordre 15 ; en 1955, les mécanographes de l'ONERA savent inverser des matrices d'ordre 200 et les multiplier entre elles (c'est un exploit : inverser une matrice d'ordre 90 nécessite environ 1 500 000 opérations ; un mathématicien équipé d'une simple machine de bureau devrait y consacrer deux ans, sans compter la correction des inévitables erreurs ; un bon ordinateur de 1960 mettra 10 minutes). Ils ont mis au point en 1951 des tableaux de connexion spéciaux permettant de faire des calculs en virgule flottante sur des machines mécanographiques Bull classiques, puis sur le Bull Gamma 3.

a. Missiles et trajectographie

122

Cependant, de nouveaux besoins de traitement de l'information apparaissent avec les essais « d'engins spéciaux ». L'expérimentation de missiles exige la reconstitution précise des trajectoires. D'où la réalisation d'un « trajectographe » par l'ONERA. Il s'agit d'un ensemble d'appareils utilisant à rebours le principe du radio-navigateur Decca : dans le missile, un petit émetteur de bord émet des impulsions. Celles-ci, reçues par un réseau de stations au sol, permettent de mesurer les coordonnées du mobile. Les données ainsi acquises et enregistrées sur du papier photographique furent, les premiers temps, dépouillées manuellement, opération fastidieuse mais nullement surhumaine puisque les vols, d'une centaine de secondes (portée et altitude ne dépassant pas 10 km), produisaient relativement peu d'informations ; au bout d'une vingtaine d'heures cependant, l'attention des opérateurs se relâchait et des erreurs apparaissaient.

Bientôt, la quantité de données se multiplie. D'une part, les missiles atteignent des portées de 40 km, des altitudes de 75 km, et leur temps de vol s'allonge en conséquence. D'autre part, les expérimentateurs y installent des capteurs pour mesurer des phénomènes de plus en plus nombreux. La masse d'informations reçues au sol dépassant les capacités de traitement humaines, l'ONERA entreprend d'en mécaniser le dépouillement, et réalise pour cela un appareillage passablement compliqué. Les « télémessures » y sont enregistrées, sous leur forme analogique originelle, par un magnétophone à 9 pistes, puis converties et codées sous forme numérique, ce qui permet de les perforer sur une bande télétype. Cette bande passe ensuite dans une perforatrice de cartes mécanographiques. Au bout de la chaîne, ces cartes sont lues par une tabulatrice commandant une table traçante. Ce système, régulièrement amélioré, fonctionnera du milieu de 1955 à 1963, année à partir de laquelle le codage numérique sera inscrit sur une bande magnétique exploitable directement par ordinateur¹³⁵. Dès 1959,

¹³⁵ I. Podliasky, « Le trajectographe ONERA », *La Recherche aéronautique*, 1950, n° 18. M. Le Boiteux et G. Moussette, « La télémessure ONERA », *La Recherche aéronautique*, 1959,

la trajectoire d'un missile peut être tracée sur le papier quelques heures après le vol. En 1964, le dépouillement ne durera plus que deux fois la durée du vol.

b. L'ordinateur le plus rapide du monde

Cependant, dès le début des années cinquante, le besoin d'obtenir rapidement les résultats a inspiré, à la direction de la physique générale de l'ONERA, le dessein de construire un calculateur électronique beaucoup plus performant que les Bull Gamma 3 ou IBM 604 alors seuls disponibles en France. Une requête au CNRS auprès de L. Couffignal n'aboutit pas. On désigne donc comme chef de projet un licencié en physique, Yves Druet, qui étudiait des dispositifs haute fréquence pour l'aviation depuis son entrée à l'ONERA en 1947.

Le chef du planning m'a demandé : « Druet, que faites-vous en ce moment ? » J'ai répondu que je peignais la girafe... c'est ainsi qu'on m'a nommé chef de groupe de recherche. J'ai commencé par apprendre ce qui existait : l'ENIAC, les *flip-flops* d'Ecclès et Jordan (je n'en avais jamais entendu parler) ; j'ai visité IBM, où des mathématiciens virtuoses faisaient de véritables acrobaties avec les machines comptables, Bull, où le professionnalisme des électroniciens m'a emballé, et la SEA. Avec deux ou trois techniciens, on a commencé par faire un bistable à deux tubes triode-hexode¹³⁶. Il n'y a pas de secret ! On cherchait les limites minimum / maximum jusqu'à ce que ça marche. Puis on a construit des éléments de circuits. Étant donné le problème qu'on me demandait de résoudre (calculs de trajectographie), j'aurais dû faire un calculateur spécialisé, comme le fizeaugraphe de la SEA. Mais je me doutais que les chercheurs voudraient l'essayer pour d'autres problèmes, et j'ai donc conçu une machine universelle ; de fait, elle n'était pas encore terminée qu'on nous a demandé des calculs d'optique¹³⁷.

n° 68 (Henri Le Boiteux est directeur scientifique de la physique à l'ONERA). M. Delattre « Dépouillement automatique du trajectographe ONERA », *La Recherche aéronautique*, 1959, n° 71. J. Zackheim « Le trajectographe ONERA : précisions atteintes, possibilités d'amélioration », *La Recherche aéronautique*, 1963, n° 93 (J. Zackheim est chef du groupe Trajectographie à la direction de la Physique générale de l'ONERA). R. Gobin, « Dispositif de dépouillement automatique des télémètres », *La Recherche aérospatiale*, 1964, n° 101.

¹³⁶ Un article d'Y. Druet, « Dispositif électronique de comptage et de commutation » (*La Recherche aéronautique*, 1953, n° 35, p. 55), décrit un circuit élémentaire à deux tubes, fonctionnant comme bistable et comme porte logique, et qui « résout complètement le problème de la commutation à grande vitesse ». Un normalien agrégé de mathématiques, Jean Bouzitat, étudie parallèlement « Les opérations arithmétiques en calcul binaire » (*Note technique*, n° 21, ONERA, 1954), mais il ne semble pas participer directement à la conception de la machine.

¹³⁷ Entretien avec Yves Druet, 2 février 1993. Y. Druet figure parmi les participants au colloque du CNRS, *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, en 1951, avec cinq autres représentants de l'ONERA : W. Barrois, E. Bonneau (numéricien, travaillant avec J.-M. Souriau), L. Bouthillon, E. Eichelbronner, A. Gilles. Le raisonnement tenu par Druet (faire un ordinateur universel plutôt qu'un calculateur spécialisé en trajectographie), se retrouvera exactement dans les mêmes termes chez General Electric, en 1959, et donnera naissance à la ligne GE600.

Il s'agit d'un ordinateur synchrone, à mots de 40 bits, extrêmement rapide pour l'époque. La fréquence d'horloge, de 1 MHz en fonctionnement normal, dépasse 2 MHz lors des tests. Trois niveaux de mémoire sont prévus :

- une mémoire de travail instantanée (un mot de 40 bits), constituée de bistables, comme dans l'ENIAC, et caractérisée par des registres à décalage dans les deux sens,
- un tambour magnétique,
- une mémoire de masse à bandes magnétiques.

Un premier tambour est réalisé par un ingénieur allemand, en enroulant autour d'un cylindre un fil de *Magnetophon* – procédé rustique mais relativement efficace. Un deuxième, plus gros, est abandonné car trop difficile à tourner à l'atelier. Les quarante têtes de lecture-écriture sont confectionnées à partir d'un ruban de mu-métal acheté à Imphy.

124

La petite équipe (deux ingénieurs, trois techniciens, deux dessinateurs) se lance dans la construction de dérouleurs de bandes magnétiques. C'est l'un des dispositifs les plus difficiles à réaliser en informatique, à cause à la fois des hautes précisions nécessaires dans ce matériel où coexistent des éléments mécaniques et électroniques, et des violentes accélérations que les cabestans doivent imprimer au ruban magnétique pour y chercher les informations au rythme de l'ordinateur. « Pour accélérer, nous voulions un embrayage magnétique, une sorte de cloche légère qui viendrait s'accoler au cabestan principal. L'ONERA nous a envoyé des mécaniciens venus de l'industrie automobile. Quand on leur a parlé d'embrayage magnétique, ils ont répondu "boîte automatique Cotal" ... On a laissé tomber ! »¹³⁸.

À part les unités à bandes magnétiques, en 1953 le calculateur semble en voie d'achèvement. Le tambour magnétique fonctionne, l'unité centrale est presque terminée – il reste à compléter les circuits de quelques armoires sur 40 bits.

À ce moment-là, on m'a coiffé d'un jeune chef de division, Roland Moreau. Nos relations ont été plutôt fraîches. Il voulait construire une machine à usiner les aubes de turbines. Je lui ai proposé d'étudier une machine à commande numérique, avec nos circuits. Ça ne l'a pas intéressé. Après quelques échanges de ce genre, j'ai donné ma démission. J'en ai parlé à F.-H. Raymond, qui m'a dit : « À partir du moment où vous partez, le projet est foutu ! »¹³⁹.

Druet part à la fin de 1953 pour la Société alsacienne de construction mécanique, où il dirigera une usine fabriquant des cartouches d'uranium pour le CEA. Le mathématicien qui semblait tout désigné pour concevoir les

¹³⁸ Entretien avec Yves Druet, 2 février 1993.

¹³⁹ *Ibid.*

programmes, Jean Bouzitat, quitte simultanément l'ONERA pour la même société, où il créera une section de recherche opérationnelle.

Le successeur d'Yves Druet, Maurice Bataille (X 1943), fait en grande partie table rase du travail précédent et reprend à zéro un certain nombre d'études : circuiterie de la virgule flottante, bascules à régénération d'impulsions, etc. Un apprentissage rigoureux est accompli en matière de fiabilité et d'interchangeabilité des composants. Le nouveau calculateur, baptisé « MOP » (Machine opératoire de la Physique), est asynchrone et s'inspire de l'EDSAC construit à Cambridge en 1949 : mots de 17 ou 34 bits, structure à une adresse, mémoire de 512 mots extensible à 1 024. Plusieurs rapports décrivent l'unité centrale en cours de construction. Elle effectue une addition en 12 μ s en virgule flottante : avec un nombre d'instructions modeste (32), elle est donc en principe plus rapide que les IBM 704 et NORC, deux des plus puissants ordinateurs de l'époque¹⁴⁰.

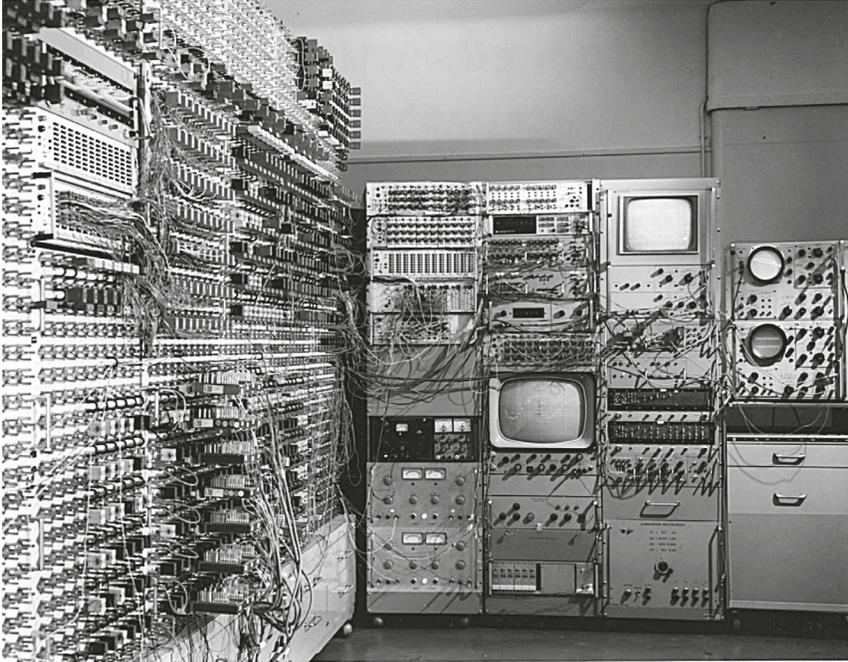


Figure 14. Ordinateur « MOP » de l'ONERA, vue partielle (1957) (photo ONERA)

Entre la machine de Couffignal (CNRS) et le Gamma 60 (Bull), ce gros calculateur révèle un manque de savoir-faire en matière de gestion de projets.

¹⁴⁰ *Notes techniques* n°X/1548 P, 1953 à 1959 (« 1548 P » étant le nom de code de la machine MOP). M. Bataille, « Principe de fonctionnement et de réalisation d'un additionneur binaire parallèle », *L'Onde électrique*, n° 353-354, août-septembre 1956. L'ambition n'est pas excessivement présomptueuse en elle-même : à la même époque, une petite équipe d'universitaires suédois a construit BESK, qui fut pour un temps l'ordinateur le plus rapide du monde.

L'architecture générale de la machine, dérivant de l'EDSAC, est saine, et n'a rien à voir avec l'impasse dans laquelle s'est engagé L. Couffignal au CNRS. Mais l'ambition du projet et la faiblesse des moyens mis en œuvre par l'ONERA (une dizaine de personnes, dont seulement trois à plein temps) expliquent que la réalisation progresse lentement. En 1956, un article illustré de photos publié dans *L'Onde électrique* montre plusieurs *racks* montés ; les circuits existant ont subi des tests de fiabilité durant 600 heures à 500 kHz.

Les pires difficultés sont rencontrées dans la réalisation du tambour magnétique. L'objectif était de fabriquer un tambour de faible capacité (1024 mots de 34 bits), mais tournant à très grande vitesse (11 300 t/mn, à peine moins que les 12 500 t/mn de l'IBM 650 et beaucoup plus que les 2 000 t/mn du Bull Gamma ET). Plusieurs essais de cylindres en alliage léger s'avèrent insatisfaisants, et l'acier est finalement choisi. De quel matériau neutre enduire le cylindre ? Après divers tests malheureux, l'araldite est abandonnée au profit du cuivre. Quel enduit magnétique utiliser ? Deux tambours plaqués au nickel donnent des résultats catastrophiques ; finalement, on confie à la société Pyral le soin d'appliquer un revêtement d'oxyde de fer. L'échauffement du moteur, situé à l'intérieur même du tambour, dilate celui-ci de 0,02 mm, et les têtes de lecture se trouvent alors en contact avec la couche magnétique qu'elles labourent...

126

Passons sur la délicate réalisation des 2 x 34 têtes de lecture et d'enregistrement (réglage angulaire, fixité ou mobilité, bavures du métal provoquant des courts-circuits) pour en arriver à cet ahurissant résultat : au début de 1959, une étape intermédiaire (fonctionnement avec une capacité de 512 mots) est atteinte, « permettant ainsi un fonctionnement d'ensemble de la machine MOP. Une nouvelle étape pourrait porter la capacité à 1024 adresses », en courant cependant des risques de diaphonie entre les pistes¹⁴¹. À cette date, Bull, SEA et IBM construisent depuis trois ans, en France, des ordinateurs moyens à tambour de plusieurs milliers de mots et en ont résolu les principaux problèmes de fabrication.

En 1951, il était normal de concevoir un ordinateur autour d'une mémoire principale à tambour ; dès 1955, les tores de ferrite s'imposent dans les grands ordinateurs, et l'on en produit en France (LMT, Philips-RTC) : progressant trop lentement, la MOP est dépassée techniquement avant même d'être achevée. Ses constructeurs en sont conscients. En 1955, un rapport descriptif conclut en proposant une « Disposition [architecturale] pour un calculateur plus rapide »,

¹⁴¹ Le problème est facile à comprendre. Il faut choisir à quelle distance du tambour on fixe les têtes de lecture : plus elles sont proches, meilleure est la densité d'enregistrement, mais plus elles risquent de labourer la surface magnétique. Il faut trouver un compromis fiabilité/performances. Ce problème d'ingénierie reste fondamental aujourd'hui dans la conception des disques magnétiques, qui sont le point faible de nos micro-ordinateurs.

applicable dans une machine « utilisant des transistors et des tores en ferrite », mais qui ne peut être envisagée sur une machine à tubes¹⁴². Une note de 1959 suggère, de même : « une étape ultérieure pourrait consister à remplacer la mémoire actuelle par une mémoire à accès rapide »¹⁴³. Pourquoi ce remplacement, qui exigeait moins de travail que l'élaboration du tambour, n'a-t-il pu être effectué ?

La note technique n° 9 indique que l'ONERA pouvait en principe, dès 1955, envisager plusieurs solutions techniques pour désembourber la construction de la machine :

- abandonner tout ou partie des circuits à tubes déjà réalisés, pour concevoir un ordinateur à transistors et à tores de ferrites.
- terminer les circuits de calcul à tubes et y adapter une mémoire à tores.
- conserver la conception générale de la machine, mais gagner du temps en achetant le tambour à une firme spécialisée (SEA en France, Ferranti en Angleterre à qui la SEA achète elle-même à cette époque le tambour de son ordinateur CUBA).

Pourquoi l'ONERA s'est-il obstiné à poursuivre la réalisation d'une architecture dépassée et à construire lui-même le tambour magnétique ? Vraisemblablement, on a sous-estimé les difficultés techniques et donc le temps nécessaire à la mise au point : cet optimisme apparaît dès le commencement du projet dans l'élaboration des circuits de calcul et se retrouve dans le développement du tambour. Que connaissaient les ingénieurs, à l'ONERA, des difficultés similaires rencontrées par Bull et la SEA dans la construction de leurs premiers ordinateurs, présentés en 1955, et du grand calculateur de trajectographie présenté dès 1950 par la SEA (« fizeaugraphe ») ? Les témoins interrogés ne s'en souviennent plus. Quelles étaient les relations entre l'ONERA et le laboratoire central de l'armement (dépendant de la DEFA) où l'ordinateur CUBA, comparable à la MOP dans sa conception générale, était en cours d'installation ? Elles sont sans doute médiocres. D'une certaine façon, l'ONERA de la IV^e République réussit à se marginaliser de tous côtés : les Armées, notamment l'Air, n'apprécient pas qu'il marche sur les plates-bandes de leurs services techniques ; les scientifiques trouvent qu'il fait de la mauvaise recherche ; les industriels, que ses recherches appliquées sont inapplicables. Les pionniers français du calcul électronique n'ont d'ailleurs aucun souvenir d'un ordinateur construit à l'ONERA.

¹⁴² *Note technique* n° 9/1548 P « Fonctionnement de l'organe calculateur », mars 1955. Ce rapport est signé de Maurice Bataille, ingénieur chargé de l'étude, et de Roland Moreau, chef de la division d'électronique.

¹⁴³ *Note technique*, n° 16/1548 P, « Mémoire à tambour magnétique », mars 1959. Ce rapport est signé de J. Miquel, ingénieur chargé de l'étude, et de M. Delattre, chef de subdivision.

En 1957, IBM présente en France son gros ordinateur scientifique modèle 704 ; l'ONERA en est l'un des rares acquéreurs français et l'achèvement du calculateur « maison » passe à l'arrière-plan¹⁴⁴. Le principal apport du travail accompli est une formation à la conception de circuits digitaux, donnée à des ingénieurs qui quittent l'Office pour diverses entreprises : M. Cosson, recruté en 1956 pour réaliser une table traçante, part en 1957 pour la Mutuelle générale de France dont il créera le service informatique ; la même année, M. Bataille part chez Bull et s'intègre à l'équipe du Gamma 60 ; le dernier chef de projet, J. Gaudfernau, part pour la SEA puis à la Compagnie des Compteurs. La machine n'ayant jamais fonctionné de manière opérationnelle, pratiquement aucune expérience de la programmation n'en a été retirée.

La MOP ne semble jamais avoir été prioritaire dans les préoccupations de l'ONERA. L'Office dispose par ailleurs de moyens de calcul appréciables. Les télémessures dépouillées par le trajectographe sont traitées sur des machines Bull dont la capacité centuple entre 1951 et 1957. La pression en faveur d'un achèvement rapide du calculateur semble donc faible.

Notons-le aussi, c'est un hasard si Druet a été bombardé chef de projet en 1951. Construire un ordinateur n'est pas l'ambition de sa vie. Quand il rencontrera des contrariétés hiérarchiques, il partira travailler dans un autre domaine.

Enfin, l'ONERA subit à cette époque une certaine déstabilisation. Lors de sa fondation, son ministre de tutelle, le communiste Charles Tillon, a favorisé le recrutement de nombreux membres et sympathisants du PCF – comme c'est le cas, au même moment, au CNRS et au CEA. À la fin des années quarante, les coups d'État communistes en Europe centrale confirment l'existence de la guerre froide, bientôt exacerbée par la démonstration de l'arme nucléaire soviétique. Des révélations sont apportées sur l'aide technique fournie à l'URSS par les partis stalinien opérant à l'Ouest. En 1949, les pouvoirs publics entreprennent donc d'épurer l'ONERA, comme ils le font au CNRS et au CEA. Cette reprise en mains se confond avec une prise de pouvoir par les corps polytechniciens, initialement opposés à la création de l'ONERA. Un nouveau directeur est nommé, Maurice Roy (X-Mines 1917).

Cependant, l'épuration anticommuniste instaure dans les laboratoires de Chatillon un lourd climat de suspicion, insupportable non seulement aux pro-communistes mais aussi à bien d'autres personnes qui appréciaient la liberté caractéristique du monde savant. En quelques années, de nombreux scientifiques, ingénieurs et techniciens quittent l'ONERA. Certains passent à l'université :

¹⁴⁴ L'utilisation du Bull Gamma AET est alors arrêtée. En 1959 un ingénieur d'IBM, Maurice Guérin, écrit pour la 704 de l'ONERA un simulateur du G. AET – tâche réputée impossible mais faisable en binaire. Le but est de pouvoir faire tourner des programmes du G. AET peu utilisés sans devoir les réécrire.

Jean-Marie Souriau, Jérôme Chastenet de Géry, Robert Basile – qui est même, un temps, emprisonné ; d'autres vont dans l'industrie, tel Joël Floquet à la SEA. Dans un organisme de recherche, un tel traumatisme est long à se résorber. Combinant ses effets moraux avec les discontinuités suivant le départ des personnels, il peut contribuer à expliquer les lenteurs dans la construction du calculateur.

Dix ans plus tard, l'ONERA fait l'objet d'évaluations qui accusent ses disfonctionnements et son fonctionnement en vase clos. L'office est réorganisé en 1962, son directeur Maurice Roy remplacé par Paul Germain, ses recherches mieux articulées avec le monde académique et celui de l'industrie. Il est devenu entre temps l'un des gros consommateurs français de moyens de calcul et de simulation.

G. LE CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Jusqu'au milieu des années cinquante, le traitement numérique de l'information est au CNET une activité très marginale, pratiquement limitée à quelques calculs sur des machines mécaniques de faible puissance. On décrira cette période, avant d'esquisser une comparaison avec l'institution qui, à la même époque, fait figure de rivale du CNET : l'ensemble des laboratoires LMT-LCT, filiales françaises du groupe ITT. On soulignera enfin le contraste entre le CNET des débuts et le CNET des années soixante, qui semble effectuer un parcours sans faute dans la mise au point de la commutation électronique numérique, devenue alors sa vocation essentielle¹⁴⁵.

a. Un parent pauvre de la recherche (1944-1954)

Fondé sous le régime de Vichy par une loi du 4 mai 1944, le CNET a pour mission de grouper et de coordonner les recherches en télécommunications de différents ministères, dont chacun avait jusque-là son laboratoire exclusif. Il est administrativement rattaché au ministère des PTT mais consacre

¹⁴⁵ L'histoire du CNET et de la commutation électronique a déjà été bien retracée par ailleurs. Nous nous contenterons d'étudier, parmi les activités du CNET, celles qui concernent directement le calcul et le traitement de l'information. Les sources imprimées sont, pour l'essentiel, F. du Castel et de F. Lavallard (dir.), *Le Centre national d'études des télécommunications (1944-1974)*, Paris, Centre de recherche sur la culture technique, 1990 ; et M. Atten (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications. Des Recherches au CNET. 1940-1965*, Paris, CNET, coll. « Réseaux », 1996. Les principales sources imprimées sur les calculateurs numériques étudiés du CNET sont : P. Marzin, « Les calculateurs numériques étudiés au CNET », *L'Onde électrique*, vol. XLV, fév. 1965, p. 212-227 ; et un n° spécial sur le CNET d'une revue aujourd'hui introuvable, *Regards sur la France*, Paris, La Documentation française, 1970.

Sur l'histoire des télécommunications, voir en bibliographie les références des travaux de B. Aurelle, C. Bertho-Lavenir, P. Carré, P. Griset, M. Deloraine, P. Flichy, L.-J. Libois. Pour une perspective internationale, voir R.-J. Chapuis & A. E. Joel, *Electronics, Computers and Telephone Switching*, New York, North Holland, 1990.

une partie de ses travaux à la Défense nationale : héritant du laboratoire national de radioélectricité fondé en 1914 par le général Ferrié, il est l'un des principaux éléments du dispositif militaire de recherche en électronique et en télécommunications. Comme l'ONERA, le CNET est créé en réaction contre la dispersion et la duplication des études, qui handicapent la recherche publique¹⁴⁶. Il réunit en principe les atouts nécessaires pour maîtriser l'évolution rapide des technologies : d'une part, il rassemble des compétences dans tous les domaines touchant aux télécommunications, favorisant le travail interdisciplinaire ; d'autre part, ses activités s'étendent de la recherche fondamentale au développement pré-industriel. « D'une certaine façon, écrit A. Bertho, l'ambition est encore plus grande que celle du CNRS puisqu'il s'agit d'un organisme interministériel annonçant son souci de lier recherche publique et recherche d'entreprise, recherche et innovation »¹⁴⁷.

130

De notre point de vue, le CNET dispose, peut-être plus qu'aucune autre organisation en France, des compétences et des techniques nécessaires pour construire un ordinateur. C'est ce que souligne Léon Brillouin, lors de la conférence sur *Les Grandes Machines mathématiques* tenue en 1947 à l'École nationale supérieure des télécommunications¹⁴⁸. Ses ingénieurs fabriquent des compteurs électroniques d'impulsions, mettent au point lignes à retard et matériaux magnétiques (tels que les ferrites, avec LTT et le laboratoire du CNRS à Bellevue), étudient la subminiaturisation des composants pour le STTA, travaillent sur la théorie de l'information, etc. Ils réalisent des tubes spéciaux à haute fiabilité (durée de vie moyenne : 30 000 heures), inaccessibles objets de rêve pour les constructeurs d'ordinateurs de l'époque. Un rapport d'activité mentionne même « l'étude d'un numérateur pour machine à calculer en liaison avec le CNRS »¹⁴⁹.

Certes, réaliser des ordinateurs n'est pas un but assigné au CNET dans ses missions officielles. Mais, pour un centre de recherche en télécommunications, les équipements « lourds » de calcul sont des moyens de travail nécessaires. Les Bell Labs en Amérique, le Telecom Research Establishment britannique, les PTT néerlandais et japonais construisent ainsi plusieurs calculateurs électroniques,

146 Ordonnance n° 45-144 du 29 janvier 1945 relative à la création du CNET. L'exposé des motifs souligne que « Les recherches et les réalisations touchant les télécommunications ont souffert en France jusqu'à ce jour d'une extrême modicité des moyens et de leur dispersion ». Dans la réalité, cette situation se prolongera dix ans.

147 A. Bertho, « Le CNET dans le système de recherche publique », *Le Centre national d'études des télécommunications*, *op. cit.*

148 J. Pérès, L. Brillouin & L. Couffignal, « Les grandes machines mathématiques », art. cit. Conférences prononcées les 12-13 juin 1947 au ministère des PTT.

149 Compte-rendu général des études de télécommunications menées en 1951 par les services de recherches ministériels (est-ce une sous-traitance pour la machine de Couffignal ? Nous n'avons trouvé aucune précision dans les archives).

dès les années quarante¹⁵⁰. Pourquoi pas le CNET (nous distinguerons nettement les machines que le CNET pouvait construire pour effectuer ses calculs techniques, au début des années cinquante, et les ordinateurs réalisés plus tard pour la commutation électronique) ?

En fait, le CNET de 1944 est une juxtaposition de services géographiquement épars, conservant des tutelles administratives distinctes, balançant entre une vocation de recherche interne et un comportement plus traditionnel de laboratoire administratif destiné à sous-traiter la R&D à l'industrie. Il mettra dix ans à construire son identité, dix ans de conflits marqués notamment par la sécession en 1946 du service de recherche et du contrôle technique des PTT (SRCT), dirigé par Pierre Marzin, qui ne réintègrera le CNET que lors de la réforme de 1954.

Ces conflits sont d'autant plus âpres que le CNET est pauvre, malgré l'ambition qui inspira sa création. Si un soutien financier appréciable est accordé au SRCT, voué en principe à la recherche appliquée pour les besoins urgents des PTT, en revanche le CNET proprement dit voit son budget en francs constants diminuer de 1946 à 1953, rongé par l'inflation : ainsi, en un an (1950-1951), les prix de cinq composants et appareils d'usage courant augmentent de 21 à 62 % selon le cas¹⁵¹. Attributions tardives des crédits, lenteurs et formalités bureaucratiques pèsent sur la passation de marchés d'études à l'industrie. Plus grave encore, le budget de ces marchés d'études diminue de 76,8 % en volume de 1946 à 1953 ! Ce déclin de la capacité d'investissement du CNET oblige le Centre à réduire ses interventions industrielles d'envergure aux domaines jugés les plus vitaux : les tubes électroniques (partenaires : CSF et LCT), secondairement les radars. Cette situation reflète l'état général de sous-développement du téléphone français¹⁵², auquel les ingénieurs ne peuvent remédier faute d'une politique suivie au niveau gouvernemental, que le régime parlementaire de l'époque ne permettrait pas.

150 Les Bell Labs construisent cinq calculateurs entre 1939 et 1954, dont le *Complex number calculator* de Stibitz destiné aux calculs de réseaux téléphoniques (450 relais et 10 commutateurs Crossbar), un *Ballistic computer* et un ordinateur transistorisé *TRADIC* pour l'US Air Force. Les PTT néerlandais présentent l'ordinateur *PTERA* en 1953. Le Telecom Research Establishment de Malvern réalise, entre 1947 et 1953, deux machines : *MOSAIC* (Ministry of Supply Automatic Integrator and Computer, incorporant 6000 tubes et 2000 diodes), destiné à traiter des télémesures de missiles, et *TREAC*, à usage interne, caractérisée par son architecture parallèle, sa mémoire à tubes de Williams et la haute fiabilité de ses composants (S. Lavington, *Early British Computers*, Manchester, Manchester University Press, 1980). Nippon Telegraph & Telephon met en service en 1957 son ordinateur N1 (Parametron), dont s'inspirera la série Facom 200 de Fujitsu.

151 Compte-rendu général des études de télécommunications menées en 1952 par les services de recherches ministériels, chemise « Département Acoustique et téléphonométrie ».

152 C. Bertho, *Télégraphe et téléphone, de Valmy au microprocesseur*, Paris, Hachette, 1981.

La pénurie de personnel (moins de 300 salariés jusqu'en 1953) vient à la fois de la faiblesse de l'effectif titulaire et des obstacles administratifs qui entravent l'embauche de contractuels – seul moyen pourtant de recruter des spécialistes qualifiés en électronique, où le marché de l'emploi est très tendu. Les départs pour l'industrie sont nombreux, et le CNET de la Reconstruction vit même sous la menace d'une démission collective de ses laboratoires « Tubes » et « Hyperfréquences ». Le CNET ne peut recruter directement des ingénieurs sortant de Polytechnique, ceux-ci étant alors obligés de rembourser leurs frais d'études. La « division Recherches mathématiques » est d'abord réduite à un seul mathématicien, Louis Robin.

132

Quatre entités nous intéressent particulièrement, qui se caractérisent par des besoins de calculs croissants. Certaines s'équipent de machines à calculer, mais sans aucune coordination, sans envisager un effort commun à la taille d'un « Centre national ». Ce sont :

- le service de recherche des PTT (SRCT),
- la division « Tubes et Hyperfréquences »,
- le département « Télécommande et contre-mesures »,
- la division « Recherches mathématiques ».

Le service de recherche et de contrôle technique des PTT (SRCT) dispose, pour la conception des filtres téléphoniques, d'un bureau de calcul équipé de machines mécaniques Monroe, sous la direction d'un jeune X-Télécom, Jean Carteron. Le SRCT s'installe en 1952 dans le nouveau bâtiment du CNET à Issy-les-Moulineaux, où il fait livrer par la Société d'Électronique et d'Automatisme un « corrélateur analogique et analyseur harmonique » OME 15 (Opérateur mathématique électronique)¹⁵³.

153 J. Carteron, « Naissance du calcul électronique en France », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., p. 104. M. Clavier, ingénieur PTT au département Transmission du SRCT « L'OME 15 », *L'Écho des recherches*, Paris, juillet 1952, n°8. M. Clavier, « Note succincte sur l'OME 15 », *Note technique* T69. M. Clavier « Calcul de la phase d'un gain connu par son module au moyen de l'OME 15 », *Note technique* T217. L'OME 15 est basé sur 6 amplificateurs à contre-réaction + 3 amplificateurs servant à la commande des servo-mécanismes ; il comprend un bâti à deux baies, une table traçante, un tableau de connexions, un tableau de commande. Il faut une journée pour le disposer à résoudre une équation différentielle du 2^e ordre $X'' + \Omega X = 0$, avec une précision de 3 à 5 %. M. Clavier signale son large champ d'applications : étude des organes non linéaires et de la distorsion non linéaire, calcul de la réponse transitoire d'un réseau donné par sa fonction de transfert et inversement, étude des fonctions de corrélation et des densités spectrales d'énergie dans les différentes modulations, ou dans les bruits, étude de la réponse d'un réseau au moyen de générateurs de bruit, résolution des équations intégrodifférentielles au moyen de l'analyse symbolique, etc.

Ce faisant,

le SRCT a voulu :

- appliquer à ses problème un outil de calcul moderne,
- acquérir dans ce domaine une expérience qui ne peut être obtenue que par la pratique de tels engins,
- acquérir vis-à-vis de ce type d'opérateur une expérience qui permettra peu à peu d'établir les bases d'un groupe de calcul plus important et correspondant plus précisément encore aux besoins de la technique développée dans nos laboratoires.

Toutefois cette machine ne suffit pas à étancher la soif de calcul des ingénieurs. Chiffrant en 1954 ses besoins d'équipement dans le cadre de la préparation du III^e Plan, le SRCT demande des crédits pour « étudier et construire des appareils mathématiques automatiques de calcul », appareils qui « devront être fort développés dans le cadre d'une coordination indispensable », avec le CNRS ou l'industrie électronique¹⁵⁴.

Le département Transmissions du CNET possède une division Mathématiques appliquées, dirigée jusqu'en 1952 par D. Indjoudjian, qui fait le même type de travaux avec des machines électromécaniques semblables. Elle atteint ses limites lorsqu'on lui demande de calculer la loi de probabilité de *fading* du signal sur un fasceau hertzien à 14 tronçons, soit une intégrale d'ordre 14.

La division « Tubes et Hyperfréquences » est l'une des plus actives du CNET¹⁵⁵. C'est une véritable pépinière de grands électroniciens : André Blanc-Lapierre, Georges Goudet, Pierre Lapostolle, Jean Voge¹⁵⁶, etc. Le CNET constitue dès l'origine un vecteur du transfert vers la France des technologies

154 G. Champetier et M. Schwob, *Rapport général de la Commission de la recherche scientifique et technique du Plan*, novembre 1954 (Arch. nat. RE 130/30-560-2). Champetier est directeur adjoint du CNRS.

155 Voir F. Jacq, « Autour des hyperfréquences : La division Tubes et Hyperfréquences du CNET (1945-1956) », dans Michel Atten (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications, op. cit.*, p. 87-121 ; et l'interview de G. Goudet dans le même recueil.

156 André Blanc-Lapierre (ENS 1934), spécialiste de théorie du signal et de problèmes de bruit de fond, deviendra plus tard président de l'Académie des sciences.

Georges Goudet a une fort intéressante carrière. Né en 1912, ce normalien, docteur ès sciences, travaille en 1944-1945 au laboratoire central des télécommunications. Ses travaux portent sur l'optique électronique et les ondes ultra-courtes. Il devient ensuite chef du service « Hyperfréquences » au CNET, qu'il quitte en 1951 pour la faculté de Nancy (chaire d'électrotechnique et direction de l'École nationale supérieure d'électricité et de mécanique). En 1955 il passe définitivement dans l'industrie privée, au sein du groupe Le matériel téléphonique où il dirige le LCT et deviendra PDG de la CGCT. Il continue cependant à enseigner dans diverses écoles d'ingénieurs, et c'est lui qui réédite le tome d'électricité de l'incroyable manuel de physique de Georges Bruhat, publié depuis 1924.

Pierre Lapostolle (X 1941) part vers 1952 au CERN (Genève), transposant les études d'hyperfréquences à l'accélérateur linéaire du premier synchrotron.

Jean Voge (X 1940) fera l'essentiel de sa carrière au CNET.

électroniques développées dans les pays anglo-américains depuis la guerre. C'est le cas notamment dans le domaine des composants. On s'efforce aussi de reconstruire une industrie française du radar, profitant de la mise hors jeu de l'Allemagne dans les hautes fréquences. Le service « Tubes » se dote vers 1947 d'une cuve rhéographique inspirée des calculateurs de Malavard, pour étudier l'optique électronique des faisceaux dans les klystrons. Cette cuve sera transférée à Issy-les-Moulineaux en 1957 et restera en service jusqu'en 1965¹⁵⁷.

Le département « Télécommande et contre-mesures » est dirigé par Julien Loeb (X 1922, Supélec 1926), l'un des pionniers français de l'Automatique par ses travaux sur l'électronique, les ondes ultra-courtes, les servomécanismes, la théorie de l'information ; il a dès 1945 mis au point des « procédés mécaniques et électriques pour le calcul de la charge d'espace dans les tubes électroniques » ; il sera l'un des fondateurs de l'Association française de régulation et d'automatisme en 1956, et passera plus tard chez Schlumberger et à la Compagnie générale d'automatisation (CGA). Son successeur en 1954, le chef de la division Télécommande du SRCT, est Dickran Indjoudjian (X 1941)¹⁵⁸. L'essentiel des activités du département est financé par la Défense nationale.

La division Servomécanismes du même département, dirigée par P. Blassel (X 1946), se consacre essentiellement au guidage de fusées, jouant dans ce domaine un rôle de conseil et d'expertise vis-à-vis du service technique de l'Aéronautique, et de la SNCASE qui construit les engins. Cette spécialité fait de la division une utilisatrice assidue des calculateurs analogiques

157 « C'était une cuve rhéographique équipée d'un système de tracé automatique des équipotentielles et destinée plus spécialement à l'étude des canons électroniques de révolution. Cette méthode d'analogie électrique était alors le moyen le plus puissant et le plus souple pour résoudre l'équation de Laplace, les ordinateurs numériques n'ayant pas encore atteint un stade de développement suffisant. La cuve rhéographique permet de définir et de mettre au point les canons électroniques et la focalisation de nombreux tubes pour hyperfréquences qui furent utilisés sur les faisceaux hertziens. » (F. du Castel & F. Lavallard (dir.), *Le CNET, op. cit.* Une méthode originale a permis de l'utiliser en tenant compte de la charge d'espace du faisceau électronique, en modélant le fond de la cuve et en opérant par approximations successives (R. Musson-Genon, « Application des méthodes rhéographiques à l'étude des trajectoires électroniques planes compte tenu de la charge d'espace », *Annales des télécommunications*, Paris, t. 2, n° 12, 1947). Une application similaire est réalisée au laboratoire central de l'artillerie navale en 1947.

158 Entré au CNET en 1946, Indjoudjian enseigne l'analyse et la statistique mathématiques à l'ENSTélécom, à l'École des ponts et à l'ISUP. Il commencera une seconde et brillante carrière en entrant en 1960 à la Banque de Paris et des Pays-Bas, dont il deviendra directeur adjoint en 1966, chargé notamment de suivre les dossiers de financement du secteur informatique (c'est ainsi qu'il deviendra vice-président de SEMA-Metra). La Banque de Paris et des Pays-Bas faisait volontiers appel à l'expertise scientifique depuis 1922, époque où son directeur avait invité des mathématiciens issus de l'École normale supérieure (Galbrun, Dubourdieu) à créer un « service d'actuariat » et à inventer des solutions nouvelles aux problèmes d'emprunts et de primes. Dubourdieu sera président de Locabull (B. Bru, « Dubourdieu, Jules (1903-1986), professeur de théorie mathématique des assurances », dans Cl. Fontanon et A. Grelon (dir.), *Les Professeurs du CNAM, op. cit.*, p. 441-450.

(simulation de vol vertical, cinématique du guidage d'engins, étude des dispositifs stabilisateurs). Elle recourt d'abord à l'OME du service technique de l'Aéronautique installé à la SEA, qui produit pour elle « des centaines de courbes ». À partir de 1952, elle effectue maints calculs sur l'OME 15 du SRCT. Cette expérience la conduit à réaliser elle-même un calculateur analogique dérivé des machines SEA, « d'une précision moyenne, mais d'un encombrement et d'un prix de revient réduits »¹⁵⁹, calculateur programmable par tableau de connexions. L'appareil est un élément d'un programme confié au CNET par l'Armée : le système « Pénélope » de radioguidage des missiles SE 4000¹⁶⁰. La division Servomécanismes prévoit de construire quatre exemplaires de son calculateur en 1954, et en a effectivement deux en service à cette date, servant à la simulation électronique de servomécanismes (étude RTD 33) ou de sous-marin¹⁶¹. Grâce à ces machines, « on a développé des procédés électroniques de calcul qui permettent de traiter des problèmes comportant deux variables indépendantes. Des machines de cette nature ont permis de pousser jusqu'à un degré très avancé des questions de pilotage automatique. Parallèlement, on a développé des procédés de calcul mécanique qui permettent la mesure des fonctions de transfert d'organes non linéaires. On sera ainsi prochainement en mesure d'attaquer des problèmes inaccessibles au calcul humain, tels que les systèmes répondant à des équations dont les paramètres sont variables avec le temps »¹⁶².

Si le département « Télécommande » est axé sur l'analogique, comme le montre un article publié à l'époque par Indjoudjian¹⁶³, ce n'est pas le cas d'autres services, comme en témoigne Libois (faisceaux hertziens) : « Dès 1946, nous travaillions sur les impulsions, non sur des circuits analogiques. On a collaboré avec Gloess, de la SEA... On *pensait* en numérique ! ». Le CNET

159 Étude RTD 33, réunion CNET, 23 juin 1954 (Arch. nat. 80/0284/226). Ce calculateur comporte 10 amplificateurs à courant continu. Bien d'autres développements concernent le calcul automatique. Ainsi, le 21 février 1952, un marché d'étude est passé avec les Ets Belin pour un calculateur à numération binaire asservissant deux axes. En 1952, une étude RTD 16 porte sur un télémètre bistatique à deux discriminateurs d'azimut et un calculateur analogique : « Un premier calculateur comportant un amplificateur à courant continu s'est révélé trop instable pour être utilisé ; un nouveau calculateur plus simple a été construit, reste à l'essayer sur le terrain ».

160 Projet RTD 21. La division Servomécanismes dispose d'une machine construite par la SEA aux frais du ministère de l'Air : « Pénélope » est testé à Colomb-Béchar, d'abord avec un radar allemand Würzburg. Le CNET l'a conçu et en suit la réalisation industrielle, agissant donc comme maître d'œuvre sur cette partie du système d'arme. Le projet sera abandonné en 1958, quand la plupart des programmes de missiles français seront sacrifiés au choix du Hawk et à la « force de frappe ».

161 M. Dutilh (Réunion 23 juin 1954). Projet « Monitor » pour le STCAN.

162 Réunion CCTU /Comité du CNET 23 juin 1953). Le PV signale que le CNET collabore et mène des études en commun avec le LRBA, l'ONERA, l'École polytechnique, le Collège de France, etc.

163 D. Indjoudjian, « Calculatrices analogiques et simulation », *Électronique*, 1955, n° 107.



Figure 15. CNET : centre de calcul analogique (photo coll. Historique de France Télécom)

contribue d'ailleurs à une démonstration de « télétraitement » lors d'un colloque de cybernétique à Namur (Belgique) en juin 1956, où un congressiste interroge via la ligne téléphonique l'ordinateur de la SEA installé à Courbevoie. Mais ces activités sont marginales au CNET, et rares sont ceux qui les considèrent comme des avant-gardes d'une orientation majeure.

L'aspect le plus paradoxal des relations entre le CNET et la SEA est que l'organisme public de *recherche* construit des calculateurs analogiques, machines déjà classiques, et laisse à l'*industriel* le soin de faire le plus difficile, le plus aventureux : les ordinateurs ! Précisons : c'est paradoxal par rapport au discours officiel sur « la recherche publique, moteur de l'innovation ». Mais c'est conforme aux comportements normaux de la France d'avant-guerre, où la R&D en télécommunications s'effectuait dans les entreprises, très peu dans les services publics : « Dans les années 1930, les ingénieurs des services d'exploitation ne considèrent pas comme du ressort de l'Administration des PTT de faire de la recherche. La recherche scientifique relève des universités et le développement de nouveaux équipements est la tâche des industriels »¹⁶⁴.

La division « Recherches mathématiques » est dirigée par Louis Robin¹⁶⁵, auquel se joignent deux autres ingénieurs, Louis Collet et M. Poincelot. Cette division élabore sous forme mathématique des problèmes posés par les autres services du CNET, et effectue force calculs numériques, comme le signalent les rapports d'activité. Mais elle ne dispose pas des machines adéquates, et ne projette visiblement pas d'en acquérir. Aussi voit-on, à travers les archives, L. Robin courir confier ses calculs à l'Institut Henri Poincaré (calcul des probabilités appliqué au fonctionnement d'un réseau téléphonique, en 1947), au bureau de calcul de l'Institut d'astrophysique (étude RM5/calcul de distorsion harmonique pour la division Radio-communications), au service mécanographique de l'Armée¹⁶⁶, à J. Kuntzmann à l'université de Grenoble (pour la thèse de Poincelot, étude RM15), à la société grenobloise Neyrpic¹⁶⁷,

¹⁶⁴ M. Atten, « L'émergence de la R&D dans les télécommunications : la voie française, 1940-1970 », dans M. Atten (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications, op. cit.*, p. 47.

¹⁶⁵ Louis Robin (X 1921-ENS Télécom 1926) a laissé d'importants travaux sur les fonctions sphériques et sphéroïdales, sur la théorie des antennes et sur les tables numériques ; il est assisté en 1956 d'un ingénieur des Télécom, M. Poincelot (P. Bata, « La naissance du CNET », dans F. du Castel & F. Lavallard (dir.), *Le CNET, op. cit.*) Louis Collet (X 1914) est un spécialiste des calculs d'induction électromagnétique.

¹⁶⁶ « Pour le traité des fonctions de Legendre, j'ai fait calculer par le service mécanographique de l'Armée des tables de fonction (contrôleur général des Armées Le Gall, dont l'intérêt pour le problème et la compétence en calcul numérique et en mécanographie ont assuré le succès de l'opération) », Réunion du CCTU RM, 12 décembre 1950 (RA 1950). Les fonctions de Legendre sont utilisées en théorie du potentiel.

¹⁶⁷ Neyrpic acquiert un calculateur IBM 604 à programme par cartes en 1954. Robin prie le chef du service de calcul de Neyrpic, Arnaud, de « faire un devis le plus serré possible » (lettre d'Arnaud à Kuntzmann, 9 juin 1954 (IMAG 02) (traité des fonctions de Legendre, étude de la division Mathématiques). Ce travail se prolongera jusqu'en 1958.

toujours avec Kuntzmann, en 1954, et même – pourquoi pas ? – sur l'OME 15 du SRCT (calcul d'une fonction de corrélation, étude RM10). Cette attitude est surprenante pour qui connaît le rôle pionnier joué à l'étranger par les laboratoires de mathématiques dans la réalisation des premiers ordinateurs.

En fait, Louis Robin incarne une pratique artisanale de la recherche, où les outils du mathématicien se limitent au papier et au crayon. Les témoins qui l'ont connu au CNET, tout en soulignant ses hautes qualités scientifiques, le décrivent comme « un mathématicien à l'ancienne mode » « qui écrivait à la plume sergent-major », « un savant isolé qui fut longtemps le chef du département... et son unique membre » et « ne s'intéressait pas aux machines ». Même au milieu des années soixante, lorsque le CNET possède un service de calcul bien équipé auquel Robin peut confier le traitement de fonctions de Bessel, « il faisait refaire les opérations à la main par un scientifique du contingent »¹⁶⁸. Et Robin, loin d'être atypique, est bien représentatif des mathématiciens français de sa génération. Membre du Comité national du CNRS, il siège dans la commission de mathématiques pures, non en mathématiques appliquées.

138

Tableau 3. Calculs exécutés par l'Institut Henri Poincaré pour le CNET de 1947 à 1955

Bénéficiaires :	Robin (mathématiques)		Bouix (DEM-radar)		Lambreux (télécommande)	Total
1947			400 h		800 ?	
1948-1949			1004 h		200800 ?	
1950	341 h	68 200 F	1300 h	260 200 F		
1951	423 h	82 400 F				
1952	52 h	15 750 F			1277 h	270 400 F
1953	814 h	244 200 F				
1954	837 h	370 500 F				
1955	458 h	<u>228 500 F</u>	131 h	<u>65 500 F</u>		
Total	1 009 550 F		527 300 F			1 807 250 F

Source : cahier de comptes du laboratoire de calculs numériques de l'IHP, arch. Institut Blaise Pascal.

Quant aux calculs confiés par le CNET à la faculté des sciences de Grenoble, ils coûtent 125 000 F en 1954. Les sommes payées en six ans (1950-1955) par le CNET pour des travaux de calcul peuvent être évaluées, par approximation, à 3 ou 4 millions de francs. Or, vers 1956 le prix d'un petit ordinateur commercial est d'environ 50 MaF (Bull Gamma AET ou SEA CAB 2000 à mémoire minimale). En bonne logique, les besoins de calcul du CNET étaient loin de justifier la construction d'un ordinateur. Mais la construction ou l'acquisition d'un ordinateur était-elle toujours décidée « en bonne logique » sur la base d'une prévision rigoureuse de retour sur investissement ? Sans doute non, et c'est heureux pour le développement de l'informatique ! 4 millions de francs, c'est le prix d'un ensemble mécanographique classique... que le CNET n'achète ni ne loue. Rançon de cette politique de sous-traitance, les calculs du CNET traînent en longueur, car les machines utilisées sont occupées en priorité par les travaux de leurs possesseurs.

¹⁶⁸ Remarques de participants (notamment A. Gérard et M. Truchet) au séminaire sur l'histoire du CNET, novembre 1993.

L'examen des quatre départements ci-dessus montre donc que le CNET a d'importants besoins de calcul et dispose des techniques nécessaires pour construire un ordinateur. C'est faute de moyens matériels, et surtout faute d'une organisation lui permettant de mobiliser ses équipes sur un tel projet, qu'il ne le fait pas. En fait, personne jusqu'en 1954 n'imagine que le CNET soit capable d'une telle réalisation. Le premier réflexe du CNET est donc de se tourner vers le CNRS, c'est-à-dire vers l'Institut Blaise Pascal.

Le 9 décembre 1952, lors de la réunion du comité du CNET,

M. Robin, [...] constate avec regret que la France ne dispose d'aucun centre national de calcul numérique équipé de machines modernes, en particulier du type Couffignal, et d'un nombre suffisant de tables numériques. Seules quelques rares sociétés privées ont fait un effort dans ce domaine [SEA, Bull et IBM]. M. Goudet, à la demande du président, rend compte des possibilités du CNRS :

- les machines Couffignal ne seront pas au point avant deux ans,
- cependant le CNRS dispose dès maintenant de machines à calculer du type à cartes perforées qu'il met à la disposition du CNET.

Le lendemain,

M. Loeb déclare que pour pouvoir étudier le comportement des servomécanismes réels, il est indispensable de créer une sorte de bureau de calculs analogiques disposant de machines à cartes perforées [*sic*]. Sur demande du Président, M. Goudet a recueilli des renseignements auprès du CNRS : en attendant la mise en service de machines du type Couffignal dont la mise au point demande encore deux ans, le CNRS met sur demande ses machines à la disposition du CNET¹⁶⁹.

Personne, dans ce milieu avisé, ne se fait plus d'illusions sur la machine de Couffignal, et Goudet le dit crûment au directeur du CNRS :

C'est le rôle du CNRS de constituer en France un centre national de calcul numérique, doté de tous les moyens modernes. Cependant, l'achèvement de la machine du centre Blaise Pascal paraît si lointain qu'il faut s'organiser pour s'en passer.

¹⁶⁹ PV des réunions du CCTU des 9 et 10 décembre 1952. G. Goudet, qui a quitté le CNET en 1950, représente alors le CNRS au comité du CNET et au Comité de coordination des télécommunications de l'Union française. Dès 1949, la constitution « d'un petit bureau de calcul au CNET, avec machines *ad hoc* » a été « réclamée notamment par la division Radiocommunications », demande appuyée par Robin et par le Lt-Col. Lochard, des Transmissions de l'Armée (Archives du CNET, PV CCTI 14 décembre 1949).

En conclusion, G. Goudet suggère « de demander aux nombreux services gouvernementaux qui sont représentés au CCTU leur contribution financière à l'équipement du Centre, dont l'intérêt national paraît évident à beaucoup »¹⁷⁰.

La machine de Couffignal a visiblement suscité des espoirs, sans doute a-t-elle été pour le CNET une raison de s'abstenir de s'engager dans le calcul électronique jusqu'en 1952 ; de fait, un partage des tâches existe après la guerre entre le CNET et le CNRS, attribuant à l'Institut Blaise Pascal le monopole des techniques de calcul. Mais cette explication partielle ne suffit pas à dissiper le mystère de la non-construction d'un ordinateur au CNET après l'échec de Couffignal. L'énergie et les moyens investis dans la construction de divers calculateurs, entre 1950 et 1954, n'auraient-ils pas permis de réaliser un ordinateur, si le CNET avait pu décider de les mobiliser en vue d'une œuvre commune ?

140

Le problème est que « le CNET » n'est en 1950 qu'une expression administrative, comme l'Italie d'avant Cavour était une expression géographique. La division « Tubes et Hyperfréquences » est installée à Neuilly, la division « Antennes » est logée à Issy dans les locaux de la SEFT (Armée de terre), la division « Télévision » est rue Cognaq-Jay à Paris, le SRCT ne s'installe qu'en 1952 dans la première partie achevée du bâtiment qui deviendra plus tard celui du CNET à Issy. En tout, le Centre rassemble quatorze implantations dans la région parisienne¹⁷¹ ! Pour l'essentiel, les équipes du CNET-SG restent de petits groupes chargés du suivi des marchés d'études passés par les ministères auprès des entreprises. Ainsi, le CNET-SG tend de fait vers une logique d'externalisation des recherches, « retrouvant dès lors la pratique de la recherche d'avant-guerre »¹⁷².

L'exemple de l'unique ordinateur digital construit au CNET sous la IV^e République nous montre, mieux que tout ce qui précède, les limites dans lesquelles agissent les ingénieurs du Centre à l'époque. Entre 1949 et 1952, une équipe réalise en effet un ordinateur numérique à Issy-les-Moulineaux. Il s'agit d'une machine électromécanique, constituée de relais et de sélecteurs rotatifs – composants de base des centraux téléphoniques d'alors, qui avaient l'avantage d'être robustes et peu coûteux : elle est comparable aux calculateurs

170 Lettre de Goudet au directeur du CNRS, 11 décembre 1952 (Archives du CNRS, Arch. nat. 800284/226). Les relations entre les deux organismes, CNET et CNRS, semblent bonnes, comme en témoigne « l'étude d'un numérateur pour machine à calculer en liaison avec le CNRS » (Compte-rendu général des études de télécommunications menées en 1951 par les services de recherches ministériels).

171 F. du Castel & F. Lavallard (dir.), *Le CNET*, op. cit., p. 53.

172 M. Atten, « La construction du CNET, 1940-1965 », dans M. Atten (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications*, op. cit., p. 61.

conçus par Stibitz aux Bell Labs dix ans auparavant. Bien entendu il n'est pas question de programme enregistré. Elle a été conçue par Jean Rose (CNRS et faculté des sciences de Paris) en vue d'effectuer la sommation rapide des séries de Fourier pour calculer des densités électroniques en cristallographie¹⁷³. Le CNET n'intervient ici que comme constructeur, la machine étant destinée à l'usage de chercheurs universitaires. Le prototype effectuée en une seconde un calcul tel que $64 \times 64 = 4096$. La partie électromagnétique est réalisée bénévolement par le CNET avec du matériel CGCT et un lecteur de bande perforée du commerce, la partie mécanique par le laboratoire de minéralogie du Muséum d'histoire naturelle, avec l'aide de la firme d'horlogerie Jaeger pour les numérateurs : on est encore dans l'univers technique de Hollerith et de Torrès-Quevedo. Le coût de construction de la machine, hors dépenses de personnel, se monte à environ 800 000 F. Initialement manipulée par un opérateur, elle devait être ultérieurement automatisée. L'inventeur et le CNET en envisageaient l'industrialisation par une société privée car « avec quelques modifications, la machine serait applicable à maints autres problème de sommation à plusieurs variables ». L'apparition de calculateurs électroniques universels Bull et IBM à cartes perforées, autour de 1953, mit un point final à ce projet.

Justifiant le choix d'une technologie classique dans la machine de Jean Rose, un commentaire de l'ingénieur général des Télécommunications Gaston Letellier, directeur du département Commutation, permet de mieux comprendre pourquoi le CNET ne construit pas d'ordinateur :

Il existe des machines électroniques permettant de résoudre, parmi beaucoup d'autres, le problème ainsi posé, mais ces machines sont d'une complication et d'un prix tels qu'il n'en existe que très peu d'exemplaires dans le monde¹⁷⁴.

Le CNET juge les ordinateurs hors de sa portée. De fait, vers 1955, un ordinateur moyen coûte 50 à 100 fois plus que la machine de J. Rose.

173 Cette machine construite au CNET est décrite par J. Rose, « Machine à calculer permettant la détermination de fonctions périodiques et leur introduction dans des calculs. Applications à la sommation de séries de Fourier et au calcul des facteurs de structure en cristallographie », *Journal des recherches du CNRS*, 1948, n° 7, p. 139-144. Elle a fait l'objet d'un brevet déposé par le CNRS le 15 mai 1948, n° provisoire 555 034. Une description technique sommaire, accompagnée d'un devis, se trouve dans les archives du CNRS (Arch. nat. 80/0284/101) (entretiens en 1989 avec Jean Rose et Jacques Bénas [X 1939] qui construisit l'appareil avec Pierre Bréant [X 1940]).

174 G. Letellier, « Machine à calculer permettant la sommation des termes de séries de Fourier à trois variables », *L'Écho des recherches*, n° 17, octobre 1954 (mais sans doute écrit en 1953 étant donné les délais de publication dans *L'Écho des recherches*). Cet article comporte des photos et un schéma de la machine de Rose. Celle-ci, fiable et simple d'emploi, restera en service une dizaine d'années (M. Pélegrin, *Machines à calculer électroniques arithmétiques et analogiques*, Paris, Dunod, 1959, p. 169-170).

b. Un point de comparaison : le groupe LCT-LMT

Cette impression d'impuissance du CNET des débuts, face à l'informatique naissante, est confirmée *a contrario* par l'engagement précoce dans le « digital » de son équivalent privé : le laboratoire central de télécommunications, l'une des quatre filiales françaises du groupe américain ITT, avec LMT, LTT et la CGCT. Lors de l'implantation du groupe en France, dans les années 1920, ITT a compris que, pour être accepté sur le marché, il fallait faire participer le milieu technique français à l'innovation. D'où la création en 1927 du LCT, qui devient un centre de R&D bouillonnant de créativité, à la mesure des moyens dont il dispose et du talent de son directeur, Maurice Deloraine¹⁷⁵.

142

C'est aux « laboratoires LMT », avenue de Breteuil, qu'a été inventée par Alec Reeves en 1938 la modulation par impulsions et codage (MIC), un principe de base des actuels systèmes de télécommunications. C'est chez LMT que travaille un pionnier français de l'automatique et du radar, Gérard Lehmann qui, rentrant des États-Unis en 1947, incite le groupe à développer les approches digitales plutôt qu'analogiques. C'est un ingénieur du LCT, André Clavier, ancien collègue de Reeves, qui mène des travaux pionniers sur la théorie de l'information à partir de ses recherches sur les canaux numériques¹⁷⁶. C'est du LCT que sortiront nombre de pionniers de l'informatique en France : P.-F. Gloess (SEA), B. Leclerc et H. Feissel (Bull), etc. Par ailleurs le groupe ITT construit le premier ordinateur d'Europe continentale au début des années 1950, dans son laboratoire d'Anvers¹⁷⁷, et les ingénieurs des autres filiales européennes en ont connaissance.

Comme le CNET, le LCT consacre une partie de ses recherches à la Défense. C'est ce qui l'amène à réaliser des calculateurs digitaux.

En 1954 nous avons reçu un contrat de la Marine pour étudier un calculateur de guidage de torpilles. C'était la suite d'un système de radioguidage que nous avions fourni vers 1950 : il s'agissait de placer un calculateur numérique, en amont de l'émetteur radio, pour fournir des ordres à la torpille en fonction de

175 M. Deloraine, *Des Ondes et des Hommes*, Paris, Flammarion, 1974. En 1949, Deloraine soutint en Sorbonne une thèse de doctorat sur la transmission numérique et sur la combinaison de la transmission d'impulsions et de la commutation multiplex.

176 André Clavier poursuivra ses recherches aux États-Unis à partir de 1948. Voir J. Segal, *Le Zéro et le Un*, *op. cit.*

177 Cet ordinateur, jusqu'ici un oublié de l'histoire, fut conçu par le Pr. Belevitch et construit sous la direction de M. Lindemans au début des années 1950 à la Bell Telephone Manufacturing Comp. pour l'Institut de la recherche scientifique dans l'industrie et l'agriculture (IRSIA-FNRS). Architecture sérielle à mot de 18 bits, décimale à une adresse. Technologie : 2 000 tubes, 2 500 diodes, fréquence d'horloge 100 kHz, tambour (100 pistes) tournant à 4 000 tours/mn. Effectuant une addition en 3 ms, une multiplication 15 ms, cette machine pouvait en principe résoudre des équations de 100 équations à 100 inconnues (W. de Beauclair, *Rechnen mit Maschinen*, Braunschweig, Fr. Vieweg, 1968).

la position de la cible. Nous avons développé un ordinateur à lampes (2 000 doubles triodes AT7, importées je crois) et à tambour magnétique. Il pouvait recevoir ses données d'un radar, d'une gonio, d'un observateur visuel. Le prototype a été réceptionné en 1958 au STCAN de Toulon, mais j'ignore s'il a été embarqué : son MTBF [*mean time between failures*, temps moyen entre pannes] était faible, nous étions contents s'il ne tombait en panne qu'une fois par jour ! Il n'a pas été industrialisé¹⁷⁸.

À ce moment on commençait à disposer de transistors et de tores de ferrites, que nous avons utilisés pour faire un calculateur de 2^e génération, le L10, destiné à l'Armée de l'air suédoise. Là aussi, LCT n'a fait qu'un prototype, mais le L10 a peut-être été produit en série par la filiale d'ITT à Stockholm. Par ailleurs, en 1962 la Société d'études et de recherches d'engins balistiques (SEREB) a lancé un appel d'offres pour le calculateur de guidage des MSBS, et a contracté avec la SAGEM et le LCT. À cause de problèmes techniques, nous avons pris du retard. Notre prototype a été réceptionné par la SEREB, mais c'est la SAGEM qui a été retenue pour faire la série.

Le groupe LMT-LCT ne se lance dans l'informatique civile que dans certains créneaux bien définis. Il se limite, en 1960, à inscrire à son catalogue commercial des ordinateurs construits par ses sociétés-sœurs anglaise et allemande : le Stantec Zebra et l'ER 56 de Standard Elektrik Lorenz (SEL). Français et Allemands d'ITT réalisent en 1958-1962 le système SARI de réservation des places d'Air France : un très grand ensemble (20 tambours magnétiques, 300 000 transistors, soit l'équivalent de huit Bull Gamma 60 !) ; malgré l'expérience acquise par SEL dans la réalisation d'un système moins ambitieux pour Scandinavian Airlines, le contrat sera résilié et Air France commandera un dispositif plus limité à Téleregistrer. Puis le LCT développe deux calculateurs pour la navigation aérienne (CS 2 et 825 P), produits à quelques unités, et un ordinateur destiné à facturer les notes de téléphone, l'AMA (Automatic Message Accounting). Mais c'est avec des IBM/360-30 que le groupe crée vers 1960 une filiale de services mathématiques, le Centre français de recherche opérationnelle, qui applique notamment ses compétences aux études de voies de communication et de circulation urbaine¹⁷⁹.

Simultanément, la commutation électronique a fait très tôt l'objet de recherches au LCT, dont le directeur a pris le brevet de base de la commutation

178 Entretien avec M. G. Phélizon, 2 novembre 1993. Il s'agit d'un gros ordinateur, d'après le nombre de composants : 2 000 tubes, c'est à peu-près ce qu'incorpore un Ferranti Mk1 ou un Univac 1.

179 Le CFRO établira à Lille, fin 1966, un « Centre régional de gestion et d'informatique » pour développer le *time-sharing*. Non rentable, il sera absorbé ensuite par GSI (groupe CGE).

temporelle en 1945, et fait un exposé sur la question en 1947 devant la Société française des radioélectriciens¹⁸⁰. LCT construit dès 1956 un autocommutateur électronique à 20 lignes pour la Marine, puis un central à 240 lignes¹⁸¹.

Le résultat le plus important des développements d'ordinateurs au LCT a été la formation d'équipes expérimentées, au moment où ITT s'interrogeait sur la stratégie à suivre en vue de la commande électronique des centraux téléphoniques [commutation spatiale] : devons-nous acheter des ordinateurs IBM et les adapter, ou en développer nous-mêmes ? On a choisi d'en développer. Le premier a été le LCT 3200, dont dix prototypes ont été construits en 18 mois. LMT l'a produit en série pour contrôler des centraux Metaconta ; le premier a été installé à Roissy en 1970. Son défaut était d'être trop volumineux (composants discrets), et nous lui avons fait un successeur en circuits intégrés, le LCT 3202. Parallèlement, le LCT développait depuis 1959 le système qui s'appellera plus tard le RITA, fondé sur ses brevets en MIC et en commutation temporelle. Thomson a longtemps payé des royalties à ITT sur le RITA et sur les centraux LMT 3202¹⁸².

144

ITT exploitera le LCT 3200 comme l'un de ses avantages stratégiques en commutation téléphonique. Le groupe n'essayera pas d'en dériver des calculateurs pour d'autres marchés, contrairement à bien des constructeurs d'électronique tentés par la diversification en informatique. En France, du reste, toute tentative de ce genre se heurterait au Plan Calcul à partir de 1966.

c. Un transfert recherche-industrie réussi : la commutation électronique

Tout change au CNET en 1954 lorsque Pierre Marzin y prend le pouvoir et le transforme en une véritable agence d'objectifs. Dressant l'état des lieux, P. Marzin expose un cruel bilan du Centre : « d'un point de vue général un

¹⁸⁰ Voir J.-J. Muller, « La croissance irrésistible des réseaux numériques », *L'Onde électrique*, octobre 1987, cité dans L.-J. Libois « La grande mutation des télécommunications, de l'analogique au numérique », *Colloque sur le développement des télécommunications internationales (Histoire et Avenir)*, Villefranche-sur-Mer, juin 1989.

¹⁸¹ Voir le n° de *L'Onde électrique* de mars 1957 consacré à la commutation téléphonique électronique (articles de Dumousseau, Goudet, Benassy). A. Schmitt, « Un autocommutateur téléphonique à 240 lignes entièrement électronique », *L'Onde électrique*, avril 1960. En téléphonie, le groupe (qui partage depuis trente ans le monopole de la commutation en France avec le Suédois Ericsson) consacre à l'époque l'essentiel de son activité aux centraux électromécaniques « Crossbar ».

¹⁸² Entretien avec G. Phélizon, 2 novembre 1993. Les filiales françaises d'ITT ont été acquises à partir de 1976 par des firmes françaises, notamment Thomson. Le LCT 3200 avait été vendu par ITT dans divers pays. Notons que, malgré sa richesse financière et technique, ITT avait commencé par mettre au point un processeur 16 bits (ITT 1600), « upon a design by Control Data » (information communiquée par R.-J. Chapuis). Voir aussi M.-E. Deloraine, J.-J. Muller, L. Chéreau, « Les origines des réseaux intégrés en impulsions codées : un historique du RITA » (*L'Onde électrique*, mars 1986, vol. 66, n° 2, p. 19-26), article résumant l'histoire des brevets et expériences LCT en MIC et numérique.

redressement s'impose dans l'élaboration des programmes des laboratoires du CNET. Ces programmes paraissent en effet avoir été établis jusqu'ici en accueillant toutes les suggestions extérieures et intérieures du CNET, sans considération suffisante des moyens matériels du CNET ni de la responsabilité des demandeurs [...]. Ces moyens matériels limités devraient être concentrés sur un petit nombre d'études d'intérêt primordial. Il existe actuellement au CNET quelque 200 études pour un effectif de moins de 200 agents productifs. Elles traînent (jusqu'à 5 et 8 ans) et, lorsqu'elles aboutissent, elles n'intéressent plus personne. La division Tubes et Hyperfréquences a dépensé 100 MF par an depuis 8 ans, sans résultats satisfaisants, et a perdu ses meilleurs spécialistes des tubes (Goudet, Blanc-Lapierre) »¹⁸³.

La réunion du SRCT avec le CNET aboutit à constituer un ensemble de 1 463 personnes dont 900 se consacrent à la recherche-développement. De plus, en 1955, le CNET absorbe le service de prévisions ionosphériques militaires (SPIM), créé à partir d'un laboratoire militaire allemand transplanté en France après 1945, qui s'est doté depuis deux ans d'un ordinateur électronique IBM 604 CPC installé au château de la Martinière à Saclay. Stabilisé sur le plan de son identité institutionnelle, sous l'impulsion énergétique de P. Marzin qui obtient dès 1957 une croissance notable des moyens, le CNET entame une longue montée en puissance marquée par le développement des technologies numériques pour la téléphonie. Développements axés sur la commutation électronique (machines « dédiées ») : il ne s'agit pas pour le CNET de « faire de l'informatique ».

Dès 1955, un nouveau texte de Letellier montre une rupture complète avec la résignation antérieure et exprime une audace inconcevable jusque-là :

Il est à prévoir que les organes centraux emprunteront beaucoup de leurs caractères aux techniques maintenant bien connues des machines à calculer électroniques. [...] la plupart des pièces détachées entrant dans sa constitution restent encore à créer sur le plan industriel, [mais] on peut toutefois concevoir sur le plan du laboratoire l'essai partiel d'un tel système¹⁸⁴.

Le projet passe rapidement du papier à la constitution d'une cellule « Commutation électronique », confiée à Pierre Lucas, qui travaillera parallèlement au département RME.

La même année 1955, le CNET confie à la SEA une étude à caractère prospectif sur la commutation téléphonique. Le rapport de fin d'étude (février 1956) propose la voie de la commutation temporelle : « Voie naturelle pour l'équipe

¹⁸³ Comité du CNET, réunion du 11 février 1954.

¹⁸⁴ G. Letellier, préface à P. Lucas, « Considérations sur les conditions auxquelles pourrait satisfaire un système de commutation automatique », *L'Écho des recherches*, Paris, octobre 1955, n° 19.

SEA – et là s'arrêtèrent nos réflexions sur le "téléphone", ce n'était pas notre métier ! »¹⁸⁵. L'été suivant, Marzin envoie deux diplômés de l'ENST (son fils Charles et Jacques Dondoux) se former pendant quatre semaines à Cambridge sur l'EDSAC 2 de Wilkes.

L'idée n'est pas entièrement neuve. On a mentionné le brevet Deloraine de 1945. Dès 1931 en Grande-Bretagne, T. H. Flowers avait entrepris des études sur la commutation électronique ; en 1935, un montage expérimental a fonctionné ; un premier système « opérationnel » est attesté en 1939¹⁸⁶. La recherche à grande échelle commence au cours des années cinquante aux États-Unis et en Grande-Bretagne. Un colloque international, *International Switching Symposium*, tenu en 1957 à Murray Hill (NJ), suscite l'émulation des laboratoires à travers le monde.

146

L'électronique qui, depuis les années trente, envahissait les techniques de transmission, fait donc son entrée dans les techniques de commutation. Ce progrès est illustré par l'évolution de l'équipe de Louis-Joseph Libois, spécialisée depuis l'après-guerre dans le multiplexage pour les faisceaux hertziens. Sa transformation, en 1956, en groupe « Téléphonie électronique et faisceaux hertziens » amorce sa réorientation vers un pari technologique à long terme : la commutation électronique. Ce tournant se manifeste en 1957 par la création du département « Recherche sur les machines électroniques » (RME), qui comprend trois divisions : Calcul électronique, Commutation électronique, Énergie et prototypes de laboratoire. En 1961 s'ajoutent deux nouvelles divisions (service calculateurs et automatisme, Centre logique et programmation), illustrant le rapprochement de la commutation électronique avec l'informatique. Les modifications ultérieures accentueront cette symbiose. L'effectif du département RME doublera en dix ans (1958-1967), passant de 94 à 198 personnes, tandis que l'établissement du CNET à Lannion, particulièrement axé sur la commutation et des composants électroniques, passera de 140 à 809 salariés entre 1962, date de sa fondation, et 1967. Cette réussite et le caractère stratégique du projet propulseront L.-J. Libois à la direction du CNET, puis de la DGT.

Diverses technologies sont d'abord expérimentées à grands frais (pour la mémoire : *barrier grid*, *flying spot* à tube cathodique, inspirées des Bell Labs), avant

¹⁸⁵ F.-H. Raymond, « La SEA : une aventure qui termine mal », dans *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988. Jacques Boisvieux, *Autocommutation électronique*, rapport confidentiel SEA NT 438, 1^{er} février 1956. F.-H. Raymond suggérera, quelques années plus tard à la DGRST, la suppression de l'annuaire téléphonique papier et son remplacement par un système électronique.

¹⁸⁶ B. Randell, « The Colossus », dans N. Metropolis, J. Howlett, G.-C. Rota, *A History of Computing in the XXth century, A Collection of Essays*, New York, Academic Press, 1980.

d'opter pour les composants du commerce, nettement moins coûteux. En 1958, ayant mené à bien ses premières études de sous-ensembles (maquettes de mémoires avec Jacques Dondoux, circuits logiques avec Alain Profit), le département RME décide de les réunir dans un ordinateur expérimental, « Antinea ». Celui-ci permet de tester fiabilité et performances des circuits, et d'entraîner les personnels à la conception de systèmes et à leur programmation. « Antinea », qui commence à exécuter des programmes en 1960, fait partie de la nouvelle « génération » des ordinateurs transistorisés. C'est surtout, du point de vue de l'histoire de l'informatique, le premier calculateur électronique digital construit et mis en service opérationnel par un laboratoire français du secteur public.

Le chef du projet est André Pinet, venu de la transmission comme son patron Denis Dayonnet, et qui prendra dix ans plus tard la tête des études de commutation électronique à Lannion. « Antinea » sert de calculateur de commande à une maquette d'autocommutateur téléphonique, « Antarès », en 1961-1962. L'étape suivante consiste à réaliser un ordinateur plus puissant d'un rapport 5 en vitesse et en taille mémoire, « Ramsès » (en 32 bits, tandis qu'Antinea n'est qu'en 20 bits). Ramsès est conçu pour pouvoir interrompre son programme en cours pour traiter un événement extérieur, fonction indispensable à un calculateur temps réel. Il est incorporé en 1964 au central « Aristote » qui desservira la zone téléphonique de Lannion.

Conformément au mode de travail du CNET, ces recherches sont effectuées en coopération avec l'industrie. Ainsi, en 1961, les ingénieurs des télécom essayent divers circuits de composants logiques et de mémoires en liaison avec les constructeurs français de matériel informatique : SEA, Bull, Compagnie des Compteurs¹⁸⁷.

On avait un contact avec l'industrie qui était extrêmement précieux, qui était la personnalité de Gloess, un ingénieur tout-à-fait inventif, qui était moitié à la SEA chez Raymond et moitié au CNET. En tant que jeune ingénieur, on ne savait où m'installer, on m'a mis dans le bureau de Gloess ("Tu seras très bien, il n'est jamais là ; et si tu le vois, tu verras, il est intéressant"). J'en ai beaucoup bénéficié, il me racontait toutes ces idées, me parlait de la conception de la CAB 500¹⁸⁸...

¹⁸⁷ Mémoires magnétiques à grande capacité : système de mémoires SEA à 500 000 caractères, réalisé par la SEA ; système de mémoires de faible capacité, à tambour SEA ; système de mémoires à tambour utilisant les circuits logiques standard RME, tambour Bull ou SEA. Mémoires à bande magnétique à très grande capacité, dérouleur Compagnie des Compteurs. Mémoires à disques souples à 500 000 car. binaires (temps d'accès 10 ms) en liaison avec la SEA. Mémoires à très grande capacité, à 5 000 000 car. binaires (temps d'accès 0,5 ms) en liaison avec la SEA (CNET, programme général des recherches RME 1961).

¹⁸⁸ Entretien avec Alain Profit.

Deux répliques de Ramsès, « Ramsès II » et « Ramsès 1L », sont construites en 1965 pour servir au centre de calcul du CNET ; très rapides, munies d'un système d'exploitation en temps partagé, reliées par une liaison à 50 000 bauds, les « Ramsès » fonctionneront à Paris et à Lannion jusqu'en 1973. Ils seront puissamment renforcés, vers 1970, par un GE 635 et un CII 10.070. Tous ces ordinateurs CNET ont une architecture parallèle, la seule qui permette la vitesse nécessaire à la commutation téléphonique. Par ailleurs, deux petites maquettes d'ordinateurs, RME X1 et X2, seront montées en 1965-1968 pour tester des circuits intégrés TTL et des architectures logiques temps réel¹⁸⁹. Le CNET voit son rôle dans le dispositif français de recherche en informatique à la fois confirmé et canalisé lorsqu'il fonde à Lannion, avec l'appui de l'Armée, un « laboratoire d'essai des ordinateurs » chargé d'évaluer les périphériques magnétiques.



Figure 16. Ordinateur « Ramsès II » au centre de calcul du CNET (1967)

L'unité centrale (au fond) et le système d'exploitation en *time-sharing* ont été réalisés au CNET. Le pupitre de commande, au 1^{er} plan, est visiblement une CAB 500 SEA, dont le tambour magnétique contient une partie du software de base. Les bandes magnétiques tournent sur des « PEN » de la Cie des Compteurs (photo CNET).

Issue du département « Commutation » classique, la cellule « Commutation électronique » de Pierre Lucas a convergé avec le département RME. P. Lucas, qui inventera le « canal sémaphore », est devenu responsable du plan général du système et supervise notamment les études de programmation. Celles-ci, lancées

¹⁸⁹ Ces machines sont décrites dans P. Marzin, « Les calculateurs numériques étudiés au CNET », *L'Onde électrique*, n° XLV, février 1965, p. 212-227. RME X1 est un petit calculateur rapide (1 μ s d'accès mémoire) microprogrammé.

lors du développement d'Antinéa, portent principalement sur le logiciel de base spécifique : langage de commutation, systèmes d'exploitation, assembleurs, compilateurs (le premier est un compilateur Fortran pour Ramsès, en 1963, travail poursuivi longtemps par J. Dondoux), jeux de microprogrammes. Elles mèneront à des travaux sur la fiabilité du logiciel au début des années 1970. Pour la conception des systèmes informatiques, sont développés au cours de la décennie 1960 des programmes de tests de circuits logiques, puis de conception de circuits intégrés assistée par ordinateur. Le recouvrement des domaines « télécom » et « informatique » est fortement affirmé par la réunion, en 1969, du grand *Colloque international sur la téléinformatique* (environ 150 conférenciers, plus de 1 200 pages publiées).

Toutefois, les ingénieurs du CNET qui seraient tentés de s'orienter vers une informatique déconnectée des besoins des télécommunications sont soigneusement remis dans le droit chemin par une hiérarchie et une DGRST attentives au respect des frontières... ou par les réalités industrielles et commerciales. Un seul pousse vraiment vers d'autres applications que la commutation : Jacques Dondoux, qui ambitionne de développer à partir du CNET des compétences d'informatique générale, en commençant par le marché des PTT (traitement des chèques postaux), et de concevoir des ordinateurs pour soutenir une industrie informatique nationale¹⁹⁰. Aux yeux d'Alain Profit, « on n'avait pas la compétence pour le faire. Il y a eu plusieurs tentatives pour expliquer à la Poste que nous étions des gens très compétents en matière d'informatique, et qu'on allait les conseiller pour le traitement des chèques postaux. J'ai participé moi-même à quelques visites aux Chèques postaux, qui n'ont jamais abouti à quoi que ce soit. D'abord les postiers n'y tenaient pas du tout, ce que je comprends, ils voulaient faire leur affaire de leur côté ; et on n'avait pas la compétence. On avait une compétence technologique, pas pour ces applications »¹⁹¹. Les postiers resteront équipés en matériels moitié IBM, moitié Bull. Par ailleurs, on peut imaginer qu'Antinea et Ramses, prototypes d'ordinateurs temps réel, auraient pu être industrialisés par des firmes comme Bull ou la CAE ; il y a en effet des contacts, mais qui ne dépassent jamais le stade de la visite¹⁹². L'éventuelle ambition informatique du CNET est sans doute barrée par la réticence de ses partenaires industriels, notamment la CGE.

¹⁹⁰ Entretien avec Jacques Dondoux, 12 décembre 2001.

¹⁹¹ Entretien avec Alain Profit, 22 mars 2002.

¹⁹² Entretien avec Alain Profit. Selon J. Dondoux, ce sont les « administratifs » de la Poste qui auraient repoussé l'application d'un ordinateur CNET au tri des chèques postaux, et préféré rester équipés par IBM (entretien de M. Atten, F. du Castel et P.-É. Mounier-Kuhn avec J. Dondoux). Les tentatives effectuées dans les centres de chèques postaux à partir de 1962 se heurtent à de nombreux problèmes techniques. Un gros travail d'adaptation des machines est nécessaire avant de bénéficier des avantages potentiels de l'ordinateur : rapidité de traitement, gestion

J. Vincent-Carrefour utilise Antinea pour développer de petits programmes de simulation et de CAO appliquée à la conception d'ordinateurs, utilisés notamment pour les circuits de Ramsès, et par Thomson. À partir de 1966, tout développement proprement informatique au CNET est stoppé par le Plan Calcul comme relevant exclusivement de l'IRIA et de la CII. À la fin des années soixante, le CNET restera en marge de ces activités¹⁹³, bien que des liens institutionnels soient assurés avec le Plan Calcul – Alain Profit, chef du groupe « Informatique et transmission de données » du Centre, est membre de la Délégation à l'informatique. Le CNET se concentre sur sa participation à deux grands programmes, la conquête spatiale et surtout la modernisation du réseau téléphonique. Une partie des chercheurs en informatique se réoriente vers le développement des réseaux de données.

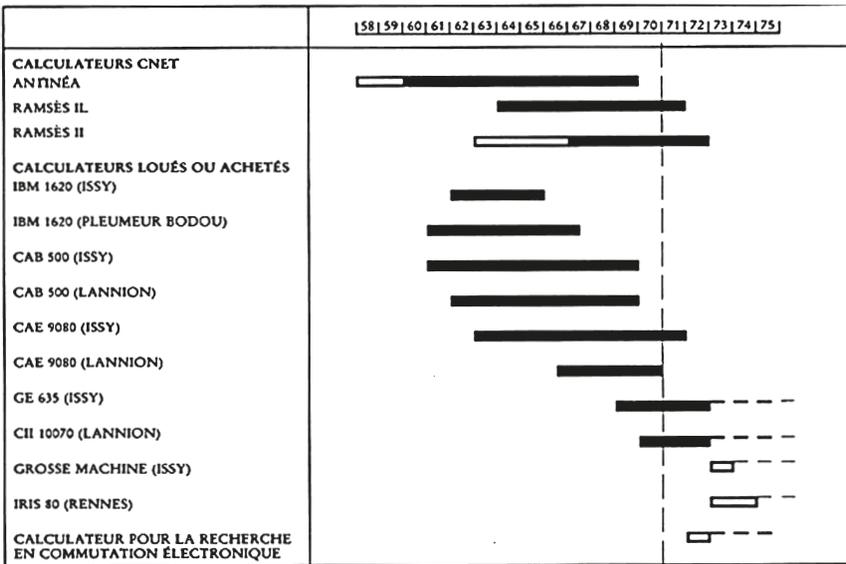


Tableau 4. Équipement du CNET en calculateurs

Synthèse faite en 1968, dans le cadre d'une étude interne en vue de nouvelles commandes. À la fin des années 1960, le CNET devient acheteur de gros ordinateurs Bull-GE, SDS-CAE et CII. Les principales applications sont la gestion du CNET et de son administration de tutelle, la DGT, et la conception du réseau téléphonique futur, nécessitant modélisation, simulation, calculs d'investissements (PERT, recherche opérationnelle, etc.)

comptable centralisée. Les problèmes sont aggravés par la mise en place non coordonnée d'ordinateurs dans les divers centres de chèques postaux, l'administration n'ayant sans doute pas les compétences nécessaires à l'époque, ce qui entraîne le développement de plusieurs méthodes de gestion suivant le type de matériel utilisé.

¹⁹³ C. Bertho-Lavenir et A. Profit « Informatique et histoire des télécommunications : le rôle du CNET dans le développement de l'informatique en France », *Actes du 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.* Sur le calcul au CNET, voir J.-C. Merlin et J. Vincent-Carrefour, « Les centres de calcul du CNET », numéro spécial de *Regards sur la France*, 1970, p. 235-242.

Grâce à l'expérience acquise avec « Antinea », « Ramsès » et les systèmes suivants, le CNET maîtrise les technologies nécessaires pour atteindre les objectifs essentiels qui avaient présidé à sa fondation : fournir les bases technologiques d'une industrie nationale des télécommunications indépendante. Le premier vecteur de transfert de technologie est la société mixte Socotel (1959-1977), qui coordonne les études effectuées au CNET et dans les laboratoires industriels. « Le rôle du CNET y a été déterminant car c'est lui qui, en les mettant en pratique, a démontré la validité des principes fondamentaux que l'on retrouve dans les systèmes modernes [...] la base même des réseaux intégrés »¹⁹⁴. En 1970, le central Platon, conçu au CNET, développé en coopération avec la SLE-CITEREL (CIT-Alcatel et Ericsson), est mis en service à Perros-Guirec. C'est le premier commutateur temporel au monde desservant les abonnés du réseau public ; d'autres installations suivent. Il apparaît que le CNET et la CIT ont deux ans d'avance en ce domaine sur leurs concurrents. Développements et expérimentations déboucheront, à la fin des années soixante-dix, quand la CGE/CIT-Alcatel industrialisera le système E 10. Alcatel deviendra momentanément le premier fournisseur mondial de matériel de télécommunications. La réussite de cette opération, comparable à l'industrialisation des premiers ordinateurs, vingt ans plus tôt, dans les pays anglo-américains, souligne par contraste l'échec initial des laboratoires publics français dans la construction de calculateurs électroniques.

On pourrait objecter à cette comparaison que la réussite du plan français de modernisation des télécommunications, fondé d'abord sur des matériels classiques, plus tard sur le numérique, est liée aux aptitudes nationales à mener de grands programmes technologiques dans un cadre de monopole d'État¹⁹⁵ : ces grands programmes sont inadaptés à l'informatique, où esprit commercial et compétitivité sont décisifs. En fait, notre comparaison est légitime avec l'informatique des années cinquante, où les premiers ordinateurs étaient de grands systèmes généralement commandés par la défense et les centres de recherche. La « stratégie de l'arsenal », en 1950, convenait à l'informatique. Accessoirement, le succès ultérieur d'Alcatel sur les marchés mondiaux prouve que « l'arsenal » est parfois capable de sortir du cocon protecteur.

On pourrait encore objecter que les firmes qui ont pris le relais du CNET dans l'industrialisation de la téléphonie numérique (Alcatel, CIT, Thomson) avaient acquis elles-mêmes un savoir-faire en électronique digitale à la fin des années soixante. Cela ne met-il pas en cause le modèle de l'innovation linéaire

194 P. Lucas, « La commutation électronique », dans F. du Castel & F. Lavallard (dir.), *Le CNET*, *op. cit.*, p. 187.

195 J.-J. Salomon, *Le Gaulois, le Cow-boy et le Samourai*, *op. cit.*

que nous adoptons ici ? Nous ne le croyons pas. Les entreprises (IBM, Ferranti, etc.) qui, dès les années cinquante, ont transformé en produits commerciaux les ordinateurs universitaires, ne partaient pas non plus de zéro en électronique et en traitement de l'information. Mais l'apport de la recherche publique a représenté un bond en avant considérable (concepts fondamentaux, architecture de machines, programmation) par rapport à leur savoir-faire initial. Il en va de même dans l'apport ultérieur du CNET à l'industrie privée.

Au-delà de la réussite technique, on peut admirer la maîtrise du temps, l'alliage expert d'audace et de prudence calculée qui permettent de réaliser le système en adéquation avec le progrès des technologies : ni trop tôt (songeons aux échecs de tant de machines conçues prématurément par rapport aux performances des composants), ni trop tard. Bref, le succès d'une maîtrise de tous les niveaux, techniques et stratégiques, qui contraste avec les heurs et malheurs de l'informatique tricolore. Le CNET sous la V^e République réalise, pour la commutation téléphonique, ce que ni lui, ni les autres organismes de recherche, n'avaient su faire dans les années cinquante pour le calcul électronique. Au point d'en oublier, dans son historiographie, que des recherches essentielles – modulation par impulsions et codage, calculateurs, travaux pionniers sur la théorie de l'information – avaient été menées, d'abord, dans les laboratoires de l'industrie.

UNE INTERPRÉTATION DE CES ÉCHECS : LE CONTEXTE FRANÇAIS

Si l'histoire ne vise pas systématiquement à énoncer des lois générales, à fournir des explications unifiantes, on peut cependant essayer de découvrir, à travers le catalogue des calculateurs morts-nés, un arrière-plan commun qui serait défavorable à leur réalisation. Cette recherche d'une interprétation globale nous permettra de brosser un tableau du contexte particulier dans lequel se construit l'informatique française. Pour éviter tout malentendu, précisons qu'il ne s'agit pas d'opposer un « contexte social » à des « contenus scientifiques », mais simplement de changer d'échelle d'analyse.

Bien entendu, ces « échecs » ont leurs causes singulières, contingentes. Ainsi, au CNRS se sont conjugués une mauvaise gestion du projet, une conception technico-scientifique erronée et une faillite du partenaire industriel. À l'Institut d'optique, Maréchal a été empêché de poursuivre par des rivalités scientifiques. À l'ONERA, la réalisation du calculateur a traîné en longueur, faute d'être dirigée avec continuité. Le CNET devait d'abord se construire lui-même. Cependant, des causes plus générales ont joué, que nous examinerons dans les pages qui suivent. Ces causes, interdépendantes, peuvent se grouper sous trois rubriques :

- La seconde guerre mondiale, plus exactement la défaite de 1940 et l'occupation allemande, ont pendant quatre ans stoppé ou ralenti les activités technologiques du pays et isolé ses savants des nouvelles formes de la recherche.
- Certaines lacunes dans les savoirs ou savoir-faire scientifiques et techniques, que l'on décèle dans la France de l'époque, ont rendu plus difficiles la conception et la construction de calculateurs.
- Le sous-développement des activités liées au calcul, qu'il s'agisse de sa mécanisation ou des mathématiques appliquées, dévalorisées dans un milieu universitaire dominé par les mathématiques pures. On s'étendra plus longuement sur ce point, aspect particulier d'un vaste problème : la faible demande du marché français du traitement de l'information.

A. LA DÉFAITE ET L'OCCUPATION ALLEMANDE : CONSÉQUENCES

La défaite et l'occupation allemande provoquent un grand bond en arrière :

- La débâcle oblige à abandonner plusieurs projets de machines à traiter l'information.
- La communauté scientifique française perd certains de ses membres. Plus généralement, le pays est meurtri et ruiné. Le coût de la reconstruction met les budgets de la recherche en concurrence avec des besoins vitaux à court terme, donc prioritaires.
- La défaite stoppe la mobilisation scientifique. Porteuse d'innovation dans la recherche, cette mobilisation avait stimulé la coopération interdisciplinaire, imposé le rapprochement entre recherche fondamentale et applications (exemples de la mécanique des fluides, de Louis Néel dans le domaine du magnétisme), orienté les universitaires vers la « science lourde » et suscité un début d'apprentissage de la gestion de projets technologiques.
- Les cloisonnements et les obstacles qui freinaient la collaboration entre disciplines, entre organismes, entre recherche et industrie, mais que la mobilisation scientifique commençait à lever, se perpétuent.

154

Or le calcul est une interface des mathématiques et de la technologie. Il se développe là où ces deux activités se rapprochent. Il reste marginal et dévalorisé lorsque mathématiques et ingénierie ont peu de contacts – soit que les mathématiciens s'enferment dans le purisme, soit que les ingénieurs fassent peu de recherche, soit que ces deux milieux soient séparés par des barrières institutionnelles.

a. Des projets abandonnés

En juin 1940, le laboratoire central de l'Armement, qui soutenait les recherches de l'IHP en mathématiques appliquées, se replie à Caussade (Tarn-et-Garonne), où il subsistera comme « laboratoire central des industries mécaniques » jusqu'à la fin de la guerre. Outre les machines de l'IHP, nombre de projets en cours de réalisation doivent être abandonnés après l'armistice, ou n'ont pas de suite à cause des circonstances.

En 1932, Georges Artsrouni, un inventeur d'origine arménienne, a breveté et réalisé une sorte de dictionnaire automatique, utilisant des bandes de papier et de cuivre perforées, ainsi qu'un système électromécanique pour « lire » celles-ci¹. Un second modèle est construit plus tard et fonctionne comme indicateur

1 M. Corbé, « La machine à traduire aura bientôt trente ans », *Automatisme*, mars 1964, et M. Daumas, « Les machines à traduire de Georges Artsrouni », *Revue d'histoire des sciences*, 1965, t. XVII. Le premier modèle se trouve au musée national des Arts et Métiers.

horaire automatique pour la SNCF, avec semble-t-il une lecture photoélectrique. Cette machine précède de plusieurs années le « Rapid Selector » de V. Bush. Des contacts se nouent entre Artsrouni et les militaires qui s'intéressent aux capacités cryptographiques de l'appareil. Mais la guerre engloutit cet essai précurseur de documentation automatique.

L'intérêt des Armées pour le calcul, permanent depuis l'invention de la balistique mathématique par Galilée et Euler, s'est renforcé au cours des années trente avec la technicité croissante des armements. La conduite de tir d'artillerie, notamment pour la Marine et la défense contre avions, pose des problèmes de plus en plus complexes à mesure qu'augmentent la portée des canons, la vitesse et l'altitude des avions. Divers « conjugateurs » et « postes à calcul » sont étudiés pour cela, tandis qu'apparaissent des questions d'asservissement et de prédiction probabiliste. Ces problèmes aiguillonnent l'esprit, non seulement de militaires d'active, mais aussi d'universitaires. Par exemple, l'abbé Pierre Boos, normalien (ENS 1925) et officier de réserve de DCA, devient un spécialiste des aspects mathématiques du tir contre avions, qui inspireront en partie sa thèse de géométrie différentielle ; il sera affecté en 1939 à la section d'études du tir contre avions des Forces terrestres anti-aériennes, jusqu'à l'invasion allemande qui met fin pour quatre ans à ses travaux².

En mars 1939 arrivent en France deux physiciens, Antonín Svoboda et Vladimír Vand, qui depuis 1937 avaient conçu pour l'armée tchèque un système de commande de canon anti-aérien sur la base d'un analyseur différentiel mécanique perfectionné. Réfugiés à Paris, ils contactent la SAGEM (Société d'applications générales d'électricité et de mécanique) qui construit des postes de conduite de tir, notamment des « conjugateurs mécaniques », gros calculateurs analogiques pour déterminer le tir des batteries côtières. Marcel Pasquet, ingénieur de l'artillerie navale devenu directeur technique de la SAGEM, les fait recruter au ministère de la Défense nationale ; ils y poursuivent leur travail jusqu'à ce que l'invasion allemande les chasse à nouveau au printemps 1940. Ils aboutissent aux États-Unis en 1941, où Svoboda fera carrière au Radiation Lab du MIT puis, après un retour décevant dans la Tchécoslovaquie communiste, au département d'informatique de l'université de Californie à Los Angeles³.

2 Notice nécrologique du R. P. P. Boos (*Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, Paris, 1975). Sa thèse de géométrie différentielle est soutenue en 1936 devant un jury composé de Gaston Julia, Georges Valiron et René Garnier (Ingénieur général de l'artillerie navale, qui a mis au point une méthode de calcul des tables de tir publiée dans le *Mémorial de l'artillerie française*). Après la guerre, Boos reprendra recherches et enseignement (militaire) sur le calcul de DCA ; il sera nommé en 1961 maître de conférences à Polytechnique (algèbre et géométrie ; calcul tensoriel après 1969).

3 A. Svoboda, « From Mechanical Linkages to Electronic Computers : Recollections from Czechoslovakia », *History of Computing in the XXth Century*, New York, Academic Press, 1980, p. 579.

Un autre projet d'appareil de conduite de tir anti-aérien est présenté par « le sous-Lieutenant Blanc-Lapierre du 91^e groupe de DAT », travaillant dans un laboratoire du CNRSA (G71 S61 L1)⁴. Ce dispositif, électromécanique, vise à « réduire les erreurs sur toutes les opérations de mesure (vitesse, altitude) ». Combien d'autres développements relevant du calcul automatique ont pu disparaître dans la débâcle ?

En juin 1940, l'équipe Pérès-Malavard détruit ses calculateurs du laboratoire de mécanique des fluides de Paris, à la cité de l'Air ; elle ne pourra continuer à travailler que clandestinement, en zone libre puis dans les sous-sols de l'ENS.

Pendant l'exode, « la machine de l'Institut Henri Poincaré reste sur la route, confiée au maire de Cour-Cheverny (Loir-et-Cher) »⁵.

Un inventeur de machines mécanographiques, Marcel Jacob, dépose en 1942 une demande de brevet pour une tabulatrice électronique⁶. M. Jacob était bien introduit dans les milieux scientifiques depuis la Grande Guerre (il avait travaillé au laboratoire d'Aimé Cotton à Bellevue) et René Carmille s'intéresse à ses travaux au point de lui avoir fait passer un contrat d'étude. Mais, juif, Jacob n'a pas la liberté d'action nécessaire à un développement industriel et il meurt de maladie avant la fin de la guerre. Sa famille tentera d'exploiter le brevet, d'abord en contactant le CNRS qui transmet le dossier à Couffignal, puis avec Bull, en vain : quand le brevet est accordé, en 1950, l'invention est périmée.

Le dernier exemple est celui qui aura les suites les plus importantes... mais pas en France. En décembre 1931, le service de renseignements de l'état-major des Armées, qui vient de se réorganiser pour collecter systématiquement l'information, est contacté par un officier allemand, Asche. Celui-ci (« source D ») lui livrera régulièrement, jusqu'en 1939, les manuels d'instructions et les clés de chiffrement d'Enigma, la machine sur laquelle le commandement nazi chiffre ses messages. Le SR français utilise ces données et les partage avec le SR polonais, dont les techniciens accomplissent en 1939 l'exploit de reconstituer la machine elle-même à partir de son mode d'emploi ; deux

4 Cet appareil de conduite de tir anti-aérien est conçu par André Blanc-Lapierre et Noël Félici, et les plans réalisés par un affecté spécial, Pierre Lacroute, que l'on retrouvera plus tard comme astronome à Strasbourg. 55 ans après, Blanc-Lapierre estime que cet appareil laissait beaucoup à désirer, bien qu'il eût été nettement plus pratique que le « poste de conduite de tir » PC 32 en dotation à l'époque (entretien avec André Blanc-Lapierre, 16 novembre 1994).

5 Cité par J.-F. Picard, *La République des savants. La recherche française et le CNRS*, Paris, Flammarion, 1990.

6 Jacob reçoit des lettres de soutien de Cotton, Villey, Carmille en 1940-1942. Son brevet FR980.241, demandé le 27 juillet 1942 à Montauban, ne sera délivré que le 27 décembre 1950, alors qu'un brevet était habituellement publié en un an. Michel Jacob, fils de l'inventeur, m'a aimablement communiqué le dossier et a publié un historique des « Brevets de Marcel Jacob (1883-1943), de l'optique à l'électronique en passant par la mécanographie », auquel sont annexés des documents d'époque (*Actes du 5^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, ENSEEIHT, Toulouse, 1998).

exemplaires sont offerts par les Polonais à leurs homologues français et anglais. La guerre déclarée, les messages à décrypter se multiplient. Une quarantaine de répliques d'Enigma sont donc construites près de Paris, dans une « usine fabriquant des caisses enregistreuses »⁷ ; les pièces détachées sont livrées et assemblées au château de Vignolles, siège du service du chiffre français qui rejoignent les Polonais. Le 2^e Bureau déchiffre 15 000 messages allemands entre octobre 1939 et l'armistice. En juin 1940, certains spécialistes partent en Angleterre avec une partie du matériel, la majeure partie du service se replie sur la zone libre et s'efforcera de poursuivre son travail jusqu'en décembre 1942, puis rejoindra la Grande-Bretagne ou l'Algérie. Les méthodes de décryptage étaient restées classiques, fondées sur l'utilisation d'Enigma elle-même tant que l'agent allemand continuait à fournir les clés de chiffrement. Mais la construction d'une machine à décrypter était une suite logique de cette aventure, la source allemande étant nécessairement éphémère. C'est finalement en Angleterre, à Blechley Park, que seront mis en service les *code breakers* construits par les mécanographes anglais de BTM (« Bombes »), puis par les électroniciens des télécommunications (« Colossus », en 1943), machines qui constitueront une expérience fondamentale pour les débuts de l'informatique britannique.

Parallèlement, Bull, dont deux directeurs sont officiers du Chiffre, conçoit, pour le service central des transmissions du ministère de la Guerre, des machines visant à décrypter les codes Enigma. En juin 1940, les exemplaires déjà produits seront cachés, enterrés ou détruits à coups de masse, le prototype d'une version perfectionnée, abandonné⁸.

On peut imaginer ce qu'auraient pu devenir dans d'autres circonstances la tabulatrice électronique de M. Jacob avec le soutien de Carmille, le contrôleur de tir de Svoboda et Vand construit par la SAGEM, les machines logiques d'Artsrouni et de Bull... Dans tous les domaines de la science et

7 G. Bertrand, *Enigma ou la plus grande énigme de la guerre 1939-1945*, Paris, Plon, 1973. Cet ouvrage ne signale pas un point important, révélé plus tard par les Anglais : les Polonais avaient mis au point une machine capable de décoder les messages Enigma (et baptisée « Bombe » à cause du tic-tac produit par ses rouages lorsqu'elle fonctionnait). Il se peut que les machines construites dans la banlieue parisienne aient été non des Enigma, mais des « Bombes ». La question est posée aux historiens de la cryptographie. Voir aussi P. Paillole, *Notre espion chez Hitler*, Paris, Laffont, 1985 ; et W. Kozaczuk, *Enigma: How the German Cipher Was Broken and How it Was Read by the Allies in World War Two*, University Publications of America, 1984.

8 Georges Vieillard et Franklin Maurice, respectivement secrétaire général et directeur des études de Bull, sont officiers de réserve d'artillerie, passés au Chiffre dans les années trente. Deux versions de la machine à chiffrer sont construites, W1 et W2 (marché n° 1208 du 5 mai 1940, service central des transmissions ; entretien de Georges Vieillard avec Dominique Pagel, 2 février 1973, archives Bull). La première machine, mise en service en avril 1940, suivra l'État-Major de l'Armée dans la débâcle jusqu'à Bordeaux.

de la technique, on retire des archives de la période 1938-1940 l'impression d'un rattrapage bien amorcé, brutalement interrompu par le *Blitzkrieg*. Ce rattrapage aurait-il pu atteindre ses objectifs ? N'aurait-il pas, de toute façon, trouvé ses limites dans la faiblesse du régime, des compétences disponibles, des capacités productives du pays ? Quoiqu'il en soit, la seconde guerre mondiale, guerre des physiciens et des mathématiciens, se déroule pour l'essentiel sans le concours des scientifiques français – à quelques exceptions près, comme Yves Rocard et les atomistes du Collège de France partis outre-Atlantique. Les mathématiciens, repliés à Clermont-Ferrand, auront tout loisir d'approfondir la théorie des ensembles.

b. Un milieu scientifique appauvri et décimé

158

La guerre fait disparaître non seulement des projets, mais aussi des hommes. D'une part nombre de savants français concernés par l'électronique, le calcul ou la logique sont tués par les nazis : Abraham, Bloch, Bruhat (qui a refusé de dénoncer un étudiant à la Gestapo et finit ses jours au camp de Sachsenhausen, employé dans un bureau de calcul monté par la SS⁹), Cavaillès, Holweck, Lautman et bien d'autres. Sans aller jusqu'à la disparition fatale dans la nuit et le brouillard, Lapicque, Cotton, Borel, Villey, Sainte-Lagüe sont emprisonnés un temps par les Allemands¹⁰. D'autre part, si l'épuration fait peu de dégâts dans le milieu savant (les dirigeants du CNRS nommés à la Libération y veillent attentivement¹¹), les remous de la guerre conduisent des scientifiques à quitter la France. C'est notamment le cas de Léon Brillouin, physicien de tout premier ordre, spécialiste de physique des solides et de théorie de l'information, qui s'installe définitivement en 1948 aux États-Unis où il devient professeur à Harvard, puis à Princeton, et conseiller scientifique d'IBM¹².

9 Institut de recherches appliquées pour les sciences militaires, section de mathématiques (Institut für Wehrwissenschaftliche Zweckforschung, Mathematische Abteilung).

10 L. Mazliak & G. Shafer, « Why did the Germans arrest and release Emile Borel in 1941 ? », <<http://arxiv.org/pdf/0811.1321v1>>.

11 Témoignage de J. Wyart, *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1988, n° 2.

12 Au CNRS, « on ne confiait aucun poste important à des gens trop marqués à droite. [...] Un certain ostracisme a prévalu pendant tout une période. [...] On pourrait parler du cas Brillouin. Léon Brillouin n'a jamais réussi à entrer dans le "cirque infernal" » (« Entretien avec Gabrielle Mineur, secrétaire de Jean Perrin », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 2, p. 41). Léon Brillouin avait été nommé en 1939 directeur général de la Radiodiffusion nationale, en binôme avec Jean Giraudoux qui dirigeait la propagande. Ayant sabordé les installations à l'arrivée des Allemands, il fut chassé par Vichy. Réfugié à l'Institut français de New York, il y eut des différends avec Claude Lévi-Strauss et Jacques Soustelle. Celui-ci aurait, après la Libération, manœuvré De Gaulle contre Brillouin qui ne put ni reprendre son poste à la radio, ni obtenir au Collège de France des moyens de travail à la hauteur de ses talents.

Sur le plan matériel, la seconde guerre mondiale, ajoutant ses effets à ceux de la Grande Guerre et de la crise économique, laisse le pays partiellement en ruines, comme le montre l'évolution de l'indice de la production industrielle française¹³ :

1929	1938	1946	1947	1948	1949
125	100	79	95	111	122

La capacité d'innovation se dégrade dans les mêmes proportions. Le nombre de brevets enregistrés en France chute dramatiquement :

Tableau 5. Nombre total de brevets délivrés dans l'année (chiffres arrondis), 1930-1951

1930	1931	1935	1936	1940	1941	1945	1946	1950	1951
24 000	24 000	18 000	16 000	10 000	8 000	7 000	11 000	17 000	25 000

Si dans les pays anglo-américains le conflit a édifié les bases de l'avenir, en France il a aggravé le lourd poids du passé – poids en même temps matériel et culturel. Le pays s'est trouvé au cœur de deux guerres mondiales (de Gaulle parlait d'une « guerre de trente ans », constat repris par Paul Bairoch¹⁴) qui ont saigné sa population, ruiné en partie son économie¹⁵ et causé des dégâts immatériels tout aussi cruels, bien que non mesurables : traumatismes psychologiques, déchirements politiques, exclusions de toutes sortes. Sous l'occupation, l'économie s'est adaptée à l'effondrement du revenu national, à l'isolement et aux pertes de capacité productive : retour à la terre, entreprises boutiquières qui n'auraient aucune chance de survie dans une économie ouverte, techniques archaïques que l'on réapprend, constituent une adaptation aux circonstances et une désadaptation au « monde moderne ». Ces modes de vie et de pensée perdureront longtemps, le rationnement lui-même ne

- 13 Annuaire statistique de l'INSEE. M. Volle, *Histoire de la statistique industrielle*, Paris, Economica, 1982 (cet indice exclut le secteur du bâtiment). En 1941, 30 % des produits manufacturés en France métropolitaine étaient livrés à l'Allemagne, d'après un rapport de l'OCPRI cité par R. F. Kuisel, *Le Capitalisme et l'État en France. Modernisation et dirigisme au xx^e siècle*, Paris, Gallimard, 1984, p. 247. En général, on estime que les Allemands ont extorqué un tiers du revenu national au cours de l'Occupation – un prélèvement beaucoup plus dur que ceux exigés en 1870 par les Prussiens à la France ou après 1918 par les Français à l'Allemagne (dans chaque cas, deux ou trois mois de revenu national). Les destructions matérielles sont beaucoup plus étendues qu'en 1914-18 (parc immobilier, usines, infrastructures de transport, sur 74 départements au lieu de 13). Les pertes humaines atteignent 600 000 tués, deux fois plus qu'aux États-Unis. Pour donner un exemple de destructions dans le domaine de la recherche, la réparation de l'Institut de mécanique physique de Saint-Cyr, bombardé en 1944, coûte 7, 8 MaF entre 1946 et 1951 (Archives du rectorat de Paris, AG5).
- 14 P. Bairoch, *Victoires et déboires : Histoire économique du monde, du xvi^e siècle à nos jours*, Paris, Gallimard, 1997, 3 vol.
- 15 La France, « vainqueur groggy », est réduite à n'être qu'« un Grand au petit pied » aux ambitions modestes, selon J.-P. Rioux, « L'héritage difficile ou les contraintes de la Libération », dans F. Bloch-Lainé et J. Bouvier (dir.), *La France restaurée, 1944-1954. Dialogue sur les choix d'une modernisation*, Paris, Fayard, 1986, p. 16-31.

disparaissant que vers 1950. Peut-on aller jusqu'à dire que, dans cette vieille nation paysanne qui panse ses plaies, l'expérience des invasions, des pénuries et des privations conduit à conserver, derrière une façade industrielle, des modes de production et de consommation autarciques, économes en capital et en technologie, qui permettraient de survivre en cas de nouveau désastre ? Attaches rurales et savoir-faire artisanaux relèvent non seulement du sentiment, mais aussi d'une rationalité : celle de l'assurance. Cette rationalité admet l'innovation mais est très réticente face au processus de *destruction créatrice*.

160

Dans les cercles les plus modernistes, à l'époque où l'ordinateur est inventé outre-mer, les priorités ne vont pas aux hautes technologies, mais à la reconstruction des infrastructures et à la remise à niveau des industries lourdes traditionnelles : voies ferrées, électricité, charbon, sidérurgie. Rappelons que certaines régions sont encore alimentées en courant électrique sous des normes qui nous sembleraient aujourd'hui assez fantaisistes : 25 Hz, 60 volts, continu, etc.¹⁶. Le marché national des équipements électriques n'est donc pas totalement unifié avant les années cinquante, et ce simple fait réduit les débouchés et accroît les coûts. En aéronautique, sous le ministère du communiste Charles Tillon, les pressions politiques aboutissent à employer une main d'œuvre pléthorique pour fabriquer des avions dont la conception date de dix ans. Ces orientations pèseront sur la politique industrielle française et sur les préoccupations des dirigeants, longtemps après la fin de l'après-guerre où elles pouvaient être justifiées. Comme l'écrira plus tard un économiste, ingénieur des Mines : « On est en droit de se demander si les milliards que la France a engloutis dans la sidérurgie n'auraient pas engendré des perspectives de croissance beaucoup plus favorables pour l'économie française s'ils avaient été employés ailleurs à bon escient »¹⁷. À la guerre mondiale s'ajoute ensuite une série de conflits coloniaux. En Indochine puis en Algérie, l'armée française fait l'ingrate expérience de la contre-guérilla, forme de guerre peu stimulante pour l'innovation technologique, et qui pompe des ressources financières et humaines.

c. Une mobilisation scientifique stoppée

Les administrations de Vichy s'évertuent à maintenir un potentiel technologique, encourageant notamment le rapprochement science / industrie ; la création du CEMA à l'IHP, la fondation du CNET, la mise au point de

16 Le courant continu desservait 500 000 abonnés en 1946 ; il en restait encore 500 en 1965. Le 25 Hz acheva de disparaître en 1954. Quant aux tensions, elles étaient très diverses et furent progressivement unifiées (P. Le Gavrian, H. Persoz et J. Toulemonde, « Les grands réseaux modernes », dans H. Morsel (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, Paris, Fayard, 1996, t. 3, 1946-1987).

17 J. Lesourne, « L'équation française », *Le Débat*, septembre-novembre 1987, n° 46.

fusées tactiques, le développement d'un système radar pour la conduite de tir de l'artillerie navale en sont des exemples. Mais la défaite et l'occupation ne leur laissent que des possibilités dérisoires. L'apprentissage de la coopération entre savants, militaires et industriels reste embryonnaire comparé à ce qui se passe en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne¹⁸.

Dans les grands laboratoires gouvernementaux américains, les mathématiciens participent massivement à l'effort de guerre¹⁹ : Ballistics Research Laboratory d'Aberdeen, CalTech (mécanique des fluides), laboratoires du MIT où travaillent de nombreuses équipes autour de Vannevar Bush et de Norbert Wiener. Dès le début du conflit, le gouvernement fédéral entreprend la formation de véritables bataillons de « mathématiciens appliqués », et en 1942 l'Office of Scientific Research and Development, présidé par Vannevar Bush, se dote d'un service de mathématiques appliquées qui passera près de 200 contrats dans ce domaine. Le rapprochement entre la recherche fondamentale et les applications militaires ou industrielles transforme la science, dans un sens déjà esquissé en temps de paix par certains laboratoires américains, mais qui prend alors une ampleur sans précédent.

D'une part, la pratique de la recherche change, par l'utilisation de matériels « lourds » qui exigent de prêter une attention nouvelle aux techniques, d'organiser et de gérer des équipes de spécialistes (et non plus seulement de régner sur quelques étudiants et assistants). D'autre part, le contenu même de la science est bouleversé : des sujets jusque-là marginaux ou peu valorisés deviennent centraux (hyperfréquences, codage, calcul des probabilités²⁰) ; on ne vise plus les grandes constructions intellectuelles participant d'une connaissance générale du monde, on se contente plus facilement de modèles *ad hoc*, de théories localement efficaces ; les critères de rigueur formelle et

- 18 Sur la notion de « science lourde », voir notamment P. Galison et B. Hevly (dir.), *Big Science. The Growth of Large-Scale Research*, Stanford, Stanford University Press, 1992 ; D. de Solla Price, *Little Science, Big Science – And Beyond*, New York, Columbia University Press, 1986 ; J.-J. Salomon, *Science et politique*, Paris, Le Seuil, coll. « Esprit », 1970 ; A. Weinberg, *Reflections on Big Science*, Oxford, Pergamon, 1967. Sur l'exemple américain, voir notamment D. Kevles, *The Physicists*, New York, Knopf, 1977, p. 287-348 ; et C. Pursell, « Science Agencies in World War II : The OSRD and its Challengers », dans N. Reingold (dir.), *The Sciences in the American Context*, Washington, Smithsonian Press, 1979, p. 359-378. D. Pestre, « De la redéfinition des pratiques physiennes durant la dernière guerre et la guerre froide », *L'Aventure humaine*, n° sur « L'Américanisation de la recherche », Association Diderot, juin 1995, p. 11-22. Le cas de l'Allemagne est beaucoup plus nuancé selon les secteurs. La notion de « science lourde » est remise en question par des travaux récents, notamment P. Galison, *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*, Chicago, University of Chicago Press, 1997.
- 19 A. Dahan Dalmedico, « L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis : l'impact de la seconde guerre mondiale », *Revue d'histoire des mathématiques*, 1997, t. II, fasc. 2.
- 20 I. B. Cohen, *The Probabilistic Revolution*, 1987. Au-delà de l'histoire des mathématiques, ce livre est intéressant en ce qu'il propose un troisième mode de développement des sciences, à côté des « révolutions scientifiques » et de la « science normale » de Thomas Kuhn.

d'élégance scientifique s'estompent ; dans cette conception plus pragmatique, la distinction entre recherche pure et recherche appliquée se dissout en même temps que les représentants de l'une et de l'autre se mélangent, leur hiérarchie peut même s'inverser²¹. En mathématiques, l'évolution en ce sens d'un homme aussi prestigieux que John von Neumann témoigne du basculement de toute une discipline²². Si la science est influencée par ses nouveaux « clients », elle acquiert également un pouvoir sans précédent au Pentagone et dans d'autres sphères décisionnelles, qui apprennent à faire confiance aux scientifiques pour résoudre leurs problèmes.

162

Le développement de la bombe atomique, des engins à réaction, des machines électroniques pour la cryptographie et le calcul balistique, apporte aux principaux pays belligérants l'expérience de la réalisation de grands projets technologiques. Il s'agit bien d'une expérience, acquise par la pratique, non exempte d'errements et d'échecs, dont les leçons seront retenues. Après la victoire, elle sera amplement exploitée. Dans un exposé sur « Managerial responses to complexity since WW II », Thomas P. Hughes analyse deux opérations menées à bien aux États-Unis pendant la guerre froide, et dont chacune était plus ardue que le projet Manhattan : le réseau radar informatisé SAGE et les missiles Atlas. Dans les deux cas, l'élément clé du succès a été l'organisation d'une *task force*, constituée pour la circonstance avec les spécialistes nécessaires, et animée par un comité comprenant des experts des diverses disciplines concernées et des représentants opérationnels des organismes intéressés (laboratoires, états-majors, firmes, etc.). Il s'agit, non de ces commissions de coordination comme il en existe déjà en France, de ces instances de gestion réunissant périodiquement des patrons qui défendent en priorité les intérêts de leur institution ; mais d'un groupe de travail qui se réunit très fréquemment et fait avancer le projet commun²³. L'information y circule vite, les problèmes sont posés par des gens compétents, on court-circuite les hiérarchies administratives. Songeons d'autre part à l'expérience technique acquise par des milliers de spécialistes dans les

21 D. Pestre, « Les physiciens dans les sociétés occidentales de l'après-guerre. Une mutation des pratiques techniques et des comportements sociaux et culturels », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 1992, vol. 39 n° 1, p. 56-72. Rappelons que le mathématicien anglais Turing s'est formé, pendant la guerre, à la conception de machines cryptographiques.

22 A. Dahan Dalmedico, art. cit.

23 T. P. Hughes, « Managerial responses to complexity since WWII », dans R. Fox (dir.), *Technological Change: Methods and Themes in the History of Technology*, Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 1996. Dans le cas de SAGE, l'US Air Force confie la direction du projet au MIT. Dans le projet Atlas, l'US Air Force crée un comité présidé par von Neumann qui attire une élite de savants et d'ingénieurs. L'un des membres les plus influents, Simon Ramo, persuade le groupe que l'électronique est désormais plus importante dans un missile que la technologie proprement aéronautique, et que la conduite du projet doit être confiée à un *system engineer* – qui peut être une entreprise. Ce sera Ramo-Woolridge, que nous retrouverons dans la suite de cette histoire.

laboratoires et les usines, aux innombrables tours de main, trucs de métier et inventions pratiques, dont chacun peut faire la différence entre la réussite et l'échec d'un projet, et dont l'ensemble constitue le terreau technologique, le tissu industriel d'un pays.

La France s'est trouvée exclue pendant quatre ans de ce vaste mouvement. Son expérience antérieure était limitée à quelques « équipements lourds » en physique : grand électro-aimant de Bellevue, cyclotron du Collège de France, souffleries de la mécanique des fluides. C'est dans ces domaines déjà défrichés, où elle n'est pas novice, que la France saura reprendre un rang lors de la reconstruction. De plus, il s'agit de domaines prestigieux, attirant par exemple les jeunes polytechniciens : la physique nucléaire, l'aéronautique seront vers 1950 des secteurs considérés comme nobles, entre autres parce qu'ils ont joué le rôle le plus visiblement décisif dans la guerre. En électronique, il en est de même du radar. En revanche, seul un public restreint, même parmi les scientifiques, a connaissance de l'ENIAC, machine unique qui n'est entrée en service qu'à la fin du conflit ; et les décrypteurs électroniques anglais et américains demeurent secrets. En France, ce type de machine est encore peu valorisé. Les employés des services de calcul restent les tâcherons de la science. La mécanographie est longtemps assimilée aux caisses enregistreuses des magasins. On déconseille aux diplômés des Grandes Écoles de fourvoyer leur carrière dans ce secteur basement technique²⁴.

d. Le maintien des cloisonnements institutionnels et la dispersion des efforts

La défaite, ayant stoppé la mobilisation scientifique, perpétue les cloisonnements et les obstacles qui entravent la collaboration interdisciplinaire et l'innovation. Ce problème classique a été analysé par de nombreux auteurs, et nous voulons seulement en évoquer les incidences sur le calcul, activité qui se trouve précisément à l'interface des mathématiques, des sciences et de l'ingénierie.

Interface entre les mathématiques et les sciences, le calcul permet de tester la valeur prédictive d'une théorie scientifique exprimée par un modèle mathématique.

Interface entre les mathématiques et les techniques, le calcul permet d'*appliquer* un modèle mathématique, d'en déduire les caractéristiques (dimensions, poids, forces, etc.) d'un futur objet pour que celui-ci réponde à un cahier des charges.

24 Voir le témoignage de J. Carteron, « Naissance du calcul électronique en France », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, p. 105. C'est notamment l'attitude de Pierre Ailleret, directeur des Études et recherches d'EDF.

Il faut considérer les cloisonnements entre les disciplines scientifiques ; entre la recherche publique et l'industrie ; dans les Armées.

La logique interne du développement de chaque discipline scientifique reste prédominante, étant peu contrebalancée par des sollicitations externes, militaires notamment. D'autant plus que, dans l'Europe occupée par les nazis, la « demande sociale » s'exprimait, parfois même de façon pressante ; et que la science pure pouvait donc être aussi un refuge contre la collaboration scientifique. Un exemple caractéristique est celui de Jean Leray (ENS 1926) : mathématicien dont l'intérêt s'étend de Bourbaki à la mécanique des fluides dans les années trente (il fait sa thèse avec Villat)²⁵, il s'est réfugié dans les mathématiques pures pendant ses cinq ans de captivité en Allemagne. Le CNRS, créé au début de la guerre par fusion entre un organisme de recherche universitaire et un office de recherche appliquée, suit tant bien que mal cette double vocation. Après la Libération, il se dote à la fois de commissions définies par disciplines fondamentales et de comités de recherche appliquée, définis par objet ou par technologie : applications des mathématiques et calcul numérique, calcul des probabilités, etc. Le décret de 1949 organisant officiellement le Comité national met fin à cette variété en ne conservant que les commissions de recherche fondamentale. Celles-ci, qui seules ont le pouvoir de recruter des chercheurs, éliminent progressivement la recherche technologique.

164

Les cloisonnements socio-professionnels entre la recherche publique et l'industrie recouvrent le dualisme institutionnel bien connu entre l'université (débouchant sur l'enseignement et la recherche) et les Grandes Écoles (débouchant sur l'industrie et l'ingénierie). Les doctorats d'État universitaires se cantonnent pour la plupart dans les domaines nobles des disciplines fondamentales. Quant aux jeunes ingénieurs, rares sont ceux qui complètent leur formation technique par un travail de thèse ; ces doctorats d'ingénieur sont généralement consacrés à une étude spécialisée, ouvrant peu de perspectives de recherches futures.

Les relations recherche-industrie pâtiennent en outre du climat idéologique de l'époque. Frédéric Joliot-Curie, qui dirige le CNRS après la Libération, n'est pas en principe opposé aux relations entre la recherche et l'industrie, mais il y met des conditions morales qui les rendent impraticables. Constituant en 1944 le Comité national du CNRS (alors « Comité directeur »), le physicien communiste refuse le principe de l'admission d'ingénieurs représentant des firmes privées :

25 Arch. nat. AJ/16/5775, Rapport d'activité 1938 de l'Institut de mécanique de Paris.

la firme profiterait personnellement de la collectivité que nous représentons, et là j'insiste beaucoup : il faut que notre travail profite non pas à une personne, mais à l'ensemble de l'industrie, non pas à une usine, on deviendrait alors conseil. [...] les hommes de science [devraient donner] leurs conseils gratuitement, non pas à une industrie particulière qui les paierait, mais à tout le monde. [...] Les connaissances qu'ils ont acquises, ils les ont acquises dans les laboratoires de l'État. C'est la collectivité qui les paye, cela doit donc revenir à la collectivité et non pas à une industrie particulière²⁶.

Dans la situation où se trouve la France après la guerre, ce refus des relations bilatérales entre le CNRS et une entreprise particulière aboutit à un « tout ou rien » dont l'issue a les plus fortes chances d'être : « rien ». Notons qu'il revient aussi à décourager à la fois les trop rares entreprises françaises qui souhaiteraient se rapprocher de la recherche et les « hommes de sciences » désireux de coopérer avec l'industrie. Cet état d'esprit, largement partagé, reste proche de l'idéalisme universitaire traditionnel, qui ignore ou néglige les mécanismes du transfert technologique, de l'innovation. Il se manifeste avec éclat lorsqu'en 1945 le Comité national refuse d'admettre parmi ses membres Maurice Ponte, normalien et docteur en physique, mais industriel – il est directeur technique de la CSF. On peut se demander si une plus grande ouverture d'esprit n'aurait pas favorisé une collaboration entre le CNRS et la CSF en matière de calcul électronique, ce qui aurait changé beaucoup de choses²⁷...

Dans les Armées, la volonté d'organiser les efforts de recherche en vue de rattraper le retard technologique français, attribué aux errements d'avant-guerre, est manifeste dès 1945. Mais elle se heurte à la fois au manque de moyens, à la difficulté de transformer structures et habitudes de travail, aux rivalités entre les corps et les armées, à l'absence d'une véritable stratégie d'ensemble : chaque armée instaure son propre « Bureau scientifique », rapidement marginalisé d'ailleurs par les services techniques. Que l'on considère la coopération de la Marine avec Rocard et Néel, étudiée par D. Pestre, ou l'organisation des recherches dans l'Armée de l'air, étudiée

26 Discours de Frédéric Joliot-Curie au Comité directeur du CNRS, Sciences expérimentales, PV de la séance du 18 septembre 1944, p. 6 (Arch. nat. 80/0284/205).

27 Rappelons que, pendant la guerre de 1914-1918, la collaboration entre l'université, la CSF-SFR et l'Armée avait permis le développement des tubes électroniques radio qui placèrent momentanément la CSF au premier rang mondial dans cette technologie (P. Griset, *Les Télécommunications transatlantiques de la France (1869-1954)*, Paris, thèse de doctorat d'histoire, Univ. Paris-Sorbonne, 1993, t. 1, chap. XII). On évoquera, dans le volume suivant, l'investissement hésitant et paradoxal de la CSF en calcul électronique.

par P. Facon²⁸, on ne trouve guère que de l'action au coup par coup. La politique de contrats s'esquisse difficilement dans les relations entre recherche et défense ; les « conseillers scientifiques » universitaires sont appelés par les militaires pour résoudre tel problème ponctuel, non pour participer à l'élaboration et au développement d'ensemble d'un projet.

En janvier 1945 naît un Comité de coordination scientifique de Défense nationale, chargé de mettre en liaison les organismes de recherche civils et militaires ; il est présidé par un général et « vice-présidé » par le directeur du CNRS. Il s'inspire en principe du US Research & Development Board. En fait, censé « coordonner » sans moyens financiers importants des structures qui restent inchangées au sein de chaque armée, et sans véritable programme de recherche, ce comité est inefficace. Sa transformation, en 1948, en Comité d'action scientifique de la Défense nationale (CASDN) n'y change rien dans l'immédiat. Les réunions n'aboutissent à aucune directive générale. La guerre d'Indochine impose bientôt d'autres priorités. Après un bref sursaut en 1945-1946, les crédits d'équipement militaires (dont une partie est consacrée aux développements technologiques) subissent quatre ans de stagnation²⁹.

Le cas de l'aéronautique est exemplaire : le service scientifique et des recherches de l'Armée de l'air, créé en octobre 1945, tente bientôt de se doter d'un bureau facilitant le recrutement et la consultation de conseillers scientifiques (passation de contrats avec le CNRS, levée des obstacles hiérarchiques). C'est compter sans l'ONERA, qui vient d'être fondé avec des missions similaires et qui proteste auprès du ministre jusqu'à ce que cette structure parallèle soit supprimée. La jeune Armée de l'air, dont l'autonomie propre ne date que de 1933, craint toujours de retomber sous la coupe d'une armée plus établie, comme la Marine, et rechigne par conséquent à coopérer avec elle. Ainsi, en 1951, l'Armée de l'air fera échouer un projet de Jules Moch visant à créer un service des engins auto-propulsés commun aux trois armées. Par ailleurs, la gabegie d'une partie des sociétés nationalisées de construction aéronautique ne laisse guère

28 P. Facon, « L'Armée et le renouveau de la recherche scientifique dans l'immédiat après seconde guerre mondiale », service historique de l'Armée de l'air, Journée d'étude sur *Spécificités nationales et coopération dans les politiques de recherche*, Institut d'histoire moderne et contemporaine, 19 mai 1992.

D. Pestre « Louis Néel et le magnétisme à Grenoble. Récit de la création d'un empire dans la province française (1940-1965) », numéro spécial des *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990, n°8. Voir aussi le pamphlet rabelaisien publié par Yves Rocard en 1947 contre les méfaits de la *Coordination*, forme nouvelle de la bureaucratie.

29 J. Aben, « Le financement des programmes d'armement, 1945-1950 », Centre d'études d'histoire de la Défense, *La France face aux problèmes d'armement, 1945-1950*, Paris, Éditions Complexe, 1996.

de perspectives à des développements sérieux³⁰. C'est seulement vers 1950 que le secteur se transforme avec la résurgence de Dassault, la coopération franco-britannique et franco-américaine dans le cadre de l'OTAN, le vote d'une loi-programme quinquennale, la reprise en main des sociétés nationalisées qui en fait d'excellents outils industriels.

Les militaires n'ont pas le réflexe, devenu normal en Amérique et en Angleterre, de commander des ordinateurs à des universitaires. Du reste, comment ceux-ci, notamment les mathématiciens, recevraient-ils une telle proposition ? On y reviendra quelques pages plus loin.

B. DES LACUNES DANS LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

La science française de l'époque donne généralement l'impression d'un déclin dont le nadir se situe entre les deux guerres mondiales³¹. La France avait reçu onze fois le prix Nobel entre 1901 et 1914 (l'Allemagne seize, les États-Unis deux) ; elle ne compte que cinq nouveaux lauréats entre 1919 et 1939, contre vingt à l'Allemagne et onze aux États-Unis. La faculté des sciences de Paris crée seulement trois nouveaux postes de professeurs entre 1910 et 1938. Le nombre de diplômés scientifiques progresse beaucoup moins que celui des littéraires. On décele dans la France d'après 1945 certaines lacunes dans les connaissances scientifiques et les savoir-faire techniques, qui représentent autant d'obstacles, de délais supplémentaires et de risques pour les constructeurs de calculateurs électroniques. Ces lacunes concernent notamment la physique des solides et les technologies de l'enregistrement magnétique.

a. Un retard scientifique remontant à l'entre-deux-guerres

Peut-on trouver, dans le système d'enseignement, des explications aux problèmes contemporains de l'électronique française ? La thèse de Dominique Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, contient des éléments de réponse très éclairants.

L'enseignement de la physique en France avant la seconde guerre mondiale souffre en général d'un certain immobilisme. Le nombre d'étudiants en physique diminue même entre 1934 et 1939. Cette régression est due à la fois au fait qu'à cette époque arrivent à l'âge du baccalauréat les classes creuses nées pendant la

30 Voir E. Chadeau, *L'Industrie aéronautique en France (1900-1950). De Blériot à Dassault*, Paris, Fayard, 1987. La situation des nationalisées avait fait l'objet d'un rapport rédigé par un jeune conseiller d'État, Albin Chalandon, qui y dénonçait les « avions-casserole » produits par ces sociétés.

31 J. Ben David, *La Recherche fondamentale et les universités*, Paris, OCDE, 1968 ; R. Gilpin, *France in the Age of the Scientific State*, Princeton, Princeton University Press, 1968 ; D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, op. cit.

grande guerre ; et aux mesures de déflation prises par le gouvernement Laval pour tenter de remédier à la crise économique, mesures qui touchent toute la fonction publique y compris l'enseignement ; dès 1931, on a supprimé 650 abonnements à des revues scientifiques étrangères.

La moitié des élèves et des jeunes diplômés de l'ENS ont été tués au front en 1914-1918³² ; à ce massacre il faut ajouter le nombre de blessés graves et d'élèves dont la guerre interrompt les études et qui ne se réinscrivirent jamais (40 % des étudiants). C'est donc toute une génération qui est perdue pour la science. Cette perte n'est pas seulement quantitative : un chaînon manque dans la suite des générations. Il en va de même en mathématiques. L'un des fondateurs du groupe Bourbaki, Henri Cartan, a évoqué ce contexte :

Devant nous, il semblait qu'il n'y avait personne. Tant de mathématiciens, dont beaucoup de ceux qui auraient dû être nos maîtres, avaient été tués dans les boues de la Somme ou dans la forêt d'Argonne. Il n'y a eu aucun passe-droit. Les élites de la nation avaient été anéanties³³.

168

Faute de relève, la physique française entre les deux guerres reste dominée par des savants formés au XIX^e siècle et qui enseigneront toute leur vie la science classique. Cela au moment où, partout ailleurs dans le monde, la physique est révolutionnée par de nouvelles théories.

Ce conservatisme français apparaît nettement, par exemple, lorsque l'on compare le contenu des manuels français (les principaux étaient ceux de Fabry et de Bruhat) aux manuels de première année des collèges américains (ceux de Millikan ou de Gale & Edwards sont bien représentatifs). Les cours français marginalisent ou négligent la physique de la matière et de ses structures (en particulier la physique du solide), la compréhension de la matière et des relations matière / rayonnement, l'approche quantique ; l'électromagnétisme est à peine mieux traité. De plus, contrairement à leurs contemporains d'Europe et d'Amérique, les jeunes scientifiques français voyagent peu et ne peuvent guère prendre conscience de ces faiblesses.

« La conséquence en est que les nouvelles générations formées en France ne sont pas éduquées à l'indécision de la science et sont coupées des démarches les plus

32 M. Barrès « Que fait l'université pour la recherche scientifique ? », *Revue des deux mondes*, janvier 1920. Les victimes sont nettement moins nombreuses parmi les élèves de l'École polytechnique, d'après l'*Annuaire* des anciens élèves de l'X. Sans doute est-ce parce que les polytechniciens, souvent affectés aux armes savantes telles que l'artillerie, couraient moins de risques que les officiers d'infanterie. En Allemagne, les scientifiques avaient été généralement affectés dès le début de la guerre dans des laboratoires travaillant pour l'armée.

33 Cité par E. Gilquin, « René de Possel et ses machines : de Bourbaki à la réforme des mathématiques », *De Bourbaki à la machine à lire*, op. cit., p. 37-47.

récentes³⁴ », qu'il s'agisse des découvertes ou des mutations épistémologiques. Ces générations sont celles qui fourniront nombre d'ingénieurs et de chercheurs des années quarante et cinquante, et dont des représentants parviennent éventuellement à des postes de responsabilité à la fin de cette période. « Qui, parmi les cadres dirigeants de l'industrie électronique, connaît bien les problèmes techniques des transistors – à moins d'avoir consenti récemment un sérieux effort personnel de mise à jour ? Qui, même parmi les techniciens moins anciens, est au courant des possibilités des diodes tunnels qui, pourtant, connaissent actuellement un développement remarquable ? » déplore en 1962 un membre de la COPEP³⁵. Il est significatif qu'en 1958, le CNRS n'ait aucun laboratoire propre consacré aux semi-conducteurs³⁶, alors qu'il joue un rôle décisif dans le décollage d'autres domaines tels que la génétique, la physique nucléaire ou l'économétrie.

b. Un inégal développement des technologies du magnétisme

Une faiblesse flagrante dans l'environnement initial de l'informatique en France concerne les technologies d'enregistrement magnétique. Les techniques d'enregistrement ont été mises au point dès les années trente en Allemagne : brevets AEG et IG Farben, *Magnetophon* BASF en 1935, inventions de disques ou de tambours magnétiques par Joseph Nagler, Gerhard Dirks et Heinz Billing³⁷. Puis développées aux États-Unis, notamment chez ATT, Wilcox-Gay, Ampex, 3M, Bell Labs et ERA. La France semble passer complètement à côté. Elle ne bénéficie pas des brevets allemands confisqués ou achetés en 1945, qui contribuent à la réalisation des tambours magnétiques d'Engineering Research Associates à la fin des années quarante. Ses recherches propres ne semblent pas non plus s'orienter spontanément dans cette direction, bien que le tambour magnétique soit un cas typique d'invention simultanée.

Si la SEA réalise les tambours magnétiques de ses ordinateurs CAB, au début des années 1950, elle doit acheter à Ferranti celui de la machine CUBA. Bull, d'abord peu intéressé par ces techniques, aura de grandes difficultés à réaliser le tambour de ses premiers ordinateurs Gamma AET vers 1955. On a vu que ces difficultés ont été rédhibitoires dans le cas de l'ONERA. Quant aux dérouleurs de bandes magnétiques, SEA doit les acheter à l'Américain Potter Instruments avant d'en faire étudier et construire par la Compagnie des Compteurs ; Bull

34 D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940, op. cit.*

35 COPEP, *Situation de l'électronique en France*, Paris, mars 1962, p. 35, note 1.

36 RA CNRS 1958-1959. Il est vrai que les semi-conducteurs sont étudiés ailleurs, notamment au CNET.

37 W. de Beauclair, *Annals of the History of Computing*, 1986, t. 8, n° 4, p. 337 ; détaillé dans H. Petzold, *Rechnende Maschinen*, Düsseldorf, VDI Verlag, 1985, p. 212-229.

devra acheter ceux du Gamma 60 à la firme américaine Electrodata. C'est donc une technologie essentielle qui est quasi absente du tissu technologique français. Elle met longtemps à s'y implanter, si l'on compare la France au Japon où Akio Morita réalise, sans plus d'atouts au départ, les premiers magnétophones qui feront le succès de Sony³⁸.

La France est mieux placée dans le domaine des mémoires magnétiques matricielles (tores de ferrite). Dès 1952, J. A. Rajchman, des laboratoires RCA, est invité par F.-H. Raymond à prononcer une communication à la Société française des radioélectriciens sur « Les systèmes matriciels de mémoire³⁹ », où il décrit le Sélectron et les tores qui viennent d'être mises au point au MIT et chez RCA. Cette conférence révèle aux ingénieurs français *la* solution au problème des mémoires qui hantait les constructeurs d'ordinateurs. Deux ans plus tard, un grand colloque est organisé à Paris sur « Les procédés d'enregistrement sonore et leur extension à l'enregistrement des informations », dont les communications sont publiées dans la principale revue française d'électronique, *L'Onde électrique*⁴⁰. Nous pouvons ainsi connaître l'état de l'art dans la France de l'époque : les mémoires à tores, bien que très récentes, sont traitées dans plusieurs communications, à peine moins que les divers procédés d'enregistrement magnétique.

170

C. LES MATHÉMATIQUES FRANÇAISES : UN MILIEU FAVORABLE ?

Les ordinateurs sont des « machines mathématiques », comme on les appelait au milieu du siècle. La plupart des premiers calculateurs électroniques ont été construits, à l'étranger, dans les départements de mathématiques des organismes de recherche et d'enseignement supérieur. Ils répondent à des besoins de calcul exprimés par des milieux technico-scientifiques, qui avaient déjà développé la pratique des mathématiques appliquées ; les nouvelles machines vont, en retour, renforcer et transformer les mathématiques appliquées. D'autre part, au-delà de leurs applications arithmétiques, les ordinateurs sont essentiellement des machines logiques, des automates. La conception de leur architecture, de leurs circuits, de leur programmation, repose sur des concepts issus de la logique mathématique. Or, à l'époque

38 A. Morita, *Made in Japan*, Paris, Laffont, 1987.

39 J. A. Rajchman, « Les systèmes matriciels de mémoire », conférence du 3 juillet 1952, publiée dans *L'Onde électrique*, 1952, n° 32, p. 479-491.

40 *L'Onde électrique*, de février 1954 au milieu de 1955. Par ailleurs, *L'Onde électrique* publie deux articles de synthèse, l'un dès juillet 1953 de R. Dussine, ingénieur à la SEA, sur « Les mémoires dans les calculatrices arithmétiques » (passant en revue les technologies existantes, avec une bibliographie commentée), l'autre en 1955 de F.-H. Raymond, « Considérations sur l'enregistrement magnétique dans les machines à calculer ».

où l'informatique est en gestation, la scène mathématique française est dominée par l'émergence de Bourbaki, un collectif qui revivifie la recherche mathématique française et exerce un rayonnement international durable, mais qui contribue à exclure la logique de l'horizon des mathématiciens français et à marginaliser les mathématiques appliquées.

a. Une domination croissante des mathématiques pures

Les mathématiques sont l'un des points forts de la science française depuis plus de trois siècles. Viète et les « quatre grands » du XVII^e siècle (Desargues, Descartes, Fermat, Pascal) ont fondé une tradition qui n'a cessé de se renouveler et de rayonner jusqu'à nos jours, comme le montrent le nombre de médailles Fields obtenues par des Français, le niveau des publications ou l'importance des délégations françaises dans les colloques internationaux⁴¹. Lorsqu'au début du XIX^e siècle, Babbage, Herschel et Peacock entreprirent de moderniser les études mathématiques à Cambridge, ce sont les idées de « l'école française » (Laplace, Legendre, Lagrange...) qu'ils adoptèrent. Par ailleurs, le nom de Joseph Fourier est associé, dans le monde entier, à l'analyse harmonique (un fondement du calcul analogique) et – c'est moins connu – à des méthodes de programmation linéaire qui préfigurent la recherche opérationnelle⁴².

À l'orée du XX^e siècle, Henri Poincaré (1854-1912) est, avec l'Allemand David Hilbert, la figure dominante des mathématiques mondiales. Poincaré est l'auteur de multiples travaux dans tous les domaines des mathématiques, en particulier d'importantes études sur les équations différentielles ; les outils et les concepts qu'il forge constituent le cadre théorique des recherches actuelles sur les systèmes dynamiques et le chaos déterministe⁴³.

41 Le bilan en est régulièrement dressé dans les rapports de conjoncture du CNRS. La médaille Fields, créée en 1924, décernée à partir de 1936 à des mathématiciens de moins de 40 ans, a été obtenue neuf fois par des Français ou des Belges travaillant en France, sur un total de 38 lauréats.

42 B. Lemaire, « De la naissance à l'essor de la recherche opérationnelle ; la contribution du Professeur Faure », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988.

43 J.-L. Chabert et A. Dahan Dalmedico, « Henri Poincaré, le précurseur », *La Recherche*, Paris, mai 1991, n° 232. Les systèmes dynamiques sont classés en deux catégories : les systèmes en temps continu, exprimés par des équations différentielles ; et les systèmes en temps discret, que l'on étudie à l'aide d'itérations. Une équation différentielle est une relation entre une variable, une de ses fonctions et les dérivées de celles-ci. Sa résolution permet de trouver les différentes fonctions qui satisfont à l'équation. Les équations aux dérivées partielles sont des relations analogues qui correspondent à des fonctions de plusieurs variables. Elles jouent un rôle essentiel en physique. La première qui fut étudiée fut l'équation des cordes vibrantes.

Mais Poincaré ne laisse pas de disciples. Après les saignées de la Grande Guerre, les mathématiques françaises – tout comme la physique – semblent anémiées. La plupart des mathématiciens français poursuivent des travaux d'analyse, sur la lancée des problématiques du XIX^e siècle ; les probabilistes Borel et Lebesgue sont les chefs de file de l'école française de théorie des fonctions.

Pendant ce temps, les écoles allemande, polonaise et russe ont renouvelé profondément leurs perspectives sur la base de théories révolutionnaires (algèbre moderne, espaces non euclidiens, topologie, espaces à une infinité de dimensions, etc.) et du programme de Hilbert ; c'est alors que l'on commence à opposer couramment mathématiques « pures » et « appliquées ». Ces nouveautés pénètrent lentement en France, grâce à quelques individualités comme Élie Cartan ou Jacques Hadamard (1867-1963) qui introduit en France les travaux de Markov et de Kolmogorov⁴⁴. Le séminaire d'Hadamard, sans doute le premier séminaire de mathématiques en France, témoigne d'une influence des pratiques scientifiques allemandes, donnant une place nouvelle à la recherche collective.

172

Remarquons l'ouverture internationale des mathématiciens français de l'entre-deux-guerres, contrastant avec le repli national de la plupart de leurs collègues physiciens⁴⁵. Peut-être parce que les mathématiciens allemands ont moins directement participé aux crimes de guerre du I^{er} Reich que les physiciens et les chimistes ? Une fois la rancune anti-allemande apaisée, des mathématiciens tels Herbrand, Ville, de Possel et bien d'autres ont complété leur formation par une année dans les grandes universités d'Europe. Les biographies des mathématiciens français de cette époque, publiées dans l'*Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, mentionnent souvent des bourses de voyage, des années de stage à Vienne, à Berlin, à Göttingen, à Munich, à Rome. Dans le même esprit, l'Institut de mécanique des fluides de Paris accueille systématiquement des savants étrangers. Cette ouverture internationale leur permet de mesurer les faiblesses de l'école française.

Au milieu des années trente, un petit groupe de jeunes mathématiciens issus de l'École normale supérieure décide de réagir. Ils entreprennent de rédiger un traité, modestement intitulé *Éléments de Mathématique* et signé

44 R. Godement, « Les méthodes modernes et l'avenir des mathématiques concrètes », dans F. Le Lionnais (dir.), *Les Grands Courants de la pensée mathématique*, Marseille, Cahiers du Sud, 1948, p. 321. Sur l'histoire des mathématiques en France, voir M. Andler, « Les mathématiques à l'École normale supérieure au XX^e siècle : une esquisse », dans J.-F. Sirinelli (dir.), *L'École normale supérieure : deux siècles d'histoire*, Paris, PUF, 1994. L'œuvre d'A. N. Kolmogorov, le plus grand mathématicien russe du XX^e siècle, embrasse les domaines « purs » aussi bien qu'« appliqués » : aspects mathématiques de la mécanique, probabilités et statistiques (menant à la théorie de l'information).

45 D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, op. cit.

d'un pseudonyme collectif : « N. Bourbaki ». Innovant dans les méthodes de travail comme dans les approches scientifiques, « Bourbaki » va non seulement contribuer de façon décisive à revitaliser les mathématiques françaises, mais pousser très loin l'axiomatisation et l'étude des structures, instaurer une rigueur exigeante dans la rédaction des textes. « En nettoyant les “écuries d'Augias”, le groupe Bourbaki a fait, dans les mathématiques, une révolution analogue à celle de Linné dans les sciences naturelles »⁴⁶.

C'est ainsi que Bourbaki contribue fortement, dès l'après-guerre, à remettre l'école française à la pointe de la recherche mathématique mondiale. Ses animateurs et leurs travaux sont reconnus et influents sur la scène mathématique internationale, et contribuent d'ailleurs à y maintenir la langue française. Trois médailles Fields, décernées en 1950, 1954 et 1958 à des Français (Schwartz, Serre et Thom), viennent récompenser cet élan créateur. Alors que la physique tâche péniblement de se reconstruire, dans un sentiment aigu de retard vis-à-vis du monde anglo-américain considéré désormais comme un modèle, les mathématiques françaises sont sans complexe.

Toute médaille a son revers. Mettant de l'ordre dans les mathématiques, « Bourbaki » tend aussi à imposer son ordre parmi les mathématiciens – et au-delà. Il pousse à l'extrême les conséquences de l'affirmation de Gauss : « La mathématique est la reine des sciences », que l'on retrouve sous une autre forme dans la hiérarchie des sciences énoncée par Auguste Comte⁴⁷.

Les membres de Bourbaki accèdent à des positions de pouvoir académique à partir de 1940, lorsque Henri Cartan est nommé professeur à l'ENS, où il fonde en 1947 un séminaire dont le rôle sera considérable. Au milieu des années 1950, c'est à la Sorbonne et au Collège de France que les mathématiques sont profondément renouvelées : élection de J.-P. Serre au Collège de France, de Godement et Chevalley à la faculté des sciences de Paris. Cartan dirige jusqu'en 1965 le département de mathématiques de l'ENS, étape quasi-obligée d'une carrière de bon mathématicien dans la France centralisée d'alors ; et un autre membre de Bourbaki lui succède à ce poste-clé, François Bruhat.

46 L. Schwartz, « Souvenirs sur Jean Dieudonné », *Pour la Science*, n° 200, juin 1994, p. 8-10. Sur l'histoire de Bourbaki, voir la thèse de L. Beaulieu, *Bourbaki : une histoire du groupe de mathématiciens français et de ses travaux, 1934-1944*, thèse de doctorat, université de Montréal, 1990 ; L. Beaulieu, « A Parisian Café and Ten Proto-Bourbaki Meetings (1934-1935) », *The Mathematical Intelligencer*, New York, Springer Verlag, vol. 15, n° 1, 1993, p. 27-35 ; P. R. Halmos, « N. Bourbaki », *Scientific American*, n° 196, mai 1957, p. 88-99 ; et A. Weil, *Mémoires d'apprentissages*, Paris, Birkhäuser, 1990.

47 Auguste Comte, dans son cours de Philosophie positive professé à Polytechnique entre 1830 et 1842, place les mathématiques au pinacle des disciplines, suivies de la physique, puis de la chimie, de la biologie, etc. Ce classement repose effectivement, à l'époque, sur un ordre croissant de complexité des phénomènes étudiés, donc sur un ordre décroissant de précision et de rigueur, de pureté des objets étudiés qui sont donc de moins en moins mathématisables.

b. Une quasi-absence de la logique mathématique

Depuis deux siècles, la formation des ingénieurs en France est fondée sur les mathématiques. Si l'on examine les contenus de cette formation, peut-on discerner des points forts et des lacunes qui se maintiendraient à travers les générations ? Jean Dhombres repère parmi les permanences « l'absence quasi totale de théorie des nombres ou de combinatoire et l'absence aussi constante de logique mathématique dans la formation d'un ingénieur [...], malgré les progrès extraordinaires réalisés dans cette branche au xx^e siècle »⁴⁸ (théorème de Gödel, etc.) Ces lacunes se retrouvent dans tout l'enseignement scientifique.

174

« Le désert de la logique française »⁴⁹ : l'expression vient naturellement aux spécialistes de logique mathématique qui essayaient de trouver un directeur de thèse au milieu du siècle. Considérée comme un fatras de truismes ou d'absurdités par les plus grands mathématiciens français, notamment Poincaré, la logique est jugée superflue ou nuisible par les bourbakistes. Pourquoi cette exclusion ? Dans un article vigoureusement polémique, mais finement argumenté, Adrian R. D. Mathias explique que Bourbaki à ses débuts a étudié les fondements logiques des mathématiques (*Théorie des ensembles*, etc.) en se basant principalement sur les anciens travaux de Hilbert (logique des prédicats, 1922), sans tenir compte des nouveautés apportées plus récemment par Gödel et d'autres. Cette limitation, aggravée par une forme d'expression inadéquate, a conduit à des résultats contradictoires et peu intéressants. Bourbaki en a conclu que la logique elle-même n'a plus rien à apporter de solide aux mathématiques, que les mathématiques sont solidement établies sur la théorie des ensembles et qu'il est donc inutile d'en discuter plus avant les fondements⁵⁰. La logique est rejetée par eux vers la philosophie : elle est l'affaire de philosophes tels Jean Cavaillès et Albert Lautman, qui dialoguent avec les mathématiciens mais ne sont pas considérés comme des créateurs en logique mathématique ; du reste, ils disparaîtront pendant la guerre, tués par les nazis. Le seul spécialiste français de logique mathématique, Herbrand, est mort lui aussi prématurément.

Mathématicien exceptionnellement doué, Jacques Herbrand (1908-1931) avait été reçu premier au concours de l'ENS, à 17 ans, puis avait étudié à Berlin avec John von Neumann, à Hambourg, à Göttingen. Ses travaux couvrent l'algèbre moderne et la logique mathématique où sa principale contribution, publiée dans

48 J. Dhombres, « Structures mathématiques et formes de pensée chez les ingénieurs », *Culture technique*, 1984, n° 12.

49 Témoignage de L. Nolin. R. Fraïssé, « René de Possel. La période algéroise », *De Bourbaki à la machine à lire*, *op. cit.*, p. 56. Le caractère « désertique » de la logique française d'alors a été souligné dans le séminaire de philosophie des mathématiques (M. Caveing, H. Sinaceur, R. Thom), tenu à l'ENS en 1994-1995. Voir aussi *Revue d'histoire des sciences*, 1987, vol. XL, n° 1, numéro consacré à Jean Cavaillès et à Albert Lautman.

50 A. R. D. Mathias, « Bourbaki and the Scorning of Logic », *Ms.*, 2009.

sa thèse et aujourd'hui connue comme le « théorème de Herbrand », établit un lien entre la théorie de la quantification et la logique déclarative : il pose les conditions de validité d'une démonstration automatique. Ce théorème fournit une excellente procédure de preuve et « a de nombreuses applications (domaine exploré par Herbrand lui-même) aux problèmes de la décision et de la réduction. [...] Presque toutes les méthodes automatiques de preuves de théorèmes reposent sur le théorème de Herbrand »⁵¹. Malheureusement, Herbrand meurt à 23 ans dans un accident de montagne. Eût-il vécu, Herbrand aurait-il joué en France un rôle analogue à celui d'un Alan Turing outre-Manche ? La réponse est nettement affirmative pour les épistémologues J. Dubucs et P. Egré, comme pour le logicien Marcel Guillaume. En tout cas l'école mathématique française passe à côté de la floraison de découvertes en logique qui éclosent en Angleterre et aux États-Unis dans les années trente. Mentionnons seulement l'invention par Turing, Gödel et Church de la théorie des fonctions récursives, qui établit une base théorique de l'étude des calculateurs, de la calculabilité et de la programmation.

La faiblesse française en logique mathématique est en cause, par exemple, lorsque personne ne relève l'erreur énorme commise par Couffignal en 1938 dans une note aux compte-rendus de l'Académie des sciences, où il affirme avoir conçu une machine capable de prouver mécaniquement des démonstrations logiques⁵². Couffignal ignore visiblement le théorème d'incomplétude de Gödel, qui a montré en 1931 l'impossibilité d'une telle réalisation ; et il ne fait aucune référence à la « machine de Turing » (1936) qui teste le théorème de Gödel. On ne trouve ensuite, dans l'environnement immédiat des premiers centres français de calcul électronique, aucun logicien comparable à Bernays (Zürich) ou à Turing (Manchester). La logique mathématique ne renaîtra dans l'université française qu'à partir du milieu des années 1950 après un trou noir

51 C. Gillispie (dir.), *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Princeton, Ch. Scribner's sons. Voir aussi la nécrologie de Herbrand rédigée par Cl. Chevalley et A. Lautman dans *Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, Paris, s.n., 1932, et J. Herbrand, *Écrits logiques*, Paris, PUF, 1968, où figure un texte de Cl. Chevalley « Sur la pensée de Jacques Herbrand ». Le seul autre spécialiste français de logique mathématique de cette génération, Jean Nicod, est mort en 1924 à 31 ans. J. Dubucs et P. Egré, « Jacques Herbrand » (notice qui discute un point de l'article de Cl. Chevalley) et « Jean Nicod, l'induction et la géométrie », dans M. Bitbol et J. Gayon (dir.), *Cent ans d'épistémologie française*, Paris, PUF, 2006, p. 301-322. M. Guillaume, « La logique mathématique en France entre les deux guerres mondiales : quelques repères », *Revue d'histoire des sciences*, septembre 2009, vol. 62, n° 1, p. 177-220.

52 « Solution générale, par des moyens mécaniques, des problèmes fondamentaux de la logique déductive », *Comptes rendus Académie des sciences, Paris*, 206, p. 1336-1338 (1938) ; « Sur un problème d'analyse mécanique abstraite », *Comptes rendus Académie des sciences, Paris*, 206, p. 11529-1331 (1938). L'erreur de Couffignal a été relevée par G. Ramunni, « Louis Couffignal (1902-1966) : un pionnier de l'informatique en France ? », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988. Poincaré avait eu, vingt ans avant Gödel, l'intuition du théorème d'incomplétude, ce qui l'amena à rejeter le programme de Hilbert (J. Dieudonné, « Henri Poincaré », dans C. Gillispie (dir.), *Dictionary of Scientific Biography*, op. cit.).

d'un quart de siècle, avec quelques cours de Jean Ville et de Pierre Samuel, le séminaire d'algèbre et théorie des nombres de Paul Dubreil et l'installation à Paris d'un logicien américain, Georg Kreisel, invité par Henri Cartan à enseigner en Sorbonne. Puis avec la création à l'IHP du séminaire de logique de J.-L. Destouches, assisté de Daniel Lacombe, Jean Porte et Roland Fraissé.

c. Les mathématiques et leurs applications

Dans l'entre-deux-guerres comme dans la période de reconstruction, on constate que les laboratoires français, comparés à leurs équivalents étrangers, sont faiblement équipés en matériels de calcul. Les universitaires, en particulier les mathématiciens, ne sont donc pas habitués à faire appel à des équipements lourds pour le travail arithmétique (dans les souvenirs des témoins, les calculs s'effectuaient « à la main »). Ils ne sont pas non plus disposés, en général, à construire eux-mêmes des machines dans leurs laboratoires.

176

Peut-on parler d'un sous-équipement ? Oui, dans la mesure où l'appauvrissement dramatique de la recherche française au cours des années vingt a empêché les laboratoires de s'équiper. Non, car on constate ensuite que la recherche française semble avoir peu besoin de calcul : si l'équipement est faible, c'est parce qu'il correspond à un faible niveau de la demande, dans presque toutes les disciplines. Cela nous paraît confirmé, après la guerre, par l'importation de matériel scientifique allemand, qui révèle des exigences limitées en machines à calculer. Au sein même du milieu mathématicien, la domination des mathématiques pures (qui est un phénomène historiquement daté, non une constante « culturelle ») contribue à accentuer ces particularités de la science française, en maintenant à un niveau subalterne les disciplines liées au calcul et en favorisant une pratique « artisanale » de la recherche.

En principe, Bourbaki ne s'oppose nullement aux applications. Au contraire, l'abstraction n'est recherchée que pour élaborer des théories applicables à la plus grande variété possible de problèmes. C'est l'un des mises en œuvre les plus poussées de la démarche perfectionniste, avec toutes les qualités qu'elle présente pour l'esprit et tous ses inconvénients du point de vue pratique.

Dès les années cinquante, Cartan a contribué à « purifier » la formation des mathématiciens, par exemple en supprimant l'obligation de passer un certificat de mécanique rationnelle pour obtenir la licence en mathématiques. Or un cursus purement mathématique tend à focaliser les étudiants sur les mathématiques... pures, tandis que l'inclusion d'une autre discipline est indispensable pour former une tournure d'esprit « mathématiques appliquées », une aptitude à comprendre les demandes émanant d'autres secteurs et à coopérer

dans une équipe interdisciplinaire. La conception puriste des mathématiques dominera en France jusqu'aux années soixante-dix :

Des mathématiques autonomes, seules juges et seuls moteurs de leurs développements, ayant pour but de créer les nouveaux Gauss et Poincaré qui feront faire des progrès à la science, dans une ambiance élitiste de repli sur soi, voire de refus de l'échange scientifique, avec éventuellement des propos aberrants sur le manque de rigueur du travail des physiciens⁵³.

À l'intérieur même des mathématiques, le reproche de manque de rigueur s'adresse notamment aux probabilités et aux mathématiques « appliquées »⁵⁴. L'impression qui se dégage des témoignages recueillis auprès des pionniers universitaires du calcul et de l'informatique est que les « maths appli » ont été brimées, marginalisées, méprisées par Bourbaki⁵⁵. L'expérience vécue par J. Arzac, décrite dans plusieurs de ses publications, est très représentative à cet égard. Le même sentiment est évoqué par J. Kuntzmann dans ses souvenirs, par Cl. Pair, par bien d'autres qui ont rappelé cette ambiance. J.-L. Lions lui-même rappelle que « les mathématiciens purs considéraient l'analyse numérique en général avec le mépris le plus total »⁵⁶. Parfois le mépris s'exprime crûment : « L'informatique est la poubelle des mathématiques »⁵⁷.

J. Ville se souviendra que, quand il était étudiant dans les années 1930, le calcul des probabilités

était considéré comme un passe-temps honorable pour mathématiciens chevronnés qui s'étaient distingués déjà par d'autres travaux de mathématiques pures, pour ne pas dire véritables mathématiques, telles que l'analyse. D'autres passe-temps tenaient compagnie au calcul des probabilités. On y comptait l'algèbre de Boole, [...] la logique mathématique alors appelée *logistique*. Cette attitude de dédain se manifestait par la quasi-inexistence des enseignements et la méfiance envers les jeunes gens attirés par ces disciplines, soupçonnés d'être séduits par le divertissement plutôt que par la recherche sérieuse. [...] Quant à la théorie des jeux, son champ était encore davantage considéré comme

53 J.-L. Verdier, « Où vont les mathématiques françaises ? », *Le Débat*, n° 46, septembre 1987, p. 114. Verdier lui-même est une figure historique du séminaire Bourbaki.

54 Sur la genèse de la distinction entre mathématiques pures et mathématiques appliquées, voir notamment J. Dhombres et J.-B. Robert, *Fourier, créateur de la physique-mathématique 1768-1830*, Paris, Belin, 1998, chap. IX. L'expression *mathématiques appliquées* remonte au début du XIX^e siècle ; des *Annales de mathématiques pures et appliquées*, dites *Annales de Gergonne*, parurent de 1810 à 1832.

55 Ce rejet est bien décrit par L. Schwartz, lui-même proche à la fois de Bourbaki et d'éminents mathématiciens appliqués comme Lions (*Un mathématicien aux prises avec le siècle*, Paris, Odile Jacob, 1997, p. 172-174 : « Des erreurs de Bourbaki »).

56 Entretien avec Jacques-Louis Lions, 20 novembre 1986.

57 Propos rapporté par Jacques Arzac lors de notre premier entretien, 1986.

divertissement. [...] Il en fut ainsi jusqu'à ce que débarquent des USA recherche opérationnelle, programmes linéaires, théorie des jeux appliquée à l'économie. Je l'appris par M. Indjoudjian, rentrant de mission [vraisemblablement vers 1950]. Il me dit la sensation faite par les travaux de von Neumann et Morgenstern⁵⁸.

Dans les années 1970 encore, le très puriste Jean Dieudonné exprime superbement sa conception de la hiérarchie des mathématiques dans deux publications : un *Panorama des mathématiques pures*, contenant un tableau où sont classées différentes sous-disciplines « par ordre de densité bourbachique » ; et un article « Orientation générale des mathématiques pures en 1973 » qui explicite sans ambages les valeurs justifiant cette classification :

La question essentielle est [...] quels sont les critères sur lesquels on peut juger un travail mathématique ? Comme on ne tient pas compte des critères utilitaires, il ne reste plus que des critères esthétiques ». Et, « puisqu'il s'agit d'esthétique, nous dirons qu'il y a des Mathématiques nobles et des Mathématiques serviles. Comment classer ? Il n'y a pas de vote. Les Mathématiques, c'est une question d'aristocratie. Les bonnes Mathématiques sont faites par très peu de gens (150 au XX^e siècle, au plus). Il y a une poignée de *leaders* [...]. Une théorie noble est une théorie considérée comme bonne par ces Mathématiciens : l'opinion des autres est sans importance⁵⁹.

Dans ces « cascades de mépris » familières aux historiens de la société d'Ancien Régime, le manant, le paria est le calcul – et l'individu qui s'y intéresse. Ils végètent au bas de l'échelle, parmi les rubriques « de densité bourbachique nulle ». Le mathématicien soucieux de sa carrière, craignant de déroger ou tenant simplement à sa reconnaissance professionnelle, ne se consacrera pas à cette activité « d'une technicité répugnante »⁶⁰.

58 J. Ville, « Théorie des jeux, dualité, développement », *Économie appliquée*, 1983, n° 4, p. 593. Parlant dans un colloque au Collège de France, Ville fait un historique de ce domaine, appuyé sur ses souvenirs personnels.

59 J. Dieudonné, *Panorama des mathématiques pures*, Paris, Gauthier-Villars, 1978, et « Orientation générale des mathématiques pures en 1973 », *Gazette des Mathématiques*, octobre 1973. Toute orientation vers les mathématiques appliquées, par exemple vers les probabilités, les statistiques ou l'analyse numérique, était fortement déconseillée à l'ENS dans les années cinquante (M. Andler, « Les mathématiques à l'École normale supérieure au XX^e siècle : une esquisse », dans J.-F. Sirinelli (dir.), *L'École normale supérieure, op. cit.* De plus, un certain contexte idéologique pèse à l'époque sur les esprits, qui s'arrange pour concilier l'hyper-élitisme bourbakiste avec des convictions très marquées à gauche. Malgré les leçons de la guerre, ou à cause de l'expérience de celle-ci, beaucoup de mathématiciens d'obédience communiste affirment leur hostilité envers les applications industrielles et militaires. Cette idéologie connaîtra un regain de vitalité dans la recherche au cours des années 1970, où la contestation gauchiste se muera dans certains cas en mouvement anti-science. Au point que plusieurs mathématiciens cesseront de faire de la recherche pour se consacrer totalement au militantisme politique.

60 Expression relevée par N. Gastinel, « Les mathématiques numériques. État des recherches et de l'enseignement des mathématiques numériques en France avant 1945-46 », *Chiffres*,

Cette relégation dans les arrières-cuisines de la science a profondément marqué le vécu et la mémoire des pionniers du calcul numérique et de l'informatique. En tant que telle, elle a une valeur explicative importante. Il faut toutefois l'historiciser, la situer dans le temps et dans l'évolution des esprits. Sans quoi l'on risque de se laisser entraîner, par le discours des acteurs, à considérer le purisme comme un trait permanent, un caractère génétique dominant de la science française.

Bourbaki n'est apparu qu'au milieu des années 1930, en réaction à un état jugé médiocre de l'école mathématique française. Il était jusque-là normal et courant qu'un professeur de mathématiques s'intéresse aux applications – peut-être même plus en France qu'aux États-Unis. Par ailleurs, même à son apogée, Bourbaki est loin de monopoliser le pouvoir universitaire. Dans les années 1950, s'il règne à Nancy et à l'ENS, il est peu présent dans d'autres universités ; la faculté des sciences de Paris a pour doyen Pérès, grande figure des mathématiques appliquées.

Si l'on considère le point de vue des mathématiciens purs, on ne voit pas tant une politique d'ostracisation vis-à-vis des applications qu'une indifférence. Tout à leurs recherches, ils sont essentiellement indifférents à l'agitation qu'ils peuvent percevoir autour du calcul électronique : c'est un autre monde, mû par d'autres valeurs et de tout autres centres d'intérêt scientifiques. La pratique de Bourbaki, voire son éthique, est à l'opposé d'une participation directe du mathématicien à des réalisations technologiques. L'un des chefs de file du groupe, André Weil, vante en 1947 la liberté exceptionnelle que procure au mathématicien sa discipline :

Qu'un autre hante les antichambres [de l'État] pour se faire accorder le coûteux appareillage sans lequel il n'est guère de prix Nobel : un crayon et du papier, c'est tout ce qu'il faut au mathématicien, encore peut-il s'en passer à l'occasion⁶¹.

Cette vision idéalisée est loin de refléter la pratique réelle de nombreux mathématiciens français au xx^e siècle. Mais elle exerce un effet de modèle. Ainsi, les mathématiciens – purs ou appliqués – n'utilisent guère le CNRS que comme une agence distribuant des bourses de thèse, poursuivant la pratique des commissions d'universitaires héritées de l'ancienne Caisse nationale des sciences. Ils vont s'y trouver progressivement marginalisés, passant de trois

Grenoble, n° spécial « J. Kuntzmann », octobre 1977, p. 9.

61 A. Weil, « L'avenir des mathématiques », dans F. Le Lionnais (dir.), *Les Grands Courants de la pensée mathématique*, op. cit., p. 310. En 1959, le rapport de conjoncture de la commission de mathématiques pures du CNRS commence par affirmer : « Les mathématiciens n'ont pas besoin de laboratoires ni d'importants crédits d'équipement » (p. 9). Le mode de travail immatériel des mathématiciens français se retrouve dans l'organisation du département de mathématiques à l'ENS sous H. Cartan (1940-1961) : il y a un professeur (Cartan), une secrétaire, un « caïman » (major de l'ENS) et une bibliothécaire unique.

sections du Comité national à une seule⁶². Ils restent centrés sur l'université, qu'ils dominent : la faculté des sciences de Paris a pour doyens successifs Pérès (années cinquante) et Zamansky (années soixante), tandis que le CNRS sera dirigé sans interruption par des physiciens, de 1950 à 1988.

Les mathématiques appliquées dans l'université française doivent batailler pour faire admettre leurs approches, tandis qu'aux États-Unis la mobilisation des mathématiciens pour l'effort de guerre a dès 1941 accéléré le renversement de valeurs et déclenché le processus pour « rendre les mathématiques appliquées respectables » dans une partie des universités américaines⁶³.

Schématisons : sauf exceptions, le milieu mathématicien français passe à côté du mouvement qui, en France comme à l'étranger, transforme la pratique scientifique, jusque-là « artisanale » et individualiste, en science « lourde » (*big science*). Réticent à l'égard de la science « lourde » et organisée, réfractaire aux applications et aux échanges avec d'autres disciplines, il ne constitue généralement pas un terrain favorable à la construction et à l'utilisation de grands outils de calcul. Les jeunes mathématiciens sont encouragés à s'orienter vers les mathématiques pures ; les mathématiciens « appliqués » s'abstiennent de construire des machines, pour ne pas perdre toute respectabilité aux yeux de leurs pairs.

180

Les mathématiciens ne construisent pas de machines

Peut-on fonder une carrière scientifique sur l'invention d'appareils, sur l'ingénierie scientifique, bref sur la technologie ? C'est possible en physique dès le début du siècle, comme le montrent les succès de Pierre Curie ou d'Aimé Cotton, constructeur du grand électro-aimant de Bellevue⁶⁴. Le comité Nobel l'a confirmé en distinguant Georges Charpak. Ce n'est pas le cas en mathématiques. On est frappé de ne pas trouver une ligne, dans les notices autobiographiques de Fréchet⁶⁵, sur son projet de machine binaire de 1939 ; pourtant cette notice est longue et détaillée, Fréchet y insiste sur son goût pour les applications des mathématiques ! À moins qu'il ne soit pas le véritable auteur du projet – ce qui resterait à prouver – cela signifie que la conception d'un

62 En 1951, les mathématiciens contrôlent trois sections du Comité national de la recherche scientifique (Mathématiques pures ; Théories physiques, probabilités, applications ; Mécanique générale et mathématiques appliquées). Vingt ans plus tard, il ne leur restera que la section de Mathématiques, où siègeront probabilistes et informaticiens. Cette réduction de territoire est d'autant plus forte qu'entre temps, le nombre total de sections a augmenté (P.-É. Mounier-Kuhn, *Le Comité national et l'émergence de nouvelles disciplines au CNRS : le cas de l'informatique (1946-1976)*, Paris, CNAM, Mémoire de DEA, Centre STS, 1987).

63 A. Dahan Dalmedico, « L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis : l'impact de la seconde guerre mondiale », art. cit.

64 T. Shinn, « The Giant Bellevue Electro-Magnet. Dynamics of Instrument Development », papier présenté au séminaire GEMAS-CRHST, Paris, La Villette, 1993.

65 Dossier Maurice Fréchet (Arch. nat. AJ/16/5738).

calculateur compte pour zéro dans les critères de promotion d'un mathématicien français au milieu du siècle.

L'impression générale, dans le domaine que nous étudions, est que les universitaires français sont réticents à construire eux-mêmes les machines qu'ils conçoivent, d'autant plus réticents que leur statut professionnel est élevé :

- L'IHP, Institut de mathématiques, ne réalise pas lui-même les projets Fréchet et Couffignal, il les sous-traite à l'industrie.
- L'Institut Blaise Pascal, pourtant fondé dans l'esprit de la « science lourde », confie la construction de la machine de Couffignal à une firme privée, sans que cela soit justifié par un apport de compétences. Après la faillite de Logabax, le CNRS sollicite d'autres firmes et se résout finalement à acheter un ordinateur anglais : tout, plutôt que de construire une machine dans un laboratoire de mathématiques !
- Le même esprit règne à Grenoble, dans l'excellente équipe de numériciens dirigée par Jean Kuntzmann : jamais avant 1960 on n'envisage d'y construire un calculateur, comme le font les instituts comparables allemands, britanniques ou hollandais.

Partout ailleurs dans le monde, les laboratoires de mathématiques recrutent des électroniciens et montent leurs calculateurs *in situ*. Il semble qu'en France, mettre la main à une réalisation technique soit en dessous de la condition d'un professeur ou d'un inspecteur général de l'Éducation nationale, fut-il docteur ès-calcul mécanique. Cela n'est acceptable qu'à un niveau subalterne, en début de carrière, ou si la formation comporte un diplôme d'ingénieur tempérant le purisme universitaire : c'est un assistant, bientôt ingénieur Supaéro, Malavard, qui réalise la cuve rhéologique imaginée par Pérès. À l'Institut d'optique, Maréchal, encore thésard, fabrique lui-même son calculateur mécanique ; mais après son diplôme, il ne songe plus à en construire sur place la version électronique, et fait appel à la SEA.

Ce rejet de la réalisation technique ne s'observe pas au CNET ou à l'ONERA, qui emploient des ingénieurs plus que des universitaires. Toutefois, le comportement des *mathématiciens* du CNET confirme le schéma ci-dessus : ils n'envisagent jamais de s'équiper de calculateurs, encore moins d'en construire. Cette attitude cumule ses effets avec la faible mécanisation du calcul que l'on constate en France, avant comme après la seconde guerre mondiale.

d. Une faible mécanisation du calcul

Dans la plupart des pays industrialisés, à partir de la fin des années 1930, les gros équipements de calcul se multiplient dans les centres de recherche. Le modèle est fourni par les calculateurs analogiques de Vannevar Bush,

construits au MIT et à l'université de Pennsylvanie. Ils sont reproduits à Dublin, à Belfast, à Cambridge, à Manchester et au Royal Aircraft Establishment de Farnborough, ainsi que dans plusieurs universités d'Europe du Nord : analyseurs différentiels mécanique puis électrique de l'École polytechnique de Chalmers en Suède, de l'université d'Oslo, analyseur différentiel de Léningrad, calculeur de l'Institut für Praktische Mathematik de Darmstadt⁶⁶. Ce dernier institut produit ou acquiert de nombreux équipements analogiques et numériques (« double intégrateur »), tandis qu'un grand calculeur de marées est installé en 1938 à l'Institut hydrographique de Berlin. La firme Askania construit, pour l'Institut de mathématiques appliquées de l'université technique d'Aix-la-Chapelle, un calculeur analogique dont plusieurs versions seront reproduites après la guerre. Le premier calculeur analogique électronique du monde est monté à Peenemünde par H. Hoelzer en 1944.

182

Le physicien Léon Brillouin, qui a utilisé la machine de Bush au MIT, expliquera leur intérêt dans une conférence en 1947, quand ces appareils feront déjà figure d'ancêtres :

Les machines de V. Bush, du Massachusetts Institute of Technology [...] sont extrêmement intéressantes car ces réalisations de Bush ont réellement ramené l'attention du monde savant sur les problèmes de calcul mathématique pour la résolution automatique complète de problèmes compliqués. [...] il en existe maintenant une dizaine d'exemplaires sous des formes variées dans le monde entier. Cet ancêtre est basé essentiellement sur l'utilisation d'intégrateurs à roulettes. L'intégrateur à roulettes calcule mécaniquement une intégrale avec une précision d'ailleurs limitée [...] ces machines arrivent péniblement à donner trois chiffres exacts ; pour de très nombreux problèmes, cette précision est suffisante, pour d'autres elle est notoirement insuffisante⁶⁷.

Ces machines habituent les chercheurs à utiliser massivement les calculeurs et, de par leur limitations mêmes, préparent le terrain pour les futurs ordinateurs⁶⁸. Ainsi, Vannevar Bush dirige ensuite au MIT un projet de calculeur arithmétique électronique, financé par le constructeur

66 L. Brillouin, « Les grandes machines mathématiques américaines », *Atomes*, n° 21, décembre 1947.

67 17 analyseurs différentiels copiés sur celui de V. Bush auraient été construits au total à travers le monde de 1930 à 1951 (S. Fifer, *Analogue Computation (Theory, Techniques and Applications)*, New York, McGraw Hill, 1961. Van der Poel a fait remarquer que ces appareils ne sont en fait ni analyseurs, ni différentiels, mais au contraire synthétiseurs et intégrants...

68 Sur l'histoire de ces machines, voir notamment W. Aspray (dir.), *Computing before Computers*, Ames, Iowa State University Press, 1990.

mécanographique NCR. Abandonné en 1942, ce projet fournit néanmoins au MIT une expérience qui se retrouvera dans l'élaboration de l'ordinateur Whirlwind.

Exemples de la statistique et de l'aéronautique

En France, la mécanisation est nettement plus faible que dans les autres pays développés, qu'il s'agisse du traitement des données administratives ou du calcul scientifique.

La Statistique générale de la France, créée en 1838 pour effectuer les recensements, se développe beaucoup plus lentement que ses équivalents étrangers. La France est incapable de tenir les engagements qu'elle a souscrits en signant la convention internationale de 1928 sur les statistiques économiques. Les pouvoirs publics, inconscients de l'utilité que pourraient avoir les connaissances statistiques pour la politique économique (autres que les recensements démographiques), ne demandent rien à la SGF, dont les effectifs sont même réduits lors de la déflation de 1934. Le recueil d'indices créé par Lucien March et continué par l'ISUP est tenu à bout de bras financier par des fondations américaines. Sur le plan de la production de machines de gestion, il est significatif qu'en 1939 la filiale d'IBM en France est cinq fois plus petite que son homologue allemande Dehomag⁶⁹.

Cette situation se retrouve dans les institutions scientifiques françaises. L'on n'y voit guère d'équivalent des équipements numériques ou analogiques réalisés à l'étranger. Deux exemples illustrent le sous-développement des moyens de calcul dans la recherche française d'avant guerre, ce sont Louis Néel et Yves Rocard. Ces deux physiciens nous intéressent à plusieurs titres : ils personnifient une nouvelle génération de chercheurs, modernisatrice ; tous deux travaillent dans des domaines qui nécessitent en principe des calculs importants, l'électronique et les phénomènes vibratoires ; accessoirement, leurs champs de recherche – le magnétisme pour Néel, l'électronique pour Rocard – correspondent à des technologies de base des futurs ordinateurs.

En 1938, Louis Néel, alors professeur à Strasbourg – l'une des plus prestigieuses facultés de France, et parmi les mieux dotées –, « après avoir donné une interprétation théorique de la curieuse variation de la chaleur spécifique du nickel au voisinage du point de Curie », passe « deux mois de vacances, matin et soir, à tourner la manivelle d'une machine à calculer afin de comparer [ses] résultats à l'expérience »⁷⁰. S'il avait travaillé en Grande Bretagne, aux États-Unis, en Allemagne, le Pr. Néel aurait disposé de moyens de calcul plus

69 G. Bauer, *Datentechnik im Wandel*, Hambourg, Springer Verlag, 1986.

70 L. Néel, « Message d'introduction », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit.

puissants et plus rapides : service de calcul équipé d'une grande machine ou de calculatrices de bureau actionnées par des techniciens, service mécanographique de « calcul à façon » comme celui que fonde à Londres, en 1936, J. Comrie, ancien directeur de l'Almanach nautique.

En 1939, Yves Rocard est invité par le service technique de l'aéronautique à étudier le problème de la vibration des ailes d'avions. Ce problème était apparu avec la généralisation des monoplans, moins rigides que les biplans, et avec l'augmentation de la puissance des moteurs, donc de la vitesse des appareils : si l'on atteignait une vitesse critique, propre à chaque type d'avion, « une vibration d'une nouvelle espèce naissait et s'amplifiait, l'aile volait en éclats comme une boîte d'allumettes éparpillée, provoquant la chute de l'appareil ».

184

La flotte française de bombardement était constituée essentiellement de Bloch 200 [...] extrêmement mal conçus et réalisés, (qui) constituaient un véritable défi à l'aérodynamique. [...] Je me souviens avoir travaillé sur le Morane 706, le Morane 708, ces avions de chasse de nouvelle génération, qui pouvaient piquer à la verticale à 700 km/h. À 750 km/h en revanche, ils volaient en éclats. [...] Dans les mois d'août à octobre 1939, les pilotes rendirent compte des limitations de leur manœuvres : ils ne pouvaient par exemple pas suivre un Messerschmitt allemand qui piquait à la verticale. [...] Je passais mes samedis et mes dimanches à calculer les vitesses critiques de tous les avions français de l'époque, et mes résultats étaient adressés au ministre de l'Air [...]. Nous avons sérieusement amélioré nos avions et résolu des problèmes qui sauvaient l'existence des pilotes dans les piqués profonds. Mais c'était déjà bien tard, la débâcle arrivait. [...] Et puis surtout j'étais seul [...], je n'avais comme seul moyen que mon crayon, faisant à la hâte les calculs pour donner des réponses⁷¹.

Or, quelques années auparavant à Berlin, l'ingénieur Konrad Zuse, étudiant des problèmes analogues de mécanique appliquée à l'aviation, avait construit une machine pour automatiser ces fastidieux calculs ; Zuse travaillait en 1935 pour Henschel, et il consacra pendant la guerre la plupart de ses recherches à construire des calculateurs pour l'aéronautique. La différence est frappante : là un jeune ingénieur construit une calculatrice, ici un universitaire reconnu, ayant l'expérience de la recherche fondamentale et industrielle, en est réduit à

71 Y. Rocard, *Mémoires sans concessions*, Paris, Grasset, 1988, p. 40-43. Rocard publie en 1941 une *Théorie des oscillateurs* contenant un chapitre sur la vibration des ailes d'avions. Il s'agit en fait du Morane 406, qui dépasse péniblement les 500 km/h en vol normal. D'autres chasseurs français opérationnels en 1940 sont plus performants, mais aucun n'atteint la vitesse du Messerschmitt 109.

« calculer à la main »⁷². L'armée de l'air ne manquant pas de ressources, comment expliquer cette différence ?

La raison la plus directe est que les structures de l'industrie aéronautique semblaient favoriser le bricolage plutôt que la recherche. Dans *L'Industrie aéronautique en France*⁷³, E. Chadeau dresse un tableau effarant de l'aéronautique française des années trente : une industrie « cacophonique » qui hésite entre « inventer et spéculer », entre « affairisme et nationalisations ». La politique du service technique de l'aéronautique, consistant à diviser pour régner, perpétue l'éparpillement des constructeurs de l'âge héroïque et les incite à multiplier les prototypes d'avions (les « attrape-crédits ») qui ne sont ni très innovants ni parfois industrialisables⁷⁴. Les nationalisations opérées par le Front populaire ne s'accompagnent pas d'une rationalisation dans ce secteur : les entreprises étatisées entretiennent en 1937 douze bureaux d'études, qui coexistent avec huit bureaux d'études chez les constructeurs privés subsistant.

Pas plus que dans l'université, les structures de la recherche ne peuvent atteindre la taille critique favorable à l'utilisation de matériel lourd de calcul. Du reste, la demande serait faible : la plupart des bureaux d'études sont, soit au chômage, soit déclassés, « à recopier des plans au lieu de les concevoir ». C'est seulement en 1938 que l'organisation et la production commencent à s'améliorer – elles devraient être fin prêtes en 1941... Mais Hitler n'attendra pas. En 1940, l'armée de l'Air française devra gérer 38 modèles d'avions en 42 versions, sans compter les variantes, construits par 23 sociétés. En face, la Luftwaffe n'engagera que 9 modèles d'appareils, pour la plupart très performants.

Les militaires avaient pourtant imaginé une politique des structures de la recherche. Ils ont créé en 1934 un « arsenal aéronautique » destiné à effectuer les recherches fondamentales en liaison avec des organismes possédant des

72 En fait, l'IHP effectuée pour Rocard le calcul des vibrations d'ailes d'avions et « d'intégrales donnant le rayonnement d'une antenne circulaire pour diverses longueurs d'onde » (G3-S11-L2) ; et Rocard étudie le « perfectionnement de procédés numériques des Calculs » et des projets d'analyseurs différentiels, avec le laboratoire « L3 » de l'institut (celui de L. de Broglie semble-t-il) (SHAT 2 N 140/1). Sur le calcul de résistance des structures dans d'autres domaines, voir par exemple D. Barjot, *Travaux publics de France : un siècle d'entreprises et d'entrepreneurs (1883-1992)*, Paris, Presses de l'ENPC, 1993.

73 E. Chadeau, *L'Industrie aéronautique en France, op. cit.*, Paris, Fayard, 1987, notamment p. 242-243 et 345.

74 « La dispersion extrême des constructeurs (30 à 35 firmes aéronautiques), la tyrannie formaliste du service technique de l'aéronautique, le peu d'intérêt porté à l'Aviation par les responsables militaires, expliquent le déclin de notre industrie. » (Général Christiane, « L'industrie aéronautique française de septembre 1939 à juin 1940 », Actes du colloque *Français et Britanniques dans la drôle de guerre*, Paris, CNRS Éditions, 1979). La « politique des prototypes » est à rapprocher de la politique scientifique française du début du siècle, consistant à récompenser les inventeurs individuels plutôt qu'à favoriser le développement de la recherche collective organisée autour de moyens « lourds ».

laboratoires et des souffleries ; ce dispositif construirait des prototypes qui seraient ensuite confiés à l'industrie... D'excellents ingénieurs y sont affectés, mais « ce centre servit, pour des raisons obscures, "d'hôpital" chargé de recueillir des constructeurs malchanceux⁷⁵. »

Parallèlement, en 1937, l'Armée reprend un programme de développement de fusées lancé à la fin de la Grande Guerre. Deux marchés sont passés par le ministère de l'Air, pour 100 roquettes air-sol et 700 roquettes sol-air ; en 1940, un troisième marché est conclu pour une production en grande série, prévoyant des batteries de fusées sur véhicules⁷⁶. La mise au point de ces systèmes exigeait, en principe, des calculs de stabilité. On ne voit pas que cela ait induit la construction de calculateurs spéciaux.

Les cafouillages de la politique industrielle ne suffisent pourtant pas à expliquer la faiblesse des moyens de calcul, puisque cette faiblesse s'observe, bien au-delà de l'aéronautique, dans toute la recherche scientifique.

186

L'inventaire de 1939 : la rareté des moyens de calcul

Au-delà des situations de pénurie évoquées par Néel et Rocard, peut-on évaluer la richesse des laboratoires français en moyens de calcul ? Nous connaissons bien leur équipement, grâce à la mobilisation scientifique qui imposa en 1939 le recensement des matériels et des personnels. La rareté des moyens de calcul est frappante, sauf dans quelques lieux qui font figure d'exceptions.

Le mieux doté est l'Institut Henri Poincaré qui, en 1938, possède 27 appareils de calcul, payés par la Caisse nationale des recherches scientifiques⁷⁷. Toutefois, ce luxe semble récent, remontant pour l'essentiel au milieu des années 1930 (le projet d'IHP, en 1928, prévoyait un poste de calculateur, mais on n'en trouve

75 E. Chadeau, *L'Industrie aéronautique en France, op. cit.*, p. 253.

76 Communication de l'IGAN / G. Bory au 1^{er} Congrès international de l'Aéro-Électronique, Paris, 1953.

77 L'IHP « n'est pas un laboratoire mais un institut d'enseignement mathématique avec deux salles pourvues de machines pour le calcul numérique (1 salle de calcul au rez-de-chaussée, 1 de calcul stellaire au 2^e étage). Machines électriques : 1 Madas, 1 Millionnaire, 2 Monroe, 4 Metall, 2 Marchant, 12 Frieden, 1 Brunswiga manuelle, toutes payées par la CNRS » (une mention manuscrite porte : « 11 électriques, 13 manuelles, 3 rouleaux calculateurs »). La CNRS est créée par un décret Laval d'octobre 1935, qui fusionne deux « caisses » : la Caisse nationale des sciences (1901) et la Caisse des recherches scientifiques (1930). Son but est de répartir les crédits de recherche en fonction d'un plan, d'orientations prioritaires choisis par un conseil d'administration de savants et de représentants des ministères. Autrement dit, la CNRS vise, pour la première fois en France, à instaurer une politique de la science. Elle consacre une grande partie de ses crédits à créer de nouveaux laboratoires dans des disciplines en émergence : astrophysique, synthèse atomique, biométrie humaine, etc. La CNRS finance aussi la modernisation ou l'équipement de centres préexistants : c'est ainsi qu'elle paye des machines à calculer installées dans différents laboratoires. Enfin, elle rémunère de jeunes chercheurs et des techniciens (F. Blanpain, « La création du CNRS : Histoire d'une décision (1901-1939) », *Bulletin de l'IIAP*, octobre-décembre 1974, n° 32, p. 751-801).

pas trace avant 1938 dans la comptabilité des rémunérations⁷⁸). L'IHP dispose de crédits abondants – 301 000 F en 1937, hors traitement des enseignants : dès cette époque, l'institut aurait même eu les moyens de construire une machine à calculer performante, si le besoin s'en était fait sentir.

Le laboratoire de physique théorique du Collège de France (Brillouin) possède une machine à calculer de bureau, un intégrateur, un analyseur harmonique payés par la CNRS – donc également très récents.

L'Institut de mécanique des fluides de Paris (Villat) dispose des cuves rhéographiques de Malavard, mais d'aucun matériel numérique. L'essentiel du travail mathématique en mécanique des fluides se fait à la règle à calcul.

Seules les sciences de l'univers, principalement l'astronomie et la physique du globe, possèdent une véritable tradition dans le domaine du calcul. À la fin du XIX^e siècle, la Carte du Ciel, vaste programme scientifique international initié par l'amiral Mouchez, a mobilisé les observatoires et induit une forte demande de calcul. L'entreprise se poursuivra sur des décennies⁷⁹. En 1930, l'Observatoire de Paris emploie neuf « calculateurs et assistants » et paraît relativement bien équipé en machines.

La technique des calculs numériques a été entièrement transformée par les progrès réalisés ces dix dernières années dans la construction des machines à calculer, écrit son directeur, Ernest Esclançon. L'idéal auquel il faudra tendre est que tout astronome, tout calculateur puisse disposer personnellement d'une machine comme il disposait autrefois d'une table de logarithmes. La facilité des calculs en sera décuplée, ce qui permettra d'entreprendre des travaux qui, sans cela, dépasseraient les forces humaines, d'étudier en conséquence des problèmes entièrement nouveaux qu'on n'a pu songer jusqu'ici à aborder.

Mais, ajoute Esclançon, la pénurie apparue dès avant la guerre de 1914 et l'inflation qui a suivi font qu'en francs constants, les crédits de l'Observatoire ont diminué de moitié. Presque entièrement absorbés par le fonctionnement, ils ne permettent pas de renouveler l'équipement⁸⁰. La situation s'améliorera seulement à la fin des années 1930.

⁷⁸ Archives du rectorat de Paris, AG5.

⁷⁹ J. Lamy, « La Carte du ciel et la création du "bureau des dames" », *Nuncius. Journal of the history of science*, 2007, vol. XXI, n° 1, p. 101-120. A. Saint-Martin, « De l'ambivalence à la révision du jugement. Les attitudes contradictoires d'Henri Mineur et André Danjon face à la Carte du ciel », Colloque *La Carte du ciel. Regards croisés d'historiens et d'astronomes*, Centre Alexandre Koyré, publié : J. Lamy (dir.), *La Carte du Ciel. Histoire et actualité d'un projet scientifique international*, Paris, EDP Sciences, 2008.

⁸⁰ Rapport annuel de l'Observatoire de Paris, 1930. Esclançon fut membre de la commission de l'artillerie en 1914-1918 (balistique, repérage au son). Il est connu comme l'inventeur de l'horloge parlante.

Figure 17. *Tide predictor* de Kelvin du service central hydrographique de la Marine (1901)

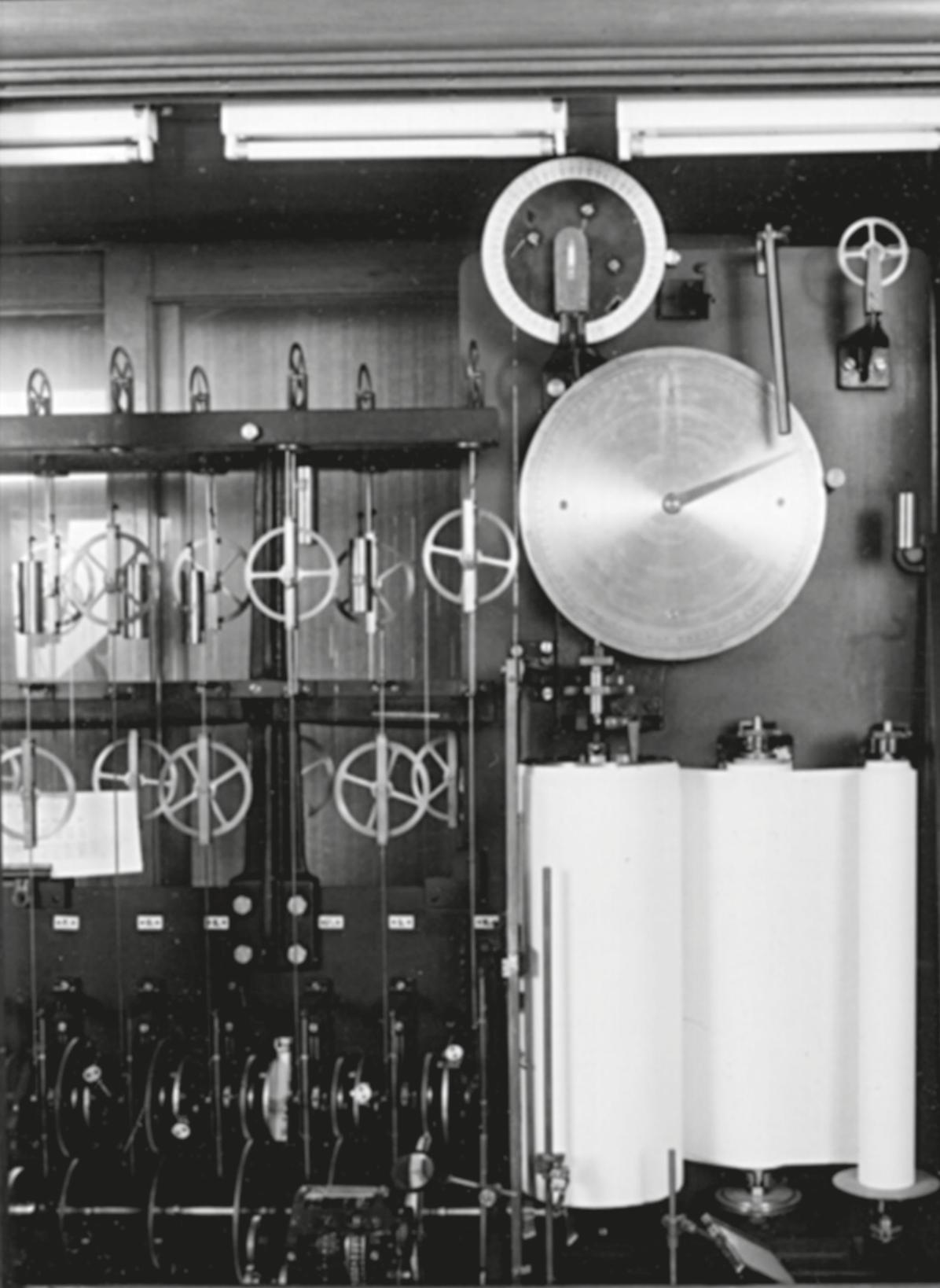
(photo EPSHOM – B. Gil)

Ce témoignage des premiers pas du génie humain, construit en 1881 et acquis par la Marine française en 1901 pour £ 600, sera donné au CNAM après la guerre. Il est remplacé par des machines analogiques mécaniques de même principe. D'une part, un autre *tide predictor* de Kelvin, plus grand, construit en 1924, est acheté en 1949. D'autre part, deux calculateurs de marées, plus compacts et robustes, sont récupérés sur des sous-marins allemands. Le *tide predictor* restera en service jusqu'aux années soixante, où il sera remplacé progressivement par une SEA CAB 500, puis par une IBM/360-30. Complétant cet outillage, quelques machines de bureau effectuent les calculs géodésiques.

Le *tide predictor* de Kelvin n°6, construit en Angleterre en 1924, fut d'abord installé au Tidal Institute de Liverpool. Celui-ci le vendit en 1949, pour £ 1000, au service central hydrographique de la Marine française pour remplacer celui de 1901. Il réalisait l'addition algébrique de 30 ondes sinusoïdales et traçait sur un rouleau de papier la courbe résultante, que l'on dépouillait ensuite pour obtenir les prédictions. Celles-ci constituaient l'Annuaire des marées. Cette machine fut mise hors service en 1966... après une période de transition où elle fonctionna connectée à une CAB 500, par l'entremise d'un habile montage à base de cellule photoélectrique dû aux techniciens de la SEA. Cet antique appareil témoigne-t-il d'un « retard » de la France en ce domaine ? Il faut considérer que la base du calcul des marées sur les côtes de France était, jusqu'aux années quatre-vingt, la formule de Laplace qui, calculée à la main, sur machines de bureau puis sur ordinateur IBM/360-30, donnait des résultats plus précis que les *tide predictors* les plus perfectionnés. Complétant cet outillage, quelques machines de bureau effectuent les calculs géodésiques. L'ensemble suivra vers 1970 le déménagement du service central hydrographique à Brest (EPSHOM), dans le hall duquel est exposé le *tide predictor*.

Le service central hydrographique ne s'intéressait à ces *tide predictors* que pour l'annuaire des ports d'Outre-Mer où, contrairement aux côtes de France, une bonne prédiction pouvait toujours être obtenue à partir d'un nombre réduit de composantes harmoniques (le cas était différent pour les services britanniques, néerlandais et allemands, confrontés au problème difficile de la marée en Mer du Nord, en particulier dans les estuaires : pour ces services, la qualité de la prédiction dépendait directement du nombre de composantes prises en compte, et donc du degré de perfectionnement des *tide predictors*). À partir des années soixante, la méthode de Laplace et la méthode harmonique ont été transposées sur ordinateurs. Les *tide predictors* sont tombés en désuétude et la méthode harmonique, qui pouvait désormais accepter un nombre pratiquement illimité de composantes harmoniques, s'est avérée supérieure à la formule de Laplace ; celle-ci a été abandonnée par étapes jusqu'à l'annuaire des marées 1992 qui a été le premier calculé entièrement à l'aide de la méthode harmonique⁸¹.

81 Archives de l'EPSHOM-Brest ; L. Roumégoux « Application de l'automatisme à l'étude et à la prédiction des marées au service hydrographique de la Marine », *Revue hydrographique internationale*, 1964, p. 123-130 ; lettre de l'ICA Fourgassie (EPSHOM-Brest) à l'auteur, 29 juin 1995.



Le Bureau des longitudes, dont l'inventaire ne mentionne aucune machine à calculer depuis 1874 (alors que la vocation de ce bureau est le calcul des éphémérides !), en reçoit trois de la CNRS à partir de 1935⁸².

L'Institut de physique du globe (Maurain) emploie un « M. Rougerie, calculateur » et comporte deux salles de calcul. Une lettre de Couffignal révèle que le service de calcul de l'IPG possède en 1943 un « analyseur Coradi à 50 périodes », appareil analogique haut de gamme pour l'analyse harmonique, notamment pour l'étude des vibrations⁸³, et pourrait s'équiper d'une machine numérique Logabax. L'Institut de physique du globe semble donc être l'un des laboratoires français les mieux équipés en matière de calcul.

En 1938 l'Observatoire de Paris-Meudon (Esclançon), qui dépend de l'Institut de physique du globe, recense 15 calculateurs (une seule machine est mentionnée, une Metall à 26 000 F).

190 Le service central hydrographique de la Marine nationale est doté d'un magnifique prédicteur de marées, construit en Angleterre avec des poulies et des ficelles suivant le principe montré par Lord Kelvin en 1874 ; avantage de cette antiquité, les Allemands ne s'en empareront pas en 1940, disposant à Hambourg et ailleurs de puissants calculateurs analogiques électriques, comme celui qui est aujourd'hui exposé au Deutsches Museum.

Hormis ces six centres, tous parisiens, on ne trouve dans les laboratoires de sciences exactes qu'un nombre infime de machines à calculer. Les grands laboratoires de physique de la Sorbonne et de l'École normale supérieure en ont très peu⁸⁴. À l'ENS, le grand laboratoire de physique dirigé par Bloch en possède une seule, une machine électrique (alors qu'il dispose de nombreux équipements dont sept spectrographes). Le laboratoire de physique théorique et céleste de la Sorbonne (Bruhat) est en fait installé chez Bloch à l'ENS et partage son matériel. Le laboratoire de mécanique de la Sorbonne possède « un petit modèle de la machine imaginée par M. Torres, qui permet de résoudre

82 De 1945 à 1960, six autres machines à calculer seront acquises par le Bureau des longitudes. Je remercie M. de Kergrohen, qui nous a permis de consulter l'inventaire 1874-1970 du Bureau des longitudes.

83 AEF B 42213, Dossier Logabax.

84 CNRS(A) laboratoires universitaires Paris, enquête 1938-1939, Chemise « Liste des appareils de la CNRS figurant dans les laboratoires » (Arch. nat. 80/0284/7). Le formulaire d'inventaire destiné à la Mobilisation scientifique, pourtant détaillé par type d'appareils, ne comporte pas de rubrique « calculateurs » – ce qui est déjà significatif. En général, l'inventaire est intéressant par les renseignements positifs qu'il fournit, mais il est peu fiable en ce sens que d'un laboratoire à l'autre la précision des réponses varie beaucoup (notamment parce que certains laboratoires y inscrivent seulement le matériel qu'ils veulent évacuer en priorité). Il ne permet pas, à lui seul, de prouver rigoureusement l'absence d'un appareil. Les appareils d'une valeur inférieure à 10 kF ne sont pas recensés, mais cela n'exclut de notre perception que les très petits outils de calcul (règles à calcul, instruments de poche).

les équations du second degré à coefficients imaginaires »⁸⁵. Mais cette machine semble considérée comme une curiosité scientifique ou un procédé pédagogique, plutôt que comme un instrument de recherche :

On peut, avec ce modèle, se rendre compte mécaniquement de la façon dont se permutent les valeurs d'une fonction multiforme autour d'un de ses points critiques. C'est, pour les mathématiciens, un spectacle vraiment extraordinaire et du plus haut intérêt⁸⁶.

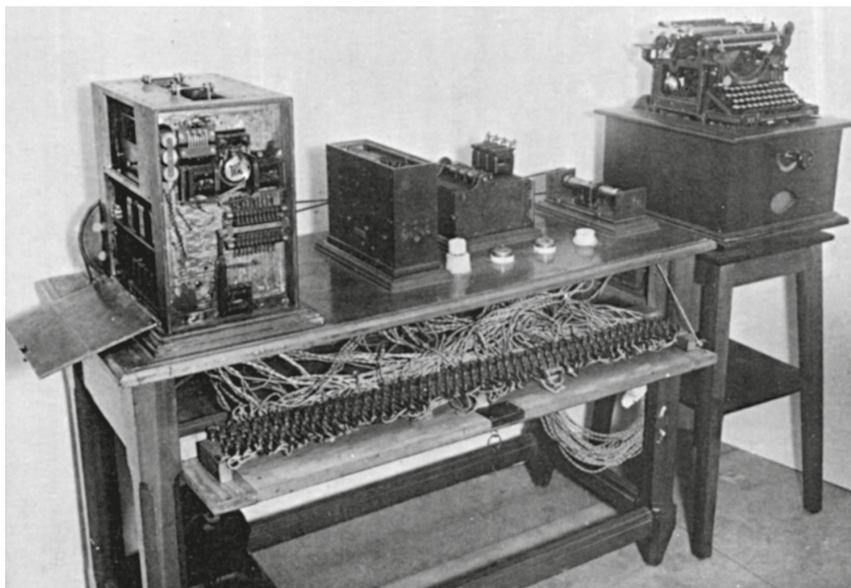


Fig. 18. Machine de Torres Quevedo permettant de résoudre les équations du second degré (1920) Cette machine est « non plus arithmétique, mais algébrique. Les nombres ne sont plus représentés par des chiffres inscrits sur des compteurs, mais par des graduations représentées sur des échelles, comme ce qu'on appelle aujourd'hui des nomogrammes ; seulement la relation de position entre ces échelles est déterminée par des liaisons mécaniques, au lieu de l'être par des liaisons géométriques, comme sur les nomogrammes. De cette façon Torres a pu construire une machine qui résout les équations algébriques de degré quelconque, dont elle fait connaître les racines réelles ; il a d'ailleurs indiqué le moyen de déterminer mécaniquement les modules et les arguments des racines imaginaires de ces équations⁸⁷. »

On peut dire la même chose de la « machine à congruences », remarquable petit appareil effectuant automatiquement la factorisation des nombres entiers, réalisée vers 1910 par les frères Carissan – un officier et un professeur

85 M. d'Ocagne, « Histoire des machines à calculer », compte-rendu de la séance publique du 5 juin 1920, *Bulletin de la Société d'encouragement à l'industrie nationale*, 1920, p. 567.

86 *Ibid.*

87 *Ibid.*

de mathématiques. Le seul exemplaire construit fut montré à Paris lors de l'exposition de machines à calculer de 1920, puis utilisé *peut-être* à l'Observatoire astronomique de Floirac⁸⁸.

L'Institut d'optique (Fabry) utilise une Hamann automatique (machine à différences). Peut-être certains confiaient-ils leurs calculs à l'IHP, situé dans le même quartier ? Ce ne peut être le cas de l'équipe Cotton, à Bellevue, qui n'a pas la moindre machine à calculer ; pourtant cette équipe ne pratique pas une science désincarnée : elle a construit le plus puissant électro-aimant du monde. Mais l'on s'y passera de calcul jusqu'au milieu des années cinquante :

*We were sadly innocent of digital techniques, our greatest single failure in those early times ; Fourier's integral we took as elegant devices for describing a host of physical processes ; it never entered our heads that in actual practice they could be boiled down to a set of lowly multiplications and additions*⁸⁹.

192

Rien non plus à l'Institut de mécanique de St-Cyr (Pr. Beghin), une véritable usine scientifique pendant.

Passons sous silence la poussière de minuscules « laboratoires de chaire » qui vivent dans toute la France et ne sont guère plus que des salles de travaux pratiques. Même dans les facultés provinciales particulièrement actives et bien dotées comme Lille et Grenoble, qui ont fourni des pages d'inventaires, c'est à peine si l'on trouve une ou deux machines de bureau.

À Grenoble en décembre 1938, ni l'Institut polytechnique ni la faculté n'emploient de personnel recensé comme « calculateur » ; le plan détaillé des locaux ne comporte pas la moindre « salle de calcul » ou de « TP de mathématiques »⁹⁰. On trouve seulement un hydraulicien de l'Institut électrotechnique, Pierre Danel (laboratoire Flusin), qui étudie un appareil analogique d'intégration des fonctions analytiques pour l'étude des distributions d'eau dans les réseaux maillés ; mais les crédits se font attendre pour le matérialiser : visiblement, le calcul n'est pas une priorité.

Grenoble ne reflète pourtant en rien la « grande misère des laboratoires français » que dénonçait Barrès quinze ans plus tôt : elle est considérée comme

88 F. Morain, J. O. Shallit, H. C. Williams, « La machine à congruences », *Revue du musée des Arts et Métiers*, mars 1996, n° 14, p. 14-19.

89 P. Connes, « Pierre Jacquinot and the beginnings of Fourier transform spectrometry », *J. Phys. II France*, Paris, avril 1992, n° 2, p. 568.

90 Archives du CNRS (Arch. nat. 80/0284/11). Rapport Wyart, 30 janvier 1939. Affecté au CNRSA à la mobilisation scientifique, Louis Néel dépouille à la fin de 1939 l'inventaire des laboratoires, et conclut qu'il n'y a pas grand-chose à en espérer pour la Défense, sauf à Grenoble. De leur côté, les militaires soumettent trop souvent aux universitaires des problèmes « farfelus, insolubles ou sans intérêt » (L. Néel, *Un siècle de physique*, Paris, Odile Jacob, 1991, p. 93).

une capitale européenne de la recherche en hydraulique ; son laboratoire d'essais mécaniques et de physique des métaux, sous l'autorité d'Esclançon (« un animateur incomparable »), collabore étroitement avec l'industrie et « possède des machines-outils si précieuses qu'il est actuellement loué à Neyrpic [...] pour fabriquer des plaques de blindage pour tanks »⁹¹.

À Lille, l'Institut de mécanique des fluides emploie une trentaine de personnes, possède deux souffleries, un canal d'hydrodynamique, divers appareils de mesure électroniques (l'avionneur Potez y fait des essais et verse 40 000 F par mois), mais une seule machine à calculer de bureau. Les calculs seraient-ils sous-traités à l'Institut de mathématiques appliquées ? Nullement. Celui-ci, spécialisé en mécanique rationnelle et expérimentale, ne comporte, lui, aucun équipement de calcul !

La situation est encore plus morose à Clermont-Ferrand, comme en témoigne Louis Néel. Nommé professeur en 1931 dans la capitale auvergnate, il trouve l'observatoire dans un état désolant, les sismographes gisant dans des caves transformées en clapiers à lapins, l'activité réduite à une routine totalement stérile... au point que Néel préfère redevenir assistant à Strasbourg⁹².

Si l'on se tourne vers les écoles d'ingénieurs, on trouve une situation comparable. Par exemple au CNAM, les moyens de calcul sont très limités jusqu'au milieu des années cinquante. Depuis 1936, le Dépôt des étalons du système métrique possède une « sphère d'intégration », boule d'aluminium de 2 m de diamètre roulant sur une courte voie ferrée, construite sur commande par la société Alberg. L'Institut Aérotechnique du CNAM, à St-Cyr (Toussaint), comporte « deux bureaux de calculateurs et de dessin », mais nous ignorons dans quelle mesure le calcul est mécanisé, aucune machine n'ayant été recensée. Le laboratoire national d'essais n'a rien jusqu'en 1941, où il acquiert une machine de bureau « Marchant »⁹³ ; l'Institut national d'orientation professionnelle (INETOP), gourmand de statistiques, demande un devis en 1938 pour des calculatrices « Marchant » et « Victor » (non suivi d'acquisition), et n'achètera qu'en 1950 une calculatrice électrique « Badenia » pour le Centre de recherches et d'études

91 Cabinet du MEN au Min. Défense nationale, 4 décembre 1939, Travaux effectués par les laboratoires du CNRSA en septembre-octobre 1939, tableau général récapitulatif, Chemise CNRS Personnel détaché - subventions (SHAT 6 N 328/1), et CNRS/Mobilisation scientifique, Arch. nat. 80/0284/11.

92 L. Néel, *Un siècle de physique*, op. cit., p. 68-69.

93 Marché 1387. La « Marchant CT 10 D », machine américaine « électrique et semi-automatique », est achetée en 1941 pour 37 572 F. Les capacités de ce genre de machine sont limitées aux quatre opérations, et au nombre de chiffres affichables ; par exemple, on ne peut effectuer de multiplication dont le produit dépasse une douzaine de chiffres, à moins de déplacer la virgule en perdant en précision.

documentaires⁹⁴. Or le CNAM est l'une des rares écoles d'ingénieurs où l'on fasse un peu de recherche.

Qu'en est-il dans les centres de R&D militaires ? La documentation est malheureusement très incomplète, notamment pour la fin des années 1930 : beaucoup de documents ont été détruits, soit par leurs propres producteurs qui en avaient le devoir pendant la débâcle de 1940, soit par les bombardements allemands ou alliés, soit plus récemment par des chefs de bureau qui envoyaient dans la plus complète illégalité des archives publiques à la décharge. Pour l'Armée de terre, il faudrait examiner ce qu'ont laissé les Commissions d'études pratiques, notamment celle de Bourges : avaient-elles leurs propres bureaux de calcul ? Les firmes d'armement privées (Le Creusot, etc.) avaient-elles indépendamment les leurs ? Nous l'ignorons et cette bonne revue scientifique qu'est le *Mémorial de l'artillerie française* n'en dit rien. On a plus d'informations sur la Marine, où les besoins de calcul sont peut-être les plus importants en raison de la puissance des matériels et de la tradition savante de cette armée. Faute de pouvoir tout passer en revue (artillerie, hydrodynamique, hydrographie, etc.), évoquons seulement deux centres, Gâvre et Toulon.

194

La commission d'expériences de l'artillerie navale à Gâvre, près de Lorient, est chargée des études de balistique. Fondée en 1829 pour participer aux innovations qui devaient changer les données du combat naval (obus de Paixhans, puis artillerie rayée), la commission de Gâvre a été un refuge de têtes brûlées et de bons techniciens, contribuant à perfectionner les méthodes d'Euler et de Borda (calcul des trajectoires par arcs, approximations), sur lesquelles reposait toute la balistique du XIX^e siècle⁹⁵. C'était un lieu de travail collectif dans « un régime de libre discussion qui a toujours présidé à ses délibérations au cours desquelles les idées n'ont jamais eu de galons ».

Avec la salve d'innovations qui, dans les années 1880, fondèrent les systèmes d'artillerie du XX^e siècle, il fallut tout revoir en fonction de vitesses et de portées nettement supérieures. La Commission en profita pour se dégager des méthodes

94 Marché 1504. La « Badenia » (marque allemande Bäuerle) est achetée 260 kF en 1950 pour à la société Quérueu.

95 IGAN / P. Charbonnier, *Essais sur l'histoire de la balistique*, extraits du *Mémorial de l'artillerie française*, 1928. L'artilleur fait un vibrant éloge de l'histoire des sciences, remarquant que les élèves d'aujourd'hui « apprennent en dix leçons des matières qui ont demandé des siècles d'efforts et la contribution des génies les plus éminents. C'est un progrès réel, si la science a pour définition et pour but la conquête de procédés réduisant au minimum l'effort intellectuel. Mais, "la science réduite en pilules", est-ce donc là tout l'idéal du savant ? ». Il faut donc montrer ce que la recherche a de difficile, mais en même temps de vivant et de passionnant, qui risque de disparaître sous trop de systématisation et de synthèse. L'auteur développe aussi la notion de système technique, trente ans avant que Bertrand Gille n'en fasse une véritable théorie.

empiriques et redéfinir les relations entre l'expérimentation et le calcul au profit de ce dernier. Un véritable travail d'analyse numérique aboutit à la mise au point de la « méthode de Gâvre » de calcul des trajectoires par arcs successifs,

instrument d'un emploi fastidieux mais précis, permettant de calculer à priori les éléments d'une trajectoire quelconque, de réduire à deux le nombre des tirs balistiques nécessaires à l'établissement des tables de tir, et de « multiplier » en quelque sorte ces tirs par le calcul⁹⁶.

La Commission s'est ainsi trouvée prête aux tâches imposées par la guerre : calcul de plus de 500 tables de tir pour canons de tous calibres et de tous modèles, création de la balistique des tirs contre aéronefs poursuivie par la Mission de balistique des tirs aériens, perfectionnement de la méthode de calcul des trajectoires par l'IG René Garnier en collaboration avec des universitaires tels que Marcus et Haag. On y rencontre aussi Esclangon et Foex qui contribuent à l'étude des phénomènes sonores des projectiles⁹⁷.

Le bureau de calcul employait, en 1914, « 2 agents techniques, 13 ouvriers-calculateurs et 3 calculatrices femmes ». Il est possible qu'il ait, de plus, sous-traité le surcroît de travail arithmétique à des volontaires extérieurs. Ce dispositif revient à son niveau normal après 1919. Une description des installations de Gâvre vers 1930 signale la mise au point d'appareils de mesure nouveaux et de chronophotographes, mais rien sur les appareils de calcul⁹⁸. On peut faire l'hypothèse qu'il y a l'habituelle panoplie de tables numériques, de règles à calcul, d'outils nomographiques et de machines à calculer du commerce, trop banales pour être mentionnées, mais aucun développement d'appareils mathématiques originaux ou plus puissants.

Le Centre de recherches de la Marine de Toulon a été créé en 1920 afin de poursuivre, dans des techniques nouvelles qui ne relèvent pas spécialement de l'artillerie, la collaboration entre la marine de guerre et les savants, pratiquée notamment par Paul Langevin :

Si la puissance navale d'une nation dépend de la valeur de son personnel et du nombre de ses unités de combat, elle dépend aussi de la possibilité d'utiliser rapidement les progrès de la science et l'ingéniosité des chercheurs. [...] La nécessité d'une collaboration étroite entre officiers de Marine, ingénieurs et savants [...] a été une des leçons de la dernière guerre et c'est pourquoi, dès

96 IGAN / P. Charbonnier, « Historique de la balistique extérieure à la commission de Gâvre », *Revue maritime et coloniale*, 1906.

97 IGAN / M. Crémieux, « La Commission de Gâvre », *La Revue maritime*, 1930, n° 2, p. 145-161.

98 IGAN / L. Patard, *Historique de la la commission d'expérience de Gâvre (1829-1930)*, 1931, 389 p.

1920, la Marine a organisé un service des recherches scientifiques, doté d'un Centre d'études, autour duquel sont groupés un laboratoire et des commissions d'études pratiques⁹⁹.

C'est lui, par exemple, qui commande des études de radars à quelques entreprises radioélectriques et réceptionne le prototype de magnétron de la CSF.

Le Centre d'études de la Marine ne reçoit pourtant que de faibles moyens jusqu'en 1939. Il n'a notamment pas de bureau de calcul. Cette fonction est remplie en partie par un professeur de mathématiques toulonnais, Fernand Ozil, collaborateur extérieur du CET qui signe des notes techniques à partir de 1934. Ozil s'intéresse essentiellement aux mathématiques appliquées à diverses questions techniques (analyse harmonique des courbes d'enregistrement des bruits d'avion, aspects géométriques, compensation des compas, problèmes de lancement de torpilles). Il poursuivra sa collaboration, pendant et après la guerre, avec les équipes du Centre d'études transformé en 1940 en laboratoire civil (CRSIM)¹⁰⁰. Le calcul est donc sous-traité à un consultant, il est moins intégré aux pratiques de la R&D qu'il ne l'est dans d'autres établissements de la Marine, essentiellement pour des raisons budgétaires.

d. Une faible demande de calcul

La rareté des moyens de calcul dans la France des années 1930-1955, par comparaison avec les autres pays industriels, incite à considérer l'hypothèse d'une faible demande de calcul. En termes de marché, les chercheurs, les ingénieurs français n'auraient-ils pas simplement de très modestes besoins en calcul numérique ? Pourquoi nos scientifiques calculent-ils peu ? Suggérons quatre interprétations, la première relevant de l'économie de la R&D, les trois autres de l'histoire des sciences et des techniques.

Premièrement, la recherche française a subi dans la décennie 1920 une « grande misère », ses crédits étant restés constants depuis 1914 tandis que l'inflation galopait ; la situation ne s'est rétablie que lentement au cours des années trente : les universitaires ont été ainsi empêchés de prendre le tournant de

⁹⁹ SHM 1BB2-213, Rapport au Ministre sur l'organisation du service des recherches scientifiques.

¹⁰⁰ Cl. Gazanhes, « Du laboratoire de la guerre sous-marine de Toulon au laboratoire de mécanique et d'acoustique de Marseille », *Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2000, n° 2. Merci à Philippe Narboni de m'avoir communiqué l'information sur Fernand Ozil. Le Centre d'études de Toulon joue cependant le rôle d'un carrefour où se rencontrent ingénieurs et scientifiques de disciplines et d'institutions diverses : Félix Esclangon, Jules Moch, F.-H. Raymond, etc. Si cette mise en synergie a lieu trop tard, lors de la mobilisation scientifique de 1939-1940, pour exercer un effet décisif sur les techniques mises en œuvre en 1940, elle établit quelques liens qui joueront dix ans plus tard.

la « science lourde », notamment d'entreprendre la construction de calculateurs ou de s'habituer à les utiliser.

Deuxièmement, les scientifiques et les ingénieurs français disposent d'une formation mathématique qui leur permet de résoudre maints problèmes par des méthodes moins fastidieuses et plus élégantes que le calcul numérique – méthodes plus valorisées, aussi, dans l'éthique professionnelle savante.

Troisièmement, l'industrie électrique française fait relativement peu de recherche et a donc moins besoin de calcul que les grandes firmes étrangères dont elle utilise souvent les brevets.

Quatrièmement, la physique telle qu'on la pratique en France à l'époque est essentiellement une physique expérimentale, réticente à adopter les modèles théoriques qui révolutionnent au même moment la conception de l'univers, à Copenhague, à Göttingen, à Cambridge, à Princeton¹⁰¹.

On ne s'étendra pas sur la misère de la recherche française dans les années vingt, dénoncée par Maurice Barrès¹⁰², qui a déjà été bien étudiée par d'autres auteurs. On a évoqué, quelques pages plus haut, les effets de cette pauvreté sur l'équipement de l'Observatoire de Paris. Suffit-elle à expliquer que l'Espagnol Leonardo Torres Quevedo, un grand pionnier du calcul automatique, qui a l'habitude de travailler avec les Français (il est membre associé de l'Académie des sciences¹⁰³), remporte avec lui son « arithmomètre électromécanique » après l'avoir exposé à Paris en 1920 ? Quelques machines à calculer semblent avoir été acquises ensuite dans le cadre du plan « d'outillage national » (1931-1935) lancé par Tardieu¹⁰⁴, mais c'est surtout à partir du milieu des années trente, avec la création de la CNRS, que des crédits deviennent disponibles ; toutefois ils sont peu utilisés pour acheter du matériel de calcul.

En effet, les scientifiques français disposent d'une formation mathématique poussée acquise dans l'enseignement secondaire et dans les classes préparatoires – formation destinée à préparer aux concours des Grandes Écoles où la sélection repose sur les épreuves de maths. L'analyse et la

101 D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, *op. cit.*

102 M. Barrès, « Que fait l'université pour la recherche scientifique ? », *Revue des deux mondes*, janvier 1920.

103 J. García Santasmases, *Obra e inventos de Torres Quevedo*, Madrid, Instituto de España, coll. « Cultura y ciencia », 1980. Leonardo Torres Quevedo avait, depuis le début du siècle, inventé plusieurs machines permettant la résolution des équations algébriques ou même des équations différentielles (L. Couffignal, *Catalogue du musée, Section A, Instruments et machines à calculer*, Paris, CNAM, 1942).

104 Sur le Plan d'outillage national, voir M. Clague « Vision and Myopia in the New Politics of André Tardieu », *French Historical Studies*, 1973, VIII, n° 1 ; et Arch. nat. 324 AP 65. Par ailleurs, en 1937 est établi un plan d'ensemble pour le développement des recherches astronomiques.

géométrie leur fournissent des méthodes plus élégantes et moins fastidieuses que le calcul numérique pour résoudre les problèmes, au moins en mécanique classique. Si nécessaire, le « calcul simplifié », la « nomographie » de Maurice d'Ocagne est à leur disposition¹⁰⁵, et les abaques sont aussi répandues que les tables et les règles à calculer. On ne cesse de les perfectionner. En 1917, par exemple, a été mise au point pour la balistique une méthode graphique permettant de calculer les trajectoires par arcs successifs, plus simplement et plus vite qu'avec les procédés numériques classiques¹⁰⁶. En 1936, c'est toujours avec de tels procédés graphiques que l'on « calcule » les vibrations d'ailes d'avions aux vitesses critiques¹⁰⁷. Commodes, bon marché mais peu précis, ils sont visiblement dépassés par les performances nouvelles des aéronefs.

Pour presque toute la communauté scientifique, le calcul est un instrument subalterne, non un objet de recherche. Évoquons l'enseignement de deux savants, parmi les universitaires ayant le plus de relations avec la technique et l'industrie : Fabry et Rocard.

Charles Fabry, physicien de l'optique, inventeur de procédés d'interférométrie et de métrologie, est décrit comme un excellent professeur, qui fait à Polytechnique un cours élégant, faisant l'économie des mathématiques et des calculs fastidieux pour mettre en avant « les réalités

¹⁰⁵ Un nomogramme est un système de courbes permettant, par simple lecture, en s'aidant une règle, d'effectuer certains calculs numériques – plus exactement de lire les relations numériques reliant les variables du système. On peut le considérer comme un « calculateur » analogique sur du papier. Ces procédés, qui remontent à Monge, ont été développés par le polytechnicien Léon Lalanne (X 1829) à l'École des ponts et chaussées, où il a fait des émules. L'ouvrage de M. d'Ocagne, *Le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques*, Paris, Gauthier-Villars, a été régulièrement réédité depuis sa publication en 1893, jusqu'aux années trente.

¹⁰⁶ M. Merger, « Parodi, Hippolyte (1874-1955), professeur d'électricité appliquée », *Les Professeurs du CNAM, op. cit.* Polytechnicien, Parodi a travaillé chez Thomson et à la Cie ferroviaire d'Orléans, où il a mis au point des procédés de calcul graphiques pour la mécanique et l'électrotechnique (il est un fervent champion de l'électrification de la traction ferroviaire). En 1917, devenu directeur de la Section balistique et des tables de tir à la section technique de l'Artillerie, il a recouru à la même méthode, qui sera adoptée par les Alliés.

¹⁰⁷ Au Centre d'essais de Villacoublay, Eugène Vellay (X 1924) a pour spécialités « le calcul des avions et l'étude de leur stabilité, le calcul graphique des limites de flambage des poutres, les vitesses critiques de torsion d'une aile ». Il emploie pour cela les méthodes traditionnelles de calcul et l'expérimentation, ayant « développé une méthode scientifique d'essais ». En 1936, la Société d'encouragement à l'industrie nationale lui décerne sa médaille d'or, ainsi qu'à Roger Brard (X 1925), ingénieur du Génie maritime qui a conçu les hélices du paquebot Normandie. Tous deux ont dû suivre les cours de Maurice d'Ocagne à Polytechnique. Inaugurant le Palais de la Découverte, Émile Borel souhaite que l'on vulgarise les mathématiques en donnant « des exemples des calculs ingrats et pénibles qui sont nécessaires pour une de ces belles réalisations de l'industrie moderne [...]: grands paquebots, tour Eiffel, etc. » (E. Borel, « Les mathématiques à l'exposition de 1937 », *Œuvres complètes d'Émile Borel*, Paris, CNRS Éditions, 1972).

physiques, les degrés d'approximation, tout ce qu'a d'intuitif notre grande discipline »¹⁰⁸.

Yves Rocard [...] nous enseignait la dynamique des vibrations et l'électricité. [...] il ne faisait jamais de calculs, il mettait un signe non pas parce que c'était les données de l'équation précédente qu'il fallait changer ; il mettait un signe à tel endroit à cause de sa signification : par exemple un signe "moins" parce que c'était un amortissement ! Les élèves avaient tendance à se moquer de lui en disant qu'il n'était même pas capable de faire un calcul correctement ; j'ai fini par comprendre que le calcul ne l'intéressait pas ; c'était la signification profonde qui l'intéressait¹⁰⁹.

Même dans le contexte de la mobilisation scientifique, le mode de travail des mathématiciens français limite le volume de calculs nécessaires. Ainsi, à l'IHP en 1939, P. Lelong, A. Lichnérowicz et l'IGM R. Garnier ont mis au point une méthode de calcul des trajectoires fondée sur l'approximation dans les équations différentielles en considérant des intervalles – des arcs – longs.

Les Américains avaient une méthode beaucoup plus grossière, ils calculaient des intervalles plus petits, ce qui donnait une erreur plus faible mais les obligeait à répéter un très grand nombre de fois la même opération. Ils pouvaient effectuer cette opération répétitive parce qu'ils avaient beaucoup de machines¹¹⁰.

On peut, dans une certaine mesure, inverser le raisonnement : la méthode de calcul choisie détermine les besoins en matériels – ou est élaborée en

¹⁰⁸ L. Leprince-Ringuet, « Charles Fabry, physicien et professeur à l'École polytechnique », *La Jaune et la Rouge*, Paris, mars 1968. Toutefois, aux côtés de Charles Fabry, un cours de calcul d'optique est assuré à l'Institut d'optique par H. Chrétien, un ingénieur-inventeur prolifique à qui l'on doit le catadioptré de nos voitures et l'*Hypergonar*, plus connu sous le nom de *Cinemascope* depuis que le brevet a été acheté par la XXth Century Fox (F. Le Guet-Tully J. Lamy, « Henri Chrétien, Paris 1879-Washington 1956 », dans *Mélanges Paul Gonnet*, Nice, laboratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard, 1989, p. 217-123). À notre connaissance, Chrétien s'est attelé à la computation de nouvelles tables mathématiques adaptées aux besoins de l'optique, plutôt qu'au développement de machines à calculer. Ses brevets portent sur des appareils d'optique.

¹⁰⁹ J. Arzac, *Un informaticien. Entretien avec Jacques Vauthier*, Paris, Beauchesne, 1989, p. 11.

¹¹⁰ Entretien avec P. Lelong, 10 novembre 1993. La méthode a été exposée dans le *Mémorial de l'Artillerie française*. Aux États-Unis, on estimait que la préparation d'une table de tir de 3 000 trajectoires représentait entre 250 000 et 500 000 opérations mathématiques ; les effectuer à l'aide d'un instrument perfectionné comme l'analyseur différentiel exigeait 750 heures (30 jours) (T. P. Hughes « ENIAC : Invention of a Computer », *Technikgeschichte*, art. cit., p. 155). L'analyseur différentiel calculait une trajectoire en 15 à 30 minutes, mais avec deux défauts : il fallait une journée pour le reprogrammer en vue d'une autre trajectoire ; et le résultat numérique était moins précis que ceux fournis par les machines digitales de bureau. Or la précision est vitale lorsqu'il s'agit de tables de tir d'artillerie ! Les équations balistiques sont des systèmes d'équations différentielles, qui ne peuvent être résolus en termes d'expressions mathématiques connues ; pour leur trouver une solution numérique, il faut employer une méthode d'approximations successives, pas à pas. La longueur du pas détermine la précision.

anticipant les possibilités budgétaires d'exécution des calculs. Cette opposition des approches française et américaine – celle-ci disposant de plus de facilités matérielles, celle-là travaillant davantage les modèles mathématiques et la réflexion préalable sur leur signification – se retrouve dans maints autres cas, à différentes époques : trois décennies plus tard, elle viendra spontanément sous la plume de J.-L. Lions comparant les pratiques de recherche à l'IRIA et à Los Alamos¹¹¹. Elle constitue une sorte d'invariant qui reflète à la fois la différence dans les formations mathématiques et l'ampleur des moyens de calcul disponibles. Certainement aussi un rapport différent à la technique.

200

Rocard, spécialiste des phénomènes vibratoires, est nécessairement un calculateur¹¹². Du reste on trouve beaucoup d'arithmétique dans ses papiers conservés à l'ENS. Beaucoup d'arithmétique, mais peu de moyens de calcul. L'un de ses étudiants, Albert Septier, réalise en 1948 une cuve rhéographique type Pérès-Malavard dans le cadre d'un DES (Étude à la cuve rhéographique d'un canon à électrons de grande intensité), cuve construite à la CSF¹¹³. Les leçons d'agrégation de Rocard comprennent une séance sur « Le calcul opérationnel » avec « application aux coups de bélier » (il s'agit de mécanique des fluides). Un élève de 3^e année, O. Garretta, met au point un petit calculateur analogique à amplificateur pour résoudre les équations du 2^e degré (précision : 2 %) ¹¹⁴. Mais, quand un jeune chercheur autrichien en électronique, séjournant à Paris en 1948, lui demande conseil sur son projet de se lancer dans l'étude des calculateurs numériques, Rocard l'en dissuade : les ondes courtes sont bien plus intéressantes¹¹⁵. En 1951, Rocard est émerveillé par « une machine à calculer miniature » dont il offre quelques exemplaires au SPIM (d'après la description, c'est sans doute la Curta, instrument de poche en forme de taille-crayon à manivelle¹¹⁶) ! Ses archives contiennent deux articles de Raymond et de Sokoloff sur les calculateurs OME de la SEA¹¹⁷. Rocard a-t-il utilisé le centre de calcul de la SEA, financé par l'aéronautique ? Nous n'en avons aucun indice. Dans le *Journal du laboratoire de physique de l'ENS*, dont il semble écrire chaque numéro de A à Z, Rocard rôle souvent, mais jamais

111 Lettre de Lions à Agnew, 12 janvier 1978, citée par A. Dahan Dalmedico, *Jacques-Louis Lions, un mathématicien d'exception entre recherche, industrie et politique*, Paris, La Découverte, 2005, p. 183-185.

112 C'est ce qui ressort, par exemple, des archives de la mobilisation scientifique (relations Rocard/Institut Henri Poincaré) et de D. Pestre, « La création d'un nouvel univers physique : Yves Rocard et le laboratoire de physique de l'ENS, 1938-1960 », dans J.-F. Sirinelli (dir.), *L'École normale supérieure, op. cit.*

113 *Journal du laboratoire de physique de l'ENS*, Paris, janvier 1949, n° 1.

114 *Ibid.*, décembre 1950, n° 13.

115 Entretien avec Heinz Zemanek, par William Aspray, 1987, Charles Babbage Institute.

116 *Journal du laboratoire de physique de l'ENS*, Paris, janvier 1951, n° 14.

117 Articles extraits des *Annales des télécommunications*, janvier et avril 1950.

contre le manque de moyens de calcul. Peut-être utilise-t-il le centre de calcul du service technique des constructions et armes navales ? À partir de 1951, la situation change ; Rocard dispose d'un calculateur électronique IBM au SPIM, et ensuite du Bull Gamma 3 du CEA.

Ce tableau d'un milieu scientifique qui se contente de moyens de calcul artisanaux n'est-il pas contredit par les demandes véhémentes du CNET en 1952, évoquées plus haut ? Georges Goudet, qui les avait transmises au CNRS, ne se rappelle pas cet épisode : « En tout cas, je n'exprimais pas une demande de mon service Hyperfréquences ! Je suppose que j'avais été convaincu de tenir ce discours par d'autres divisions du CNET qui avaient besoin, elles, de moyens de calcul [c'est en effet le cas ; il s'agit de la division Radiocommunications]. À l'époque nous calculions à la main, nous n'avions pas besoin de machines. J'ai tendance à penser que notre formation mathématique nous permettait de résoudre des problèmes sans recourir à autant de calculs que nos collègues américains¹¹⁸. » De fait, malgré ses réclamations de 1952, le CNET mettra longtemps à se doter d'ordinateurs¹¹⁹.

Les constructeurs français de matériel électrique sont restés longtemps dépendants de brevets américains (General Electric, Westinghouse), allemands (Siemens), suisses (Brown-Boveri)¹²⁰. Cela, pour des raisons variées : perte en 1871 du pôle industriel mulhousien (Société alsacienne de construction mécanique), prudence des banques, marché national peu dynamique (faible croissance urbaine limitant les besoins en éclairage et en transports en commun), politiques publiques défavorables aux entreprises, incompétence de l'un des savants français les plus en vue¹²¹, plus tard opposition de l'Armée à l'électrification des chemins de fer d'intérêt stratégique, etc. Manquant au

¹¹⁸ Entretien avec Georges Goudet, 4 octobre 1993. Ce point de vue est confirmé par celui d'André Blanc-Lapierre, physicien formé aux probabilités, qui au sein du même service étudiait la théorie du signal et les problèmes de bruit de fond : « Je ne peux pas dire qu'on était gêné par le manque de moyens de calcul... si on en avait eu on les aurait utilisés... » (entretien avec André Blanc-Lapierre, 19 mars 1997). Peu après, nommé professeur à Alger, et développant des recherches pour la Marine, A. Blanc-Lapierre demande, conjointement avec le physicien Perrot, 400 000 F pour acheter des équipements de calcul, sur un budget total de 15 MF (Arch. nat. 80/0284/101, chemise Plan quinquennal 1951). C'est le prix d'une bonne machine de table, dix fois inférieur à celui d'un petit ensemble à cartes perforées.

¹¹⁹ C'est seulement au cours des années 1960 que le CNET équipera en machines ses centres de calcul de Lannion et d'Issy-les-Moulineaux (SEA CAB 500 et IBM 1620, puis CAE 9080). S'y ajouteront les ordinateurs expérimentaux construits *intra muros*.

¹²⁰ A. Broder, « La multinationalisation de l'industrie électrique française, 1880-1931 : Causes et pratiques d'une dépendance », *Annales ESC*, 1984, vol. 39, n° 5, p. 1020-1043. P. Lanthier, *Les Constructions électriques en France : Financement et stratégies de six groupes industriels internationaux (1880-1940)*, thèse Paris-X, 1988. C. Bouneau, « La contribution des technologies étrangères à l'électrification ferroviaire de la France (1890-1940) », *Histoire, Économie et Société*, 1993-4, p. 553-572.

¹²¹ G. Ramunni, « Marcel Desprez » (1843-1918), professeur d'électricité industrielle (1898-1918) », *Les Professeurs du CNAM, op. cit.*, p. 405-418.

départ de capitaux et de débouchés suffisants pour lui permettre d'atteindre une taille critique et de développer ses laboratoires, les firmes effectuent relativement peu de recherche, ne peuvent donc s'émanciper des brevets étrangers et doivent se contenter de marchés secondaires (Europe du Sud, empire colonial). Des efforts sont accomplis au cours des années trente pour sortir de ce cercle vicieux, avec la création de holdings comme Alsthom par exemple¹²². Mais ils sont entravés par la crise économique et interrompus par la défaite de 1940, qui d'ailleurs stoppe le plan de construction hydroélectrique de 1938.

Faisant peu de recherche, l'industrie électrique française jusqu'au milieu du siècle a donc peu besoin de calcul¹²³. Or c'est pour l'électrotechnique qu'ont été développés entre les deux guerres certains grands calculateurs, notamment l'analyseur différentiel construit vers 1930 au laboratoire d'*electrical engineering* du MIT par Vannevar Bush. Cet appareil sera copié à plusieurs exemplaires en Angleterre et en Europe du Nord et exercera une profonde influence. La France est l'un des rares pays industrialisés à ne pas réaliser d'analyseur différentiel dans les années trente et quarante, bien que cet appareil y soit connu¹²⁴.

Quelques personnes y entreprennent des calculs qui dépassent les possibilités normales des petites machines du commerce ; à l'Union pour l'industrie et l'électricité, structure commune à divers constructeurs, Pierre Ailleret (X 1918, Ponts, Supélec) étudie le vaste problème de l'interconnexion des réseaux (il deviendra sous l'Occupation ingénieur-conseil au Comité d'organisation de l'énergie électrique, puis directeur des Études et recherches d'EDF) ; la Société française des électriciens et Alsthom utilisent en 1937 les cuves rhéométriques de Malavard à l'Institut de mécanique des fluides de Paris.

122 P. Lanthier, « Holdings, Markets and Patents : French Electrical Equipment Industry, from Dependence to Technological Autonomy (1880-1940) », 1994, SHOT Meeting, Lowell, Ma. Alsthom est à la fois l'instrument et le résultat d'une vaste opération de concentration industrielle ; non seulement elle a les moyens de développer la R&D, mais la rationalisation des méthodes de gestion et le recours aux statistiques en font un nouveau client pour les machines mécanographiques à cartes perforées.

123 Dès le début du xx^e siècle, General Electric avait créé parmi ses laboratoires un « Calculating Department », confié au physicien Ch. P. Steinmetz. Cette approche rivalisait toutefois avec l'état d'esprit prédominant dans le département de recherches sur les turbines, dont le directeur, Emmet, estimait n'avoir « qu'une voie certaine pour obtenir des connaissances exactes concernant un nouveau matériel, l'expérimentation » (cité dans F. Caron, *Les Deux Révolutions industrielles du xx^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1997, p. 59).

124 Le premier analyseur différentiel de Vannevar Bush est connu en France dès 1932 par un article de Bush, publié dans le *Journal of the Franklin Institute* et résumé dans la *Revue générale de l'électricité* (9 janvier 1932, p. 10 D). Il est décrit la même année dans une revue de vulgarisation (A. Gradenwitz, « Analyseuse différentielle », *La Nature*, juillet 1932, n° 2884, p. 139, 2 photos). La deuxième version de cette machine, plus puissante, est décrite en 1936 par un ingénieur de l'Institut électrotechnique du Nord, Nicolas Minorosky, pionnier de la théorie du contrôle, qui communique une note à l'Académie des Sciences (27 janvier 1936, t. CCII, p. 293-295) sur « Application des circuits électriques à l'intégration graphique de quelques équations différentielles » (*RGE*, 1936, XXXIX, 30 mai, p. 787-794).

Un ingénieur en chef d'Alsthom, E. Roth, enseigne le calcul des machines électriques à Supélec. Alsacien formé au Polytechnicum de Zurich, Roth (1878-1939) avait contribué, dans les années 1910, au développement commun par la SACM et la CSF des alternateurs radio à haute fréquence qui permirent à la CSF de s'imposer sur le marché¹²⁵.

E. Roth « exposait qu'une machine électrique oblige à calculer trois champs : les champs électriques, magnétiques et thermiques. Et il nous présentait (à ceux pas très nombreux qui suivaient ce cours non classique...) le principe de calculs itératifs guidés par des dessins de ligne de force... ce que fait très bien et vite, mais depuis quelques années, une *connexion machine* ».

Mais le cours est supprimé au bout de deux ans, faute d'élèves¹²⁶. Ni la scolarité en un an (elle sera portée à deux ans après la guerre), ni le marché en pleine dépression ne favorisent ce genre d'option, sans doute considérée alors comme un luxe intellectuel.

Philippe Le Corbeiller (X 1910, ESE 1920, docteur en physique mathématique) assure un cours d'analyse appliquée à Sup'Télécom et publie des travaux importants sur la théorie des oscillations, mais il partira bientôt s'établir aux États-Unis, avec Léon Brillouin¹²⁷. La modestie ou l'inexistence des laboratoires d'entreprise explique, plus généralement, la faible collaboration recherche / industrie, faute de cette interface que constituent de tels laboratoires. Les compétences existent, en

125 P. Griset, *Les Télécommunications transatlantiques de la France (1869-1954)*, op. cit., t. 1, p. 532.

126 Témoignage de F.-H. Raymond, qui était l'un des trois étudiants (lettre à l'auteur, 23 octobre 1994) et F.-H. Raymond, « Un siècle d'automatique en France », dans *3^e colloque sur l'histoire de l'informatique*, op. cit. On peut comparer cette situation à celle de la Moore School of Electrical Engineering (université de Pennsylvanie) où à la même époque un professeur, Irven Travis, assure un cours intitulé « Calculating Devices : Continuous Integrators, Differential Analyzers, etc. ». La Moore School a construit une copie de l'analyseur différentiel de Bush, et l'on sait qu'elle a abrité plus tard le développement de l'ENIAC.

127 Ph. Le Corbeiller, *Les Systèmes auto-entretenus et les oscillations de relaxation* (conférences faites au Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris, Hermann, 1931), « Méthode d'approximation de Tchebytshef et application aux filtres de fréquences » (*Revue générale de l'électricité*, 1936, t. XL, p. 651), *Analyse matricielle des réseaux électriques* (Paris, Dunod, 1954) / *Matrix Analysis of Electric Networks* (Cambridge, Harvard University Press, 1950). Brillouin, devenu en 1939 directeur de la Radiodiffusion française, en a confié la direction technique à Le Corbeiller, qui le suivra ensuite dans son exil américain. Un ingénieur de Neyrpic, J. Chenais, écrira à J. Kuntzmann, le 9 juillet 1948 : « Je trouve dans votre cours plusieurs matières que j'ai autrefois regretté de ne pas avoir trouvées dans les cours de l'X, et le souci de mêler intimement les mathématiques et la réalité physique qu'elles recouvrent. Un cours d'analyse appliquée était professé en France dans un esprit tout-à-fait semblable au vôtre par M. Le Corbeiller à l'ENSTélécom, je l'ai suivi en 1937-1938 avec beaucoup de profit. Bien peu d'ingénieurs, en 1940, savaient ce qu'est le critère de Nyquist, ou les conditions d'Hurwitz, les travaux de Van der Pol et de Liénard, pourtant d'une fécondité intarissable » (IMAG 01). Les travaux de Le Corbeiller influenceront, hors de la physique et des télécom, l'analyse économique (R. Goodwin, « The Non-Linear Acceleration and Persistence of Business Cycles », *Econometrica*, n° 19, 1951).

nombre très limité ; ce qui manque surtout, c'est une demande, une dynamique institutionnelle assez vigoureuse pour faire basculer la situation, transformer des actes sporadiques en un courant de recherches auto-entretenu.

G. Ramunni signale que, depuis 1890, l'inventeur américain Steinmetz avait montré l'utilité du calcul des fonctions de variables complexes pour résoudre des questions d'électrotechnique¹²⁸. En découle la construction aux Bell Labs, en 1937-1940, du *Complex number calculator* de George Stibitz, pour automatiser les calculs de réseaux téléphoniques. Or, conclut Ramunni, « des traités français, de l'entre-deux-guerres même, parlent de ce sujet de manière marginale, préférant insister sur des méthodes de calcul simplifiées. Nous retrouvons encore une fois un problème de mentalité technique [...] ».

La *Revue générale d'électricité* nous offre une confrontation frappante dans un domaine comparable :

204

Les équations générales de la mécanique des fluides, écrit en 1929 un collaborateur du laboratoire toulousain Camichel, sont en effet d'une extrême complication et, *même dans les problèmes les plus simples, on se trouve arrêté par des équations différentielles impossibles à intégrer*. C'est pourquoi l'hydraulicien [...] se trouve dans l'obligation de rechercher des solutions approchées en partant d'hypothèses simplificatives » et combine expérimentations et calculs par abaques. Au même moment, de l'autre côté de l'Atlantique, Vannevar Bush s'attaque aux dites équations en construisant un calculateur analogique, et la revue en rend compte quelques années plus tard : Le succès de l'analyseur différentiel de Bush « tient à la variété considérable d'*équations différentielles dont il fournit l'intégration générale, et à l'exactitude des résultats grâce à une mécanique de haute précision* ».

La machine, précise l'article, est aussi utilisable en physique théorique¹²⁹.

Problème de mentalité ? Il est vrai que le « calcul graphique » est alors partout utilisé. Mais aussi, à notre avis, problème de ressources financières et industrielles mobilisables pour la recherche. Ce n'est pas le poussif marché français du téléphone qui pourrait dégager ces ressources ni motiver de telles recherches. La question mériterait une étude approfondie qui, en ce qui concerne les courants forts, doit attendre l'ouverture des archives d'entreprises comme Alstom, où des simulateurs de réseau à haute tension ont été réalisés par François Cahen

128 G. Ramunni, *Physique du calcul*, Paris, Hachette, 1989, p. 38.

129 An. « Contribution à l'étude théorique et expérimentale de l'écoulement par déversoir », (*Revue générale d'électricité*, 1929, Bulletin et Documentation, n° 41, 27 juillet 1929, p. 425-484). N. Minorsky, « Application des circuits électriques à l'intégration graphique de quelques équations différentielles » (*Revue générale d'électricité*, 30 mai 1936, vol. XXXIX, p. 787-794) (mes italiques).

(X 1913, professeur à Supélec à partir de 1939). Le même sujet est étudié, sous l'Occupation, par F.-H. Raymond qui travaille à la SNCF et au laboratoire central d'électricité.

C'est seulement après la guerre que la constitution d'EDF et du CNET permettra de donner de l'ampleur à la recherche en électrotechnique, et poussera directement au développement du calcul dans le monde académique. Au milieu des années cinquante, l'industrie hydro-électrique alpine commencera elle aussi à demander des calculs à l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble¹³⁰.

Dans la mesure où elle fait de la recherche, l'industrie électrique française emploie assez d'ingénieurs dotés d'un solide bagage mathématique pour ne recourir que marginalement aux compétences des universitaires. Cette particularité la différencie nettement du contexte américain, où à cette époque la formation mathématique des ingénieurs est nettement moins poussée.

On peut généraliser ce schéma à d'autres secteurs, industriels et militaires : les corps d'ingénieurs de l'État peuvent estimer leur propre expertise suffisante pour n'avoir besoin que ponctuellement, ou pas du tout, de consultants extérieurs. On l'observe dans les corps de l'armement, qu'il s'agisse de balistique ou d'études de carènes. L'approche de la guerre et les urgences de la mobilisation scientifique révèlent les limites de ce système. Dans une note écrite en février-août 1939 sur l'état des recherches scientifiques dans les corps techniques, un jeune polytechnicien, Louis Leprince-Ringuet, juge cet état de choses :

« non seulement peu satisfaisant, mais vraiment angoissant au point de vue, notamment, de la Défense nationale » et passe en revue les différents corps. L'artillerie navale, pas plus que les autres corps techniques de l'État, ne compte un seul « ingénieur ou officier capable d'étudier la structure d'un métal par les méthodes que la physique moderne met à la disposition des ingénieurs, et pourtant cette étude est fondamentale dans l'artillerie navale [...] ». En métallurgie, « l'insuffisance de nos procédés de fabrication obligent à s'adresser bien souvent à l'étranger, soit pour la fourniture directe, soit pour l'achat de licences. » L'auteur explique ces carences par l'« insuffisance de la formation scolaire et technique de nos corps d'ingénieur ou d'officiers des armes savantes. Les X, dont la qualité du recrutement n'a pas fléchi, ont acquis une formation scolaire, non une formation scientifique supérieure, qui [...] ne s'acquiert que par un travail de recherches personnelles ».

¹³⁰ Réponse de J. Kuntzmann à L. Weil (directeur de l'IPG) qui collecte des informations sur les services rendus par l'université de Grenoble à l'économie alpine, 10 mars 1954 (IMAG 02).

Cependant ce ne sont pas les vocations qui manquent, c'est la possibilité de suivre cette vocation, à cause de l'augmentation des tâches de l'État, qui dirige vers l'administration pure des ingénieurs d'État. Après 1918, l'Artillerie a pris l'initiative d'envoyer tous les ans deux ou trois officiers acquérir une formation scientifique, chimique, supérieure, comprenant cinq années d'études (doctorat). Mais cela n'a pas été poursuivi et amplifié. Le rapport conclut en recommandant de « créer dans chaque corps technique quelques postes de recherche », c'est-à-dire l'idée de la future « botte recherche »¹³¹.

La situation du calcul s'éclaire encore plus nettement quand on la relie à celle des sciences physiques. Au fond, l'inventaire des moyens de calcul reflète assez bien la situation des sciences exactes dans la France d'entre les deux guerres. Les laboratoires qui en sont le mieux dotés appartiennent à trois catégories disciplinaires :

- Des sciences très classiques, la mécanique et l'optique, qui reposent sur l'arithmétique et la géométrie. Depuis le xvii^e siècle on calcule, dans les observatoires les mouvements des planètes (mécanique céleste), et dans les instituts de physique du globe divers phénomènes terrestres comme les marées. L'Institut d'optique effectue vraisemblablement des calculs pour l'industrie (des recherches sur Henri Chrétien et sur la production des tables numériques seraient très souhaitables).
- La mécanique des fluides ; celle-ci repose partout sur l'expérimentation (souffleries ou maquettes hydrauliques), mais recourt parfois aussi à des modèles mathématiques classiques comme les équations de Laplace qui sont le principe des cuves rhéologiques. Aucune autre « science appliquée », même l'électrotechnique, ne fait l'objet de recherches d'envergure dans l'enseignement supérieur.
- Ce que l'on peut appeler la « nouvelle physique » : l'astrophysique (Henri Mineur), la physique mathématique et la physique théorique (Brogie à l'Institut Henri Poincaré, Brillouin au Collège de France). Or cette physique-là reste marginale en France jusqu'à la seconde guerre mondiale, alors qu'à l'étranger elle transforme la pratique physicienne dès les années trente¹³².

¹³¹ Synthèse de la note Leprince-Ringuet sur l'état des recherches scientifiques dans les corps techniques (février-août 1939), SHAT, Archives de l'artillerie, 2 N 136/2, Dossier Conseil supérieur de la Défense nationale (1926-1939).

¹³² D. Pestre, *Physique et physiciens en France, 1918-1940, op. cit.* On a un exemple précis dans un domaine voisin, la physique des solides. À l'université de Manchester, D. R. Hartree effectue des recherches sur l'application de la *wave mechanics* à l'étude des densités électroniques dans des cristaux moléculaires, ce qui implique la détermination de fonctions d'ondes par la solution numérique d'équations différentielles. En 1933, rentrant d'une visite au MIT, il confie à un étudiant le soin de réaliser un petit analyseur différentiel en Meccano, à 4 intégrateurs (coût : 20 £ sterling, beaucoup moins qu'une Brunsviga ; cette machine est aujourd'hui au Science Museum de Londres). Hartree obtient ensuite des subventions pour construire un grand analyseur différentiel à huit intégrateurs, avec l'assistance de V. Bush. La construction est confiée à Vickers. La machine, installée en 1935, coûte au total 6 000 £. Une véritable équipe

Partout ailleurs règne une physique expérimentale, qui se méfie des théories telles que la mécanique quantique ou la relativité, et se passe souvent de modélisation mathématique. Rappelons l'importance, en mécanique quantique, du calcul des probabilités. En caricaturant, on pourrait dire que, positiviste et chauvin, le physicien français de l'époque tend à rejeter ces approches qu'il juge purement spéculatives, métaphysiques et parfois issues des brumes germaniques. Les expérimentateurs « se limitent à coordonner les phénomènes observés dans le cadre du corpus théorique couramment admis, classique le plus souvent [...] Autrement dit, sont réduits au minimum, d'une part l'écart entre le complexe expérimental et les théories courantes, d'autre part l'appareillage mathématique [au sens conceptuel du terme], l'ensemble ne menant pas aux théories fondamentales – en l'occurrence les théories quantiques »¹³³. Ce conservatisme, ce manque de dynamisme de la physique française de l'entre-deux-guerres est lui-même lié à deux facteurs : la Grande Guerre qui, en éliminant la moitié des étudiants en sciences, a empêché le renouvellement du milieu savant ; et l'appauvrissement dramatique des laboratoires dans les années 1920.

C'est la demande militaire, plus que la recherche civile, qui fouette ensuite l'essor des services de calcul. Il en va de même en matière de calcul scientifique et de machines de gestion. En 1938, le ministère de la Guerre, qui ne possède encore qu'une douzaine d'équipements à cartes perforées pour la comptabilité des matériels et des effectifs, prévoit d'acquérir 82 ensembles Bull ; la Marine en exige une vingtaine, l'Armée de l'air une dizaine. Même si ces prévisions ne sont qu'incomplètement réalisées, un mouvement est lancé. La seule Armée de l'air dégage, dès l'entrée en guerre, des crédits gigantesques « pour la recherche » (634 MF), hors développement de prototypes (452 MF)¹³⁴. Côté recherche, la mobilisation scientifique fait soudain apparaître en 1939 le manque de moyens de calculs comme un goulet d'étranglement. Par exemple dans le domaine des matériaux, qui de plus en plus sont mis en œuvre dans des conditions critiques, la technique des mesures a fait des progrès considérables, or « les recherches des bureaux d'études [...] se heurtent souvent à des difficultés nouvelles [...] qui se ramènent en dernière analyse à l'exécution de calculs beaucoup plus complexes

de recherche et d'exploitation se constitue autour des deux machines dès l'époque de leur construction. Celles-ci sont utilisées, bien au-delà des recherches de Hartree, pour résoudre de nombreux problèmes posés par les universitaires et les industriels, en particulier les fabricants de tubes électroniques (M. G. Croarken, *The Centralization of Scientific Computation in Britain (1925-1955)*, Oxford, Clarendon Press, 1990). Dix ans plus tard, revenant une fois de plus des USA, Hartree apportera en Angleterre le rapport Von Neumann ; l'université de Manchester se lancera aussitôt dans la construction d'un ordinateur, prototype du Ferranti Mk 1.

133 D. Pestre *Physique et physiciens en France*, op. cit., p. 143.

134 E. Chadeau, *L'Industrie aéronautique en France (1900-1950)*, op. cit., p. 315.

que ceux qui paraissent autrefois suffisants. Les méthodes et instruments d'exécution de ces calculs se sont développés avec ces besoins, mais à un rythme beaucoup moins rapide. Et l'on peut constater que mainte question ne progresse plus qu'avec peine faute de moyens d'exécution des calculs qu'elle nécessite. Il en est ainsi, par exemple, de presque toutes les questions où intervient à quelque degré la technique des vibrations »¹³⁵. Il devient vital de faire sauter ce verrou sur le chemin du progrès technique et de la puissance militaire. Mais la défaite de 1940 brise l'essor de la demande de calcul scientifique. Tandis que la guerre stimule la boulimie de calcul des savants anglo-américains, elle replonge les Français dans l'anorexie.

Après-guerre : l'importation de matériel allemand révèle une demande limitée

208 La demande de calcul, faible entre les deux guerres, a donc connu une poussée due aux exigences militaires en 1939-1940, puis est retombée pendant l'Occupation. Elle s'exprime à nouveau à partir de 1945 lorsque la mission scientifique française en Allemagne met la main sur des lots de machines à calculer, que le CNRS se charge de distribuer aux laboratoires. Se révèle alors une demande considérable pour ces petits appareils. De très nombreux laboratoires de sciences exactes adressent leurs requêtes au CNRS. Ce flot d'équipement permet de reconstituer les services de calcul existant avant-guerre (IHP, observatoires, Institut d'Astrophysique), et d'en créer de nouveaux (Institut polytechnique de Grenoble). Il contribue à court terme à la reconstruction du potentiel de recherche.

Achat de machines à calculer allemandes			Surplus US	Attribution aux labos (connue)
1945	36 machines	0,3 MF		
1946	100 machines	0,9 MF		
1947	> 15 machines		32 machines	85 machines
1948	> 60 machines			38 machines
1949	> 69 machines			22 « Peerless »
1950	> 200 machines			

Tableau 6. Importation de machines à calculer de bureau allemandes et américaines après-guerre (autres appareils mathématiques récupérés : planimètre, intégraphe et pantographe Ott. L'Institut d'optique reçoit une « sphère à transformer les coordonnées »)

Ces chiffres proviennent d'archives lacunaires – nous ne connaissons pas la distribution aux laboratoires des machines provenant des surplus américains, ou pour les années 1945, 1946 et 1950 ; de plus, des tonnes de matériel prises

¹³⁵ CNRSA, Rapport général sur les problèmes scientifiques intéressant en priorité l'économie ou la Défense nationale, fascicule II (Industrie de transformation et activités diverses), chapitre « Mathématiques et calcul » (RA 1939 du HCCRS, adressé par J. Perrin au ministère de la Défense nationale, SHAT 2 N 136/1). Le nom des auteurs ne figure pas, mais ce chapitre est certainement de la main de Couffignal.

en 1945 n'ont pas été inventoriées. Il s'agit donc de minima. On peut estimer que le CNRS achète en Allemagne, et secondairement dans les surplus alliés, de 500 à 800 machines à calculer entre 1945 et 1950 (nous ne comptons pas les très petits instruments « de poche » et les *milliers* de règles à calcul importées). Une machine à calculer de bureau Baüerle « Peerless » coûte entre 10 et 25 kF à l'époque selon le modèle (à main ou à moteur électrique) ; c'est la marque qui constitue la grande majorité des acquisitions, loin devant quelques « Thalès » (de 13 à 57 kF) et machines *made in USA* (Burroughs, Underwood, Victor, etc.). Ainsi le « butin » de la Mission CNRS en Allemagne se monte, pour les seuls équipements de calcul, au minimum à 5 MF – en termes de valeur, ce chiffre est vraiment un minimum car la France imposait ses prix au fournisseur.

Les producteurs français n'étaient évidemment pas indifférents à ce *dumping*, et ils tentèrent d'y mettre fin, dès 1946, en faisant intervenir les ministères chargés de l'Économie et de la Production industrielle. Des droits de douane furent imposés, et les laboratoires durent payer leurs acquisitions à 80 % de leur valeur « par faveur spéciale pour le CNRS ». La plupart des bénéficiaires, « très surpris de cette décision, ont déclaré que s'ils avaient pensé devoir payer ce matériel, ils se seraient abstenus de le demander, ou se seraient limités à l'indispensable »¹³⁶... ce qui confirme le caractère modéré de la demande de calcul chez les savants français.

Dans quelle mesure cette importation massive a-t-elle lésé les intérêts de l'industrie française du calcul ? Les plus directement touchés, les fabricants de calculatrices de bureau opérant dans l'hexagone, représentent pratiquement tous des maisons américaines. Le principal, NCR, a du reste perdu son usine, rasée par un bombardement en 1944. Pour Logabax, qui produit des matériels plus puissants, 5 MF représentent dix machines ; ce n'est pas rien pour une firme jeune, mais de toute manière ses capacités de production sont faibles et les déboires de Logabax sont dus essentiellement à sa mauvaise gestion. Et peu de laboratoires achètent plus d'une ou deux « calculettes » à la fois : de tous les chercheurs qui en réclamaient au CNRS, combien auraient investi dans un équipement « mi-lourd » (pour employer une terminologie actuelle) ?

La même remarque vaut pour Bull : nous ne pensons pas que l'afflux de calculatrices de bureau germaniques ait enlevé beaucoup de marchés aux constructeurs de machines à cartes perforées, ces types d'appareils n'étant pas concurrents. Un grand organisme comme l'ONERA acquiert à la fois un équipement Bull et des « moulinettes » à 4 opérations ; l'IBP possède des calculatrices de bureau, des Logabax, et loue un ensemble IBM. Les autres laboratoires, dont la vocation n'est pas le calcul, ne songent sans doute même pas à viser aussi haut ; dans cette époque de pénurie, les Français ont tendance à travailler à petite échelle.

¹³⁶ Arch. nat. 80/0284/115.

En revanche, un effet indirect pèsera lourdement, sur le plan du *marketing*, au cours des années cinquante : le fait que les besoins de calcul des laboratoires français sont comblés à court terme par la production allemande les rend invisibles sur le marché national – ainsi, l’IHP ne s’équiperait qu’en 1957 d’un calculateur électronique Bull Gamma 3, machine commercialisée depuis 1952. Bull sous-estimera la clientèle scientifique, ce qui contribuera à retarder dans cette firme le développement d’ordinateurs.

210

La structure de la demande entre 1945 et 1950, telle qu’elle transparaît à travers les divers documents d’archives, est en substance : une calculette pour chaque chercheur. Peu de facultés se dotent d’un centre de calcul et de matériel « lourd ». Hors de Paris (IBP, IHP, ONERA, SRCT), on ne peut guère citer que les universités de Grenoble et Toulouse. Il n’y a donc pas, dans le domaine du calcul, un changement d’attitude radical par rapport à l’avant-guerre. Les quémandeurs sont nombreux mais veulent simplement remplacer les matériels usés ou confisqués pendant l’Occupation, et profiter d’une manne qu’ils croient d’abord gratuite. Il s’agit plus – nous en avons le sentiment – de retrouver le niveau d’équipement existant ou rêvé en 1939, que de relever le « défi américain » symbolisé par l’ENIAC et Harvard Mk 1. Quand les savants français sont consultés en 1946 par une mission anglo-américaine sur leurs besoins en appareillage scientifique, ils signalent le manque dramatique de réfrigérateurs dans les laboratoires de biologie, mais le rapport ne dit pas un mot sur le calcul¹³⁷.

Si de puissants seigneurs de la science française d’après guerre, comme Néel ou Rocard, avaient eu besoin de construire un ordinateur, ce n’est pas Couffignal qui aurait pu les en empêcher. Or l’on n’observe rien de tel. Rocard, qui ne manque pas de mètres carrés à l’École normale supérieure et bénéficie de l’aide matérielle de la CSF, ne s’équipe pas de moyens de calcul « lourds » avant 1952 (sans doute a-t-il attendu patiemment jusqu’alors l’achèvement de la machine de Couffignal). Il commande à cette date un IBM 604 CPC (programme par cartes) pour le service de prévisions ionosphériques de la Marine ; trois ans plus tard, il fait installer au CEA un Bull Gamma 3, dont ses chercheurs se serviront.

Préparant le Plan quinquennal « Recherche » 1951-1955, la commission 4 du CNRS (Électronique, électricité, magnétisme) définit ce que devrait être un

¹³⁷ *Report upon the needs of European countries for scientific instruments and laboratory equipment*, février 1946 (Arch. nat. 80/0284/122). Cinq ans plus tard, préparant le II^e Plan d’équipement, les observatoires de Besançon, Bordeaux, Lyon, Marseille, Nice et Toulouse demandent des machines à calculer ; les crédits réclamés (250 à 500 000 F), ainsi que les modèles convoités (Facet, Monroe) montrent qu’il s’agit seulement de calculatrices de bureau (Arch. nat. 80/0284/101, Plan quinquennal 1951-1955, chemise Astronomie et Sciences de la terre).

« institut-type », dans la perspective du II^e Plan. Les propositions synthétisent les idées de Néel, président de la commission, de Rocard, Goudet, Guillaud, Dubois, etc. Et de décrire en détail la structure idéale, un laboratoire d'une quarantaine de personnes, lié à l'Enseignement supérieur, disposant de services communs... Or rien n'y est prévu pour le calcul !

La seule commission du groupe « Physique » qui réclame des moyens de calcul est la commission « Optique et physique moléculaire », on l'a vu à propos de l'Institut d'optique. Néel estime rétrospectivement que, vers 1950, l'absence d'ordinateur interdisait d'étudier rigoureusement les champs magnétiques par le calcul, obligeant les spécialistes comme lui à recourir au flair, à l'approximation expérimentale, bref à l'art du physicien par opposition à celui du mathématicien¹³⁸. Mais le physicien français peut se passer du calcul : Néel « a toujours concentré son action sur le développement de modèles assez simples pour que les calculs correspondant tiennent sur le dos d'une enveloppe, mais très puissants par leur généralité et leur simplicité, et aussi par leur justesse »¹³⁹.

La commission de mécanique générale et mathématiques appliquées demande des « machines à calculer modernes »¹⁴⁰, mais il s'agit de calculateurs analogiques – « analyseurs harmoniques, intégrateurs, etc. » – qui étaient modernes dix ans auparavant. La mécanique des fluides, discipline bien développée en France grâce aux investissements réalisés depuis vingt ans par le STAé, se satisfait des ingénieux appareils analogiques développés par Malavard et ne réclame pas de machines numériques avant les années soixante – alors qu'en Amérique, dès 1948, von Neumann fait miroiter les possibilités des ordinateurs pour l'analyse des phénomènes tourbillonnaires, jusque-là inabordables. Seule la résistance des structures demande explicitement du calcul numérique, comme on l'a vu dès 1939 avec Yves Rocard. Mazet signale que « beaucoup de chercheurs hésitent à s'engager dans des études de vibrations en raison des calculs volumineux auxquels conduit l'application numérique la plus simple ».

La commission de « Théories physiques, probabilités, applications » suggère « l'achat d'une machine à calculer [sans précision], à la disposition des chercheurs, avec un aide technique ».

Quant à la commission de mathématiques pures, elle demande des bibliothèques, des secrétariats, des crédits de publication et, en dernier

¹³⁸ L. Néel, *Un siècle de physique*, op. cit., p. 186.

¹³⁹ Article de J. Friedel sur le prix Nobel attribué à Louis Néel, *La Recherche*, décembre 1970.

¹⁴⁰ Archives du CNRS (Arch. nat. 80/0284/101). Dans leurs rapports, Thiry et Mazet préconisent « la mise à la disposition des chercheurs de moyens de calcul puissants » et le recours à la machine analogique SEA OME 10, « mise par le STAé à la disposition des laboratoires qui lui en font la demande » (Robert Mazet, « Rapport sur les recherches concernant la stabilité, les vibrations et l'aéro-élasticité », Annexe aux propositions de la s. 3, p. II, PV du 15 janvier 1951.

lieu, la mise de machines à la disposition des mathématiciens : « Il serait utile au progrès de certaines questions d'arithmétique de pouvoir disposer de calculateurs plus ou moins mécanisés [*sic*] » (la proposition émane d'un jeune attaché de recherche, Georges Poitou). Bref, face aux mathématiques pures, à la physique théorique et à la mécanique, dont les représentants formulent des analyses et des suggestions qui constituent un véritable rapport de conjoncture avant la lettre (on y trouve du reste les grandes lignes des rapports de conjoncture 1959 et 1960), les recherches concernant l'analyse numérique et les grandes machines à calculer sont pratiquement absentes des préoccupations du Comité national en 1950. Vis-à-vis du calcul, l'état d'esprit des scientifiques français est loin de celui qui règne en Angleterre et surtout aux États-Unis¹⁴¹.

212

Le cas du Commissariat à l'énergie atomique confirme notre description. En Angleterre, aux États-Unis, les « Atomic energy authorities » ont été parmi les premiers acquéreurs d'ordinateurs et en ont parfois construit elles-mêmes (ILLIAC, etc.)¹⁴². Or, malgré la précocité de l'effort français en recherche nucléaire, et bien que le Commissariat emploie des équipes d'ingénieurs électroniciens, qui auraient pu construire un ordinateur « en interne » si le besoin s'en était fait sentir, le CEA semble se contenter d'un bureau de calcul semblable à ceux des années trente, jusqu'à ce que l'industrie lui propose des calculateurs électroniques vers 1955. En fait, avant cette date, la recherche nucléaire française est peu gourmande en calcul, et ne pose

que des problèmes relativement simples, reflétant fidèlement les modèles théoriques de l'époque. Ainsi dans le domaine de la Neutronique, il était d'usage de se limiter pour certaines études en théorie de la diffusion, à des modèles à une variable d'espace (géométrie plane, sphérique ou cylindrique infinie), à deux ou trois milieux physiques distincts et à un ou deux groupes de neutrons. Les cas les plus complexes conduisaient rarement à plus d'une douzaine d'équations algébriques linéaires à une douzaine d'inconnues – ce qui était pourtant considéré comme un exercice redoutable par le bureau de calcul¹⁴³.

141 A. de Tocqueville, *De la démocratie en Amérique*. P. Cohen, *A Calculating People. The Spread of Numeracy in America*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1983. M. G. Croarken, *The Centralization of Scientific Computation in Britain (1925-1955)*, *op. cit.*

142 D. MacKenzie, « The Influence of the Los Alamos and Livermore National Laboratories on the Development of Supercomputing », *Annals of the History of Computing*, 1991, vol. 13, p. 179-201. Les *number-crunchers* construits pour satisfaire les besoins en calcul des atomistes se caractérisent souvent par des innovations architecturales.

143 A. Amouyal, « Les débuts de l'informatique au Commissariat à l'énergie atomique (1952-1972) », dans *2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, *op. cit.*

Cette faible demande s'explique, au moins en partie, par la relative modestie des activités du CEA de l'époque : en 1948, pour un indice 100 représentant le budget de la R&D nucléaire américaine, la Grande-Bretagne dépensait 10, la France 1.

C'est seulement au milieu des années cinquante que les grands programmes atomiques français prennent leur essor, avec le développement des réacteurs de Marcoule et de la bombe A. En 1954, le CEA « a des besoins multiples, qui dépassent son programme et qui ne peuvent être actuellement satisfaits par aucun organisme français dans les délais voulus ». [...] En mathématiques appliquées, « quels que soient les résultats obtenus par l'Institut Blaise Pascal, le manque de "cerveaux électroniques" est évident. Un renforcement très sensible des moyens de calcul est nécessaire »¹⁴⁴. Mais le projet de faire construire un nouveau « cerveau électronique » par la recherche nationale restera dans les cartons : l'industrie des ordinateurs, IBM et Ferranti notamment, est désormais prête à le fournir. Le CEA n'entreprendra pas de construire de calculateur numérique avant le milieu des années soixante, et ce ne sera qu'un essai sans lendemain.

En fait, dans la décennie qui suit la Libération, les seuls organismes qui ont explicitement d'importants besoins de calcul sont les laboratoires et les bureaux d'études directement liés à la Défense ; encore faut-il distinguer une période de vaches maigres, 1946-1950, et la période de réarmement qui suit. Ils satisfont ces besoins, soit en construisant eux-mêmes des calculateurs analogiques, généralement dérivés de machines allemandes, soit en finançant des développements dans l'industrie. Ils s'adressent moins facilement au milieu universitaire – nettement moins qu'en 1939, où l'urgence commandait. Certes, l'Armée de l'air ne cesse pas d'utiliser les laboratoires Malavard ; et elle passe d'importants contrats de calcul vers 1950 au laboratoire grenoblois de Jean Kuntzmann. Mais l'IHP n'est plus sollicité, ni Couffignal, qui ne semble plus avoir de relations de travail avec les militaires après 1946¹⁴⁵. Le CNRS

¹⁴⁴ Note pour la 1^{ère} sous-commission de la recherche scientifique et technique du Plan, inventaire des ressources et besoins, Commissariat à l'énergie atomique, 1954 (Arch. nat. 80-0284/105).

¹⁴⁵ Des relations subsistent entre Couffignal et les militaires après la guerre. Il est membre du comité de rédaction du *Mémorial de l'Artillerie française* où il publie. Le 10 février 1949 à l'École d'ingénieurs de Marseille, sur l'invitation de Valensi, directeur de l'Institut de mécanique des fluides, Couffignal prononce une conférence dont le compte-rendu détaillé est rédigé par un ingénieur contractuel des Constructions et armes navales, Piguët ; celui-ci remarque : « [...] l'intérêt national, comme l'intérêt de tous, conseillent la politique de coopération autour de cette vaste et capitale question qu'est le calcul mécanique ». Piguët signale par ailleurs que les analyseurs différentiels du type Bush « ont rendu et rendent encore de très grands services dans la solution de nombreux problèmes (mécanique des fluides notamment) où 3 ou 4 chiffres exacts suffisent », et que « 18 grosses machines de cette catégorie ont été construites », mais qu'elles sont dépassées par les calculateurs numériques électroniques. Jugement qui reflète l'opinion de Couffignal.

se plaint, du reste, du relâchement de ces liens : « Le CNRS a joué le 1^{er} rôle » dans la coopération avec différents ministères, et, au départ, « les ingénieurs généraux Nicolau et Brochard avaient accepté d'enthousiasme la proposition du CNRS de mettre à leur disposition une quarantaine de jeunes scientifiques mobilisables. Le Bureau scientifique de l'Armée n'a, après cette note, donné aucune suite... Les différentes administrations de l'époque ne se sont pas particulièrement prêtées à résoudre ce problème » écrit le directeur du CNRS à la fin de la décennie¹⁴⁶.

214

L'Armée ne stimule donc plus le développement du calcul numérique à l'université et au CNRS, dans la décennie cruciale où sont construits les premiers ordinateurs. Pourquoi le ferait-elle ? Parmi les rares universitaires compétents en la matière, Kuntzmann n'a aucune vocation à diriger la construction d'une machine, et du reste son « équipe » n'y suffirait pas (deux ou trois collaborateurs vers 1950). Les cuves analogiques de Malavard répondent aux besoins de la mécanique des fluides et d'autres disciplines. Un jeune chef d'entreprise possédant une vaste culture scientifique, Raymond, se propose, avec les compétences et l'enthousiasme nécessaires, et rédige en 1949 un *Exposé sur la structure logique des grandes machines à calculer universelles*¹⁴⁷ : c'est donc hors des institutions académiques que l'Armée financera la réalisation de calculateurs électroniques.

Résumons notre perception du contexte scientifique français. Après la guerre, si les mathématiques appliquées sont vivaces dans certaines administrations et entreprises publiques – pensons à l'essor de l'économétrie, par exemple à EDF, aux travaux de l'INSEE ou de la Comptabilité nationale ; et à l'importance de leur utilisation dans les services à vocation technologique, du CNET à l'Armement –, elles restent faibles et dispersées dans le monde universitaire français. Jusqu'au milieu des années cinquante, la France n'a pas de société savante vouée aux mathématiques appliquées, comparable à la *Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik* allemande (GAMM), fondée en 1922 par Ludwig Prandtl et Richard von Mises, ou aux *learned societies* équivalentes américaines et britanniques telles l'Association for Computing Machinery (1947) ou la Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM, 1951). En conséquence, il n'y a pas de structure permanente capable de publier un périodique spécialisé et d'organiser des manifestations régulières.

146 Arch. nat. 80/0284/126, chemise « Bureau scientifique de l'Armée ».

147 *Rapport sur l'état de la technique SEA. Calculateurs arithmétiques SEA*, 26 décembre 1949 (FHR/DB, marché secret n° 4340/49 avec le STAé-ES).

Cette situation est attribuable à la domination des valeurs académiques traditionnelles et des représentants du groupe Bourbaki, au cloisonnement traditionnel de la recherche française, à la faiblesse des interactions entre science et technologie, à la défaite de 1940. Celle-ci a eu deux conséquences : elle a ruiné divers projets de machines à calculer ; elle a sans doute empêché les savants français de s'organiser pour travailler ensemble sur des problèmes vitaux en obtenant des moyens techniques, comme l'ont fait leurs collègues anglo-américains et comme eux-mêmes avaient commencé à le faire en 1915-1918, et à nouveau depuis 1938.

Chez les mathématiciens français, le travail interdisciplinaire, collectif, utilisant des équipements « lourds », n'est donc guère entré dans les mœurs. En particulier, ils ont peu l'habitude d'utiliser de grandes machines à calculer, encore moins de les construire ; et quand ils l'ont, elle est très récente. Au lendemain de la guerre, bien peu de laboratoires du monde académique sont dotés d'équipements de calcul de quelque importance¹⁴⁸. Ces équipements sont rares, comparés aux nombreux moyens de calcul installés et « rodés » dans d'autres pays par les laboratoires de mathématiques appliquées.

Or ce type d'appareillage, là où il a été mis en place (souvent depuis les années trente), a joué un rôle crucial en convainquant les mathématiciens et les autres scientifiques de l'utilité de ces « moyens lourds » de calcul, en les habituant à travailler en équipes pour exploiter ces machines, en leur montrant aussi, dès le début des années quarante, les limites des calculateurs analogiques. Là où elles ont existé, ces machines ont préparé le terrain et ouvert la voie aux ordinateurs, à leur emploi et parfois à leur conception. Cette expérience a généralement fait défaut en France. La France de l'époque est-elle « contre les robots ? »¹⁴⁹.

¹⁴⁸ Cuves rhéographiques du laboratoire Pères-Malavard, calculateurs analogiques pour l'électrotechnique ou la mécanique des fluides à Grenoble et Toulouse, services de calcul numérique équipés de petites machines de bureau, existant (Institut Henri Poincaré) ou en cours de constitution (au CNRS et à la faculté de Grenoble).

¹⁴⁹ G. Bernanos, *La France contre les robots*, Paris, Plon, 1948. Ce pamphlet émerge, par sa fulgurance, de la vaste littérature « techno-pessimiste » – littérature internationale mais où la France est bien représentée. Bernanos y fulmine contre « l'État Technique », les méthodes de contrôle social et la philosophie utilitariste qui menacent le meilleur de la civilisation.

Cela n'aurait toutefois pas grand sens d'invoquer une quelconque hostilité « culturelle » française envers les machines à calculer. Paul Valéry est ainsi qualifié par François Le Lionnais de « poète qui révérait le nombre et rêvait d'algorithmes pour la pensée » (*Les Grands Courants de la pensée mathématique*, op. cit., p. 11). Au moment où Bernanos publie son livre, l'instrumentalisme qui dominait la philosophie américaine (W. James, J. Dewey) perd d'ailleurs du terrain dans les milieux intellectuels d'outre-Atlantique : s'affirment alors un « nouvel idéalisme » (A. Whitehead) et la quête d'un « humanisme scientifique » par R. Oppenheimer, J. Conant et N. Wiener. Bref, les milieux intellectuels des deux pays critiquent la religion de la technique et la croyance naïve au Progrès par les machines. Cette critique

e. Un contexte culturel défavorable ?

À la formule de l'écrivain catholique Bernanos, qui lui-même s'inspire de la pièce *RUR* du dramaturge tchèque Carel Capek, fait écho la revue communiste *La Pensée* : assurément, nous devons être « contre les robots » s'ils sont américains ! Un jeune algébriste, André Lentin, y publie en 1953, parmi des articles relevant de la pire propagande stalinienne, une fort intéressante étude sur « La cybernétique : Problèmes réels et mystification »¹⁵⁰. L'article va beaucoup plus loin qu'une critique de bon sens des aspects fumeux de la cybernétique (extrapolations neurologiques des tortues artificielles et autres renards électroniques) : le principal « mystificateur », violemment attaqué, est Norbert Wiener lui-même, qui a publié en France, cinq ans auparavant, *Cybernetics*¹⁵¹.

216

Lentin oppose les problèmes techniques « réels », tels qu'ils se posent aux spécialistes des servo-mécanismes, et la spéculation cybernéticienne qui, hors du domaine des machines, n'est qu'une « gigantesque entreprise de mystification ». Cette opposition se superpose au contraste entre l'approche européenne (ou plutôt communiste) des technologies nouvelles – usage pacifique et productif, théorisation conforme au marxisme – et l'exploitation qui en est faite par « certains milieux américains » : applications militaires, extrapolation des théories du contrôle aux sciences sociales et à l'idéologie politique... L'un des soucis majeurs de l'auteur est évidemment de lutter contre une idéologie nouvelle qui risque de concurrencer le marxisme comme théorie unifiante des sociétés modernes¹⁵², avec un certain pouvoir de séduction vis-à-vis de catégories socio-professionnelles

intellectuelle a plus d'influence sur les larges masses en France qu'aux États-Unis (on peut interpréter ainsi le fait que les étudiants français s'inscrivent plus nombreux en lettres qu'en sciences). Cependant le manque de « foi dans la technique » s'y accompagne généralement, non de foi dans une autre cause, mais de scepticisme.

150 A. Lentin, « La cybernétique : Problèmes réels et mystification », *La Pensée*, Paris, mars-avril 1953, n° 47, p. 47-61. J'ai eu connaissance de cet article grâce à G. Ramunni en 1992, mais nos interprétations respectives divergent quant à sa signification pour la réception de l'informatique en France. André Lentin travaillera plus tard avec R. de Possel à l'Institut Blaise Pascal et contribuera au développement d'une informatique fondamentale. Mon but, en écrivant ces lignes, n'est évidemment pas de l'agresser personnellement, mais d'étudier un certain paysage intellectuel à une époque particulière, celle de la tragédie stalinienne.

151 N. Wiener, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Paris, Hermann & Cie, Cambridge (Mass.), MIT Press, 1948. Pour une analyse comparative plus générale de la réception/traduction de la cybernétique, voir D. Mindell, J. Segal & S. Gerovitch, « From Communications Engineering to Communications Science: Cybernetics and Information Theory in the United States, France and the Soviet Union », dans M. Walker (dir.), *Science and Ideology: A Comparative History*, London, Routledge, 2003, p. 66-95.

152 Rappelons qu'à la même époque se développe toute une idéologie de la « révolution managériale », alternative au socialisme comme successeur historique du capitalisme, et dont le prophète est un trotskyste révisionniste, James Burnham (J. Burnham, *Managerial Revolution*, New York, 1941, trad. fr. *L'Ère des organisateurs*, Paris, Calmann-Lévy, 1947, préface de Léon Blum).

dont le PCF vise la clientèle : techniciens, ingénieurs, universitaires. En cela, il exprime avant tout le point de vue du mouvement communiste international, non une réaction d'une culture spécifiquement « française ».

Que révèle cet article sur la perception, par un scientifique marxiste et français, de l'ensemble cybernétique / calculateurs ? Tout d'abord, il contribue à légitimer le projet de Couffignal qui a non seulement « pu prouver expérimentalement que les machines américaines souffraient de gigantisme », mais a de surcroît « jeté les bases d'une nouvelle discipline dans laquelle les problèmes d'agencement des machines sont subordonnés à des problèmes d'organisation scientifique du travail ». Lignes publiées deux ans après l'échec patent du calculateur Couffignal – mais, selon Lentin, celui-ci ne manque que de crédits pour aboutir. Le savant militant ne précise pas comment il concilie sa condamnation de la cybernétique avec son soutien à Couffignal qui en est le principal représentant français.

Il cite comme autre exemple de travail français ne devant rien aux concepts *made in USA*, les conférences *Analyse, synthèse et position actuelle de la question des servomécanismes*¹⁵³, organisées au CNAM en 1947, et qui prouvent « que l'on n'avait pas attendu ici ce mot [cybernétique] pour réfléchir et pour travailler ». Le lecteur de 1953 le moins enclin au chauvinisme peut en conclure qu'il inutile d'aller aux États-Unis chercher des idées nouvelles sur le calcul électronique : il n'y trouverait qu'un formalisme ésotérique habillant un mélange bien capitaliste d'optimisme technicien et de techniques du contrôle.

En effet, et c'est peut-être le point le plus intéressant de l'article, l'auteur affiche sa préférence pour une approche expérimentale, « physique », où la théorie ne joue qu'un rôle d'appoint – théorie issue de la pratique et y revenant dialectiquement. Conception opposée aux approches « formalistes », telle cette « théorie mathématique de la communication d'un caractère délibérément abstrait » concoctée par un certain Claude Shannon, et décrite elle aussi comme une escroquerie intellectuelle. Au-delà du malentendu (?) – en fait, Shannon est précisément parti de la *pratique* des recherches en télécommunications – tout l'article aboutit à nier ou à dévaloriser l'apport radicalement neuf des travaux américains en ce domaine, donc à perturber leur réception en France. Or c'est justement cette discipline en train de naître,

153 F.-H. Raymond *et alii*, *Analyse, synthèse et position actuelle de la question des servomécanismes*, Paris, SEDES, 1949. En fait, la plupart des auteurs sont ingénieurs militaires, et leurs servomécanismes sont destinés d'abord à l'Armement. Leur formation résulte à la fois de l'enseignement français et de la lecture des publications anglaises et américaines. Ces conférences traitent essentiellement d'automation de processus par les dispositifs analogiques. Elles inaugurent les cycles d'exposés qui, dans diverses écoles d'ingénieurs, prépareront la voie aux enseignements réguliers d'automatique, puis d'informatique.

avec la rencontre de la thermodynamique et des mathématiques, la théorie de l'information de Szilard et Shannon, qui justifie fondamentalement le choix de Von Neumann en faveur de l'ordinateur digital¹⁵⁴. Par xénophobie anti-américaine habillée d'humanisme stalinien, *La Pensée* interdit à ses lecteurs de percevoir la nouveauté de l'univers technologique et scientifique qui émerge outre-Atlantique.

218

Mais qui lisait *La Pensée* ? Et quelle fut l'efficacité concrète de ce *don't look West, young man* ? Un milieu relativement nombreux, à l'époque, de chercheurs, de techniciens supérieurs et d'universitaires séduits par le marxisme ou embrigadés par l'appareil communiste en France était réceptif à ce type de mise en garde. L'impact a donc pu être non négligeable dans certaines fractions du CNRS, du CNET et du CEA ; et l'on a vu qu'à l'échelle du micro-milieu que nous étudions, le choix d'un petit nombre d'individus peut faire basculer l'histoire. On sait qu'aucun jeune scientifique de ces organismes n'est allé aux États-Unis s'initier au calcul électronique, à l'époque. L'anti-américanisme, au-delà même de la mouvance communiste, existait bien sûr dans la société française, fondé à la fois sur des rancunes politiques, économiques et militaires, et sur le fossé culturel entre deux pays qui se prétendent tous deux porteurs de valeurs universelles – mais pas tout-à-fait des mêmes valeurs¹⁵⁵.

Pourtant, le « pro-américanisme » était au moins aussi fort, notamment après la Libération, et il le restera durablement parmi les ingénieurs et les militaires. Le jdanovisme qui tentait de s'imposer à un quart de la population n'a empêché, ni les jeunes diplômés de Grandes Écoles comme Supaéro d'aller étudier les servomécanismes et le calcul au MIT, ni les industriels et les militaires de travailler en étroite coopération avec les États-Unis. Dans l'esprit d'un ingénieur savant comme F.-H. Raymond, il n'y a pas de frontière mentale entre les « cybernéticiens » d'Europe et d'Amérique, mais un océan d'incompréhension sépare souvent ceux-ci des ingénieurs vivant dans un paradigme technique plus ancien : « L'Europe ne peut continuer de compter sur l'empirisme », étant données « la complexité des problèmes et l'interaction des techniques » ; « l'empirisme n'est pas rentable », « l'abandon de l'empirisme implique le recours au calcul » et aux modèles théoriques¹⁵⁶. Dans l'université, deux jeunes mathématiciens, Benoît

154 J. von Neumann, *L'Ordinateur et le Cerveau* (suivi d'une étude de D. Pignon sur « Les machines molles de J. von Neumann »), Paris, Flammarion-Champs, 1996, p. 102.

155 Renvoyons à nouveau à Bernanos, *La France contre les robots*, *op. cit.* Et au 9^e sommet de la Francophonie (Beyrouth, octobre 2002), où s'est nettement affirmé cette opposition entre les deux universalismes.

156 F.-H. Raymond, « Le calcul analogique. Principes et contribution à une théorie générale », recueil de conférences données en mai 1952 à l'Institut national pour les applications du

Mandelbrot et Marcel-Paul Schützenberger, sont allés, le premier en stage à Princeton chez Von Neumann dans les cercles cybernéticiens¹⁵⁷, le second à la rencontre de N. Wiener lors d'un séjour aux États-Unis avant de publier en 1951 une synthèse sur *La Théorie de l'information*¹⁵⁸.

L'article de *La Pensée* doit être interprété comme l'une des réactions existant sur le large spectre des manières de percevoir la *Big Science* en mathématiques : plus qu'une simple curiosité archéologique, mais beaucoup moins que le manifeste d'une nation.

Il faut donc chercher ailleurs que dans une introuvable « culture nationale » les raisons principales de l'échec de la recherche française à construire des ordinateurs : dans les pratiques et dans les structures institutionnelles de la science et de l'ingénierie.

f. Un sous-développement du calcul

Ce n'est pas seulement dans la recherche, c'est dans tout le système d'enseignement académique que le calcul est négligé. La formule courante « il ne reste plus qu'à calculer », à la fin de tant d'articles scientifiques, exprime parfaitement la transparence de ce « savoir invisible », sans dignité.

André Sainte-Lagüe, spécialiste de la mathématique des réseaux et des graphes, stigmatise au milieu des années 1930 un enseignement où « les bacheliers n'ont jamais entendu parler de calcul numérique », ne savent pas même calculer le cologarithme d'un nombre et « ignorent tout des problèmes d'erreurs et d'approximation ». Le calcul n'étant guère plus enseigné dans les Grandes Écoles,

calcul, *La Ricerca Scientifica*, Roma, INAC, 1952, p. 4. Raymond donne par ailleurs son avis sur l'aspect moral du sujet, en accord profond avec Wiener : « Wiener ne voit pas l'ennemi dans la machine, mais dans l'homme lui-même, et ainsi il donne raison à Bernanos (qui dénonce, dans *La France contre les robots*, les "imbéciles" grâce auxquels la civilisation des machines "ne s'inspire, directement du moins, d'aucun plan idéologique ; elle défend son principe central, qui est celui de la primauté de l'action") », F.-H. Raymond, « Automatismes et production (Possible influence de l'électronique sur le développement industriel) », *Bulletin scientifique de l'AIM*, Liège, Institut électrotechnique Montefiore, novembre 1954, n° 11, p. 777 ; et dans *Ingénieurs et Techniciens*, Paris, septembre et octobre 1954, n° 69-70). Ce qui est tragique, ce n'est pas que la machine parvienne à émuler le comportement humain, mais que tant d'hommes se conduisent comme des machines.

157 C'est Mandelbrot que l'Armée de l'air envoie au *Symposium on information theory*, à Londres en septembre 1950. Trois autres Français y assistent : Ville, Oswald, Indjoudjian (SHAA E 2844 2/2, dossier sur « la cybernétique »). Ville et Indjoudjian sont évoqués par ailleurs dans cet ouvrage ; Jacques Oswald (X 1941, ENSTélécom, licencié ès sciences) est ingénieur de recherche, puis directeur, à la Compagnie industrielle des téléphones, puis aux laboratoires de Marcoussis de la CGE. C'est un spécialiste de la théorie de l'information, du signal et des réseaux électriques. Benoit Mandelbrojt (X 1944) enseignera quelques années en France, puis accomplira l'essentiel de sa carrière aux États-Unis, chez IBM et à l'université de Yale ; il se fera connaître en 1975 avec un ouvrage théorique important sur *Les Objets fractals*.

158 M.-P. Schützenberger, *La Théorie de l'information*, Paris, Institut de statistiques de l'université de Paris, 1951 (thèse dirigée par Darmois). Schützenberger sera invité en 1956 à passer un an au MIT dans l'équipe de Shannon.

c'est sur le tas que l'ingénieur l'apprend et découvre, par exemple, les tables numériques¹⁵⁹. L'abstraction domine dans l'enseignement des mathématiques, seule discipline scientifique où l'on n'assure pas de « travaux pratiques » (Sainte-Lagüe propose d'en créer au CNAM où il est élu professeur en 1937). L'enseignement supérieur français diffère nettement de l'université britannique qui possède depuis longtemps des *mathematical laboratories*¹⁶⁰, ou de l'université italienne où Mauro Picone développe son laboratoire d'analyse numérique.

La situation semble inchangée dix ans plus tard. En 1947, l'irascible professeur Bouasse, qui a enseigné depuis 1892 les mathématiques appliquées aux physiciens et aux ingénieurs toulousains, vitupère contre la « monomanie de la forme » de ces « professeurs de Spéciales » qui « lissent leurs plumes en petit comité » mais « exaspèrent ou abrutissent » les élèves à force de théorie au lieu de leurs enseigner les « mathématiques utilitaires » : « Est-ce ma faute si, sur cent jeunes gens qui font des mathématiques, quatre-vingt-dix neuf n'y cherchent qu'un outil ? » Or « actuellement le mépris du calcul est général chez les professeurs et chez les élèves »¹⁶¹. En 1951, le directeur de l'Institut

159 A. Sainte-Lagüe, préface à L. Potin, *Le Calcul numérique. Conseils sur l'art de calculer*, Paris, Béranger, 1935. Sur Sainte-Lagüe, voir J. Chasteney de Géry, « Sainte-Lagüe, André (1882-1950), professeur de Mathématiques générales en vue des applications », dans Cl. Fontanon et A. Grelon (dir.), *Les Professeurs du CNAM, op. cit.*, p. 522-525. Les écoles d'ingénieurs offrent quelques cours de calcul numérique (« cul-nu ») généralement limités à des formules à appliquer telles quelles, sans réflexion sur le modèle et sa signification. Les « problèmes d'erreurs et d'approximation », s'ils ne sont pas enseignés aux jeunes bacheliers, ne sont toutefois pas absents des mathématiques françaises : par exemple Borel et Fréchet en sont spécialistes.

160 Deux laboratoires de calcul furent fondés au début du siècle en Grande-Bretagne, s'ajoutant aux observatoires qui possédaient déjà arithmomètres et machines à différence de Scheutz : à Londres (University College) et à Edinburgh. Ce dernier, créé en 1913 par E.T. Whittaker, spécialiste de la théorie des fonctions, était équipé de nombreuses machines pour traiter les problèmes mathématiques qui ne pouvaient être résolus par l'analyse. Sa création souleva un grand intérêt parmi les mathématiciens anglais, qui affluèrent au colloque inaugural. Sous l'influence de Whittaker, des cours de calcul numérique furent mis en place dans d'autres universités, notamment Londres (Imperial College), et Leeds. Toutefois, les scientifiques furent lents à adopter systématiquement les calculateurs de bureau jusqu'aux années vingt, alors que les tables étaient un instrument habituel et adapté, dont une grande variété était disponible dans le commerce pour un prix vingt fois inférieur à celui des machines courantes. Ces laboratoires firent bientôt des émules – à Cambridge, à Manchester, etc. – comme le montre la thèse de Mary Croarken, *The Centralization of Scientific Computation in Britain (1925-1955)*, op. cit.

161 H. Bouasse, *Cours de mathématiques générales*, Paris, Delagrave, 1947, p. 604-605 et 614-615. Bouasse relève la phrase qui conclut habituellement les énoncés d'examens, « Maintenant il suffit de calculer » : « ... comme si ce calcul n'était pas tout le problème ! ». Il dénonce « la coutume absurde de donner un problème sur des lettres » alors que « les problèmes numériques se traitent sur les nombres ». Le chapitre se clôt par la description détaillée d'une salle idéale de TP et par l'analyse des différents instruments de calcul. « Cette salle de mathématiques ressemblerait à s'y méprendre à un bureau d'études pour entreprise de Travaux publics : ce qui consternerait bon nombre de mes collègues et me remplit d'allégresse. Que prétendons-nous faire de nos étudiants ? ». Malgré ces fortes paroles en faveur des « mathématiques utiles », « Bouasse n'a jamais organisé le moindre service de calcul : il travaillait seul et, quand je suis arrivé à Toulouse en 1949, c'est moi qui ai fait acheter les machines » (entretien avec Émile Durand, 21 mars 1996).

polytechnique de Grenoble, Félix Esclangon, doit demander à IBM d'envoyer un ingénieur dans le Dauphiné car « il n'existe aucune personne compétente sur place pour la mécanographie et ses applications au calcul scientifique »¹⁶². La faiblesse du calcul dans le panorama des mathématiques françaises, le très petit nombre de spécialistes, paraissent avoir une conséquence directe sur l'échec du CNRS en 1947-1951 : Couffignal en est le seul expert officiel. Dans le milieu académique, personne n'est qualifié pour évaluer sérieusement son projet, pour l'infléchir avant le désastre¹⁶³.

Les archives du Groupe de calcul numérique, formé à l'Institut Henri Poincaré en 1947, corroborent ce qui précède. Lorsqu'il commence véritablement à exister, début 1948, ce club informel s'efforce d'attirer tous ceux qui s'intéressent au calcul et à l'analyse numérique émergente : universitaires, ingénieurs civils et militaires, parisiens ou provinciaux, travaillant dans les secteurs public ou privé – constructeurs de machines inclus. Et il y parvient. En diffusant l'information dans toute la France, il ne recueille qu'une cinquantaine d'inscriptions, y compris une poignée d'étrangers : louable résultat, satisfaisant pour ses animateurs, mais qui nous permet de mesurer la petite taille du milieu calculateur français. Les séminaires, unique activité du groupe, rassemblent au plus une vingtaine de spécialistes. Le nombre d'adhérents quadruplera dans les six ans qui suivent¹⁶⁴.

g. Les changements induits par la reconstruction et les grands programmes

Le contexte change, en effet, au cours des années cinquante.

Premièrement, une nouvelle génération de physiciens, frottée aux théories récentes, importe de nouvelles pratiques scientifiques dans les laboratoires. La science française s'américanise, est conquise par les chiffres¹⁶⁵, tout comme la politique économique sous l'influence du Plan Marshall se fonde désormais sur la mise en place de la Comptabilité nationale. Chiffrant en 1954 les besoins d'équipement du CEA et d'autres organismes dans le cadre de la préparation du III^e Plan, la Commission de la recherche scientifique et technique du Plan déclare :

Quels que soient les résultats obtenus par l'Institut Blaise Pascal, le manque de « cerveaux électroniques » est évident. Un renforcement très sensible des

¹⁶² Correspondance d'Esclangon avec le chef du service de calcul d'IBM France, 31 décembre 1951 (IMAG 01).

¹⁶³ J. Kuntzmann est nommé en 1950 au comité scientifique de l'IBP. Jeune professeur provincial, il n'a ni la position statutaire, ni le tempérament qui lui permettraient de critiquer ouvertement Couffignal.

¹⁶⁴ Archives privées de M. de Lacroix de Lavalette.

¹⁶⁵ P. Cohen, *A Calculating People*, op. cit. ; D. Pestre, « De la redéfinition des pratiques physiciennes durant la dernière guerre et la guerre froide », *L'Aventure humaine*, n° sur « L'américanisation de la recherche », Association Diderot (dir.), juin 1995, p. 11-22.

moyens de calcul mis à la disposition des organismes de recherche s'impose de façon manifeste¹⁶⁶.

222

Ainsi, au laboratoire Aimé Cotton de Bellevue, dont on a évoqué plus haut « l'ignorance désolante des techniques numériques », l'équipe de spectrométrie découvre au milieu des années cinquante l'utilité pratique du calcul sur ordinateur. Le directeur, Jacquinet, développe une nouvelle méthode de spectroscopie, la spectroscopie de Fourier. Cette méthode nécessite de gros calculs, d'où l'utilisation d'un ordinateur. Il existe une autre approche, purement physique, qui fait appel aux interféromètres – technique très belle, mais difficile. En 1956, l'équipe commence à travailler sur l'IBM 650 de la place Vendôme. L'un de ses membres, Janine Connes, après avoir participé au développement du spectromètre par transformée de Fourier, se réoriente totalement vers l'informatique ; elle dirigera plus tard le grand centre interrégional de calcul du CNRS à Orsay, le CIRCÉ. Un physicien, J. Michel, construit au laboratoire Cotton, entre 1958 et 1964, un calculateur hybride couplé à un interféromètre. Cette évolution sur dix ans d'un grand laboratoire du CNRS me semble globalement représentative du milieu physicien français de l'époque.

Une discipline comme la cristallographie devient, comme la mécanique des fluides, de plus en plus gourmande en calcul. Au début, elle se contente d'appareils analogiques. Un chercheur CNRS, Gerard von Eller, développe en 1954 un « photosommateur harmonique »¹⁶⁷. Une vingtaine de ces appareils (« version primitive ») sont construits et suffisent, jusqu'au début des années 1960, pour assurer l'essentiel des calculs de résolution des structures cristallines. Une nouvelle version est ensuite industrialisée, permettant le calcul quantitatif. Mais les cristallographes ont désormais besoin d'ordinateurs et réclament bientôt que des équipes de programmeurs se consacrent à plein temps à leurs problèmes particuliers dans les centres de calcul¹⁶⁸.

C'est dans l'enseignement américain que maints jeunes scientifiques français d'après-guerre, qu'ils soient universitaires ou ingénieurs des Grandes Écoles, prennent le virus des *applied maths*. Bien représentatif de leur enthousiasme est le sentiment de Claude Thirriot, chercheur à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse :

166 G. Champetier et M. Schwob, *Rapport général de la Commission de la recherche scientifique et technique du Plan*, novembre 1954 (Arch. nat. RE 130/30-560-2 et 80-0284-99). Champetier est directeur adjoint du CNRS.

167 G. von Eller, *Le Photosommateur harmonique et ses possibilités : Application à l'étude de la structure cristalline du chlorhydrate de paratoluidine* (thèse de Sciences physiques), Paris, Masson, 1955.

168 CNRS, *Rapport de conjoncture 1963-1964*, s. 5, t. 1, p. 189-190.

Je commençai par singer à l'ordinateur la démarche graphique [de résolution des équations aux dérivées partielles]. Mais, très vite, je ressentis le besoin de revenir aux fondements mathématiques, et là j'eus la grande chance, sur l'information d'un stagiaire portugais, de découvrir deux livres de langue anglaise qui allaient bouleverser ma vie. [...] Le second est *Engineering Analysis. A Survey of Numerical Procedures*, de Stephen H. Crandall, paru en 1956. Cet ouvrage fut mon livre de chevet pendant quelques années et la cause de ma découverte des méthodes pédagogiques américaines (Crandall était enseignant au MIT). Je fus époustoufflé par l'efficacité didactique yankee. Étudiants français à l'époque, nous étions habitués à la présentation en mathématiques de théories générales abstraites (c'étaient toujours des espaces vectoriels d'ordre n) et l'on n'avait guère le temps de faire des applications, ou bien ces applications étaient singulièrement simplistes ($n = 1$). Là, dans le livre de Crandall, je découvrais le cheminement du particulier vers le général, du simple vers le complexe en consolidant à chaque étape l'assimilation concrète des notions et des connaissances. Les exemples numériques étaient lumineux, la critique de la précision et de la convergence précise, pratique et concrète. Tout y était : la discrétisation des équations, [...] la confrontation des algorithmes explicites et implicites [...]. Toutes mes connaissances ultérieures en analyse numérique sont venues se greffer sur la lecture de ce livre qui a constitué pour moi une véritable révolution culturelle : les universitaires américains n'étaient plus de grands enfants attardés et sympathiques mais des pédagogues clairvoyants, efficaces et pas du tout ennuyeux¹⁶⁹.

Deuxièmement, le développement industriel et la guerre froide entraînent la mise en œuvre de grands programmes technologiques : barrages et centrales électriques pour l'EDF, études d'avions à réaction et de missiles pour les Armées, constitution de réseaux radar, armes nucléaires, etc. Tous exigent d'immenses efforts en mathématiques appliquées, assortis de calculs inabornables avec les moyens traditionnels. Les ingénieurs demandent de plus en plus de précision, à cause du coût croissant des systèmes qu'ils élaborent et de la nécessité d'en maximiser le rendement. D'où l'importance grandissante des moyens de calcul : le prix élevé d'un calculateur électronique est peu de chose comparé au coût des tonnes de béton et d'acier qu'il peut faire économiser sur un barrage ou des risques inhérents à l'expérimentation dans l'aéronautique ou le nucléaire.

¹⁶⁹ C. Thirriot, « Préhistoire de l'informatique à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse (1958-1970) », 5^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, Toulouse, ENSEIHT, 1998. Le même sentiment s'exprime dans l'entretien que nous ont accordé deux polytechniciens partis vers 1955 étudier les servomécanismes en Californie, P. Thellier et A. Chaverebière de Sal.

Dans le cas d'un réacteur atomique, dont le fonctionnement est gouverné par des paramètres que l'on peut optimiser par le calcul – réaction en chaîne, production de vapeur, mécanique de la turbine, générateur électrique – la puissance produite est si grande qu'une amélioration de l'efficacité, ne serait-ce que de 1 %, justifie amplement le coût d'un ordinateur.

Au milieu des années cinquante, lorsque ce mouvement s'affirme et que les scientifiques commencent à se ruier sur les calculateurs, les possibilités d'équipement changent du fait de l'apparition d'ordinateurs commerciaux. Les centres de calcul se multiplient, les premiers étant ceux des constructeurs de machines informatiques et ceux des organismes déjà préparés à l'utilisation de grands moyens de traitement de l'information.

À la fin de 1955, cinq ordinateurs fonctionnent en France : les CAB 1011, CUBA et CAB 2000 de la SEA, pour la défense nationale ; l'IBM 650 du service de calcul d'IBM France, place Vendôme ; et l'Elliott 402 de l'Institut Blaise Pascal. Le prototype Gamma AET de Bull sera mis au point en 1956. À cette époque, une quinzaine de pays, comme la France ou l'Italie, sont entrés dans le « club des constructeurs ». L'ONERA choisit un IBM 704 en 1957. Le CEA se dote la même année d'un Ferranti Mercury et d'un IBM 650, devenant bientôt le plus gros client d'IBM hors des États-Unis. L'EDF commence avec un Bull Gamma ET, puis commande un Gamma 60. La Météorologie nationale s'équipe en 1960 du KL 901 conçu spécialement par la SNE-Radio-Industrie. Le nombre total d'ordinateurs installés en France dépassera 600 en 1962.

224

Troisièmement, l'art de l'ingénieur se transforme et fait de plus en plus appel à la modélisation mathématique. Cette mutation est exprimée notamment dans un « vœu » officiel émis par la Société française des électriciens en 1950 : les classes de mathématiques spéciales et les écoles d'ingénieurs électriciens doivent sérieusement renforcer leurs programmes de mathématiques appliquées (intégrales, analyse vectorielle, calcul symbolique, calcul matriciel, calcul des probabilités, fonctions particulières, etc.) ;

parallèlement à l'enseignement théorique, il doit être prévu un enseignement pratique approfondi portant sur le calcul numérique, graphique et mécanique (calcul des différences, nomographie, machines à calculer, étude des champs, etc.¹⁷⁰).

¹⁷⁰ Vœu émis par la Société française des électriciens, adressé le 15 avril 1950 par le président de la SFE, M. Ponte, au directeur du CNAM, M. Ragey (Archives du CNAM, dossier « Chaire de Mathématiques 1950 »). Ces matières sont effectivement introduites, par exemple, dans l'enseignement professé à partir de cette époque par les « numériciens » tels J. Kuntzmann à Grenoble. Elles font l'objet d'une série de fascicules du CEMA et de publications du CNRS.

Les matières dont le renforcement est demandé sont « également précieuses pour la Mécanique, la Physique générale et même pour les mathématiques où elles apportent de grandes simplifications. » En ce qui concerne l'électricité, ces matières permettent respectivement le calcul rapide des grandeurs sinusoïdales tels que courants, flux, tensions (quantités complexes, fonctions de variables complexes) ; des courants microphoniques (intégrales de Fourier, fonctions quelconques) ; de l'ouverture / fermeture d'un circuit, des oscillations, des filtres (calcul symbolique) ; des quadripôles, des oscillations libres d'un réseau (calcul matriciel, selon la SFE) ; de la propagation des ondes et de l'effet pelliculaire (fonctions de Bessel¹⁷¹).

Le vœu est adressé aux ministères concernés, au doyen de la faculté des sciences de Paris, aux écoles d'ingénieurs formant à l'électrotechnique, aux sociétés savantes, et publié dans la *Revue générale d'électricité* et dans *L'Onde électrique*. Il est répété sous d'autres formes, par exemple au colloque de 1951 sur les machines à calculer, qui vote un vœu collectif demandant que l'Unesco charge une commission internationale de proposer des réformes de l'enseignement supérieur en mathématiques « dans le but de donner aux futurs ingénieurs et physiciens cette mentalité intellectuelle ouverte aux méthodes numériques et à l'emploi des machines à calculer »¹⁷².

Cette véritable opération de *lobbying* porte bientôt ses fruits dans l'enseignement supérieur.

171 Maurice Ponte rappellera vingt ans plus tard, lors de l'inauguration du campus de l'École Centrale à Châtenay-Malabry, les raisons de cette réforme qu'il a contribué à inspirer : les classes préparatoires aux Grandes Écoles enseignaient principalement des mathématiques sans souci d'application, tout comme les cours de calcul différentiel et intégral de Goursat, Lebesgue ou Drach en faculté ; « des générations d'étudiants, même en Physique, ont ignoré les fonctions de Bessel » (M. Ponte, « L'approche des sciences expérimentales en 1970 », *Arts et Manufactures*, n° spécial 207, avril 1970, p. 54).

172 Colloque *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, Paris, CNRS Éditions, 1953, p. 350. Les classes prépas et les écoles d'ingénieurs, notamment les deux Écoles Centrales, étoffent nettement leurs programmes dans ces matières au cours des années 1950, d'après les livrets de ces établissements.

DEUXIÈME PARTIE

L'enseignement supérieur :
développement et différenciation
des pôles régionaux

L'émergence de l'informatique a pour arrière-plan l'effort quantitatif considérable entrepris par le ministère de l'Éducation nationale après la guerre pour développer les sciences dans l'enseignement secondaire et supérieur. Le « vivier » est initialement très réduit, ce qui constitue en soi une limite structurelle des possibilités de développement. Le nombre de bacheliers scientifiques (« mathématiques élémentaires ») passe de 6 500 en 1945 à 35 000 en 1960. Dans l'enseignement supérieur, le nombre des ingénieurs formés chaque année augmente dans une moindre proportion, de moins de 3 000 à 5 715, faute de locaux et de personnels enseignants, faute aussi d'attirer des jeunes Français de l'époque pour les études scientifiques¹. Le nombre des licenciés ès sciences est à peine plus élevé. Le baccalauréat suffit d'ailleurs pour trouver un bon emploi. Dans une discipline aussi brillante que les mathématiques, on ne soutient en moyenne que 16 thèses de doctorat d'état par an au cours des années cinquante.

En 1955, sur une classe d'âge de 550 000 personnes, 85 656 s'inscrivent au baccalauréat et 39 258 sont admises dont 10 354 en Mathématiques élémentaires ou techniques. La majorité reçoit un bac « Philosophie et Sciences expérimentales » qui « ne prépare qu'imparfaitement les élèves à des études scientifiques sérieuses ». Les études secondaires « sont en 1956 moins orientées vers les sciences qu'elles ne l'étaient en 1902 » si l'on compare les horaires consacrés aux différentes disciplines. De plus, contraints par ces horaires insuffisants, les enseignants ont tendance à donner une vision abstraite et théorique en sacrifiant les approches plus concrètes de la science et de la technique².

L'État investit massivement pour y remédier, répondant à la fois à la demande socio-économique, aux anticipations du Commissariat au Plan et au désir des scientifiques : le colloque de Caen (1956), importante manifestation d'un *lobby* de savants décidés à moderniser la science française, propose de doubler l'effectif des étudiants en sciences et de tripler celui des ingénieurs en 10 ans, notamment en créant de nouvelles écoles en Province. En corrélation avec l'établissement de nouveaux diplômes (3^{es} cycles, docteurs-ingénieurs), on crée dans ce but

- 1 Le nombre de 5 715 ingénieurs diplômés provient de l'enquête 1960 de la FASFID (Fédération des associations et sociétés françaises d'ingénieurs diplômés). Ce total inclut 262 diplômés étrangers, 302 personnes déjà titulaires d'une licence universitaire et 516 qui ont déjà un premier diplôme d'ingénieur.
- 2 Présidence du Conseil - CSRSPT, *La Recherche scientifique et le progrès technique*, Rapport en vue de la préparation du III^e Plan de modernisation et d'équipement, Paris, juin 1957, p. 20-21.

en 1957 les Instituts nationaux de sciences appliquées (INSA), inspirés de l'École polytechnique fédérale de Zurich, qui recrutent hors du vivier restreint des classes préparatoires. Le colloque « Université-Industrie », tenu à Grenoble en octobre 1957 à la suite de celui de Caen, recommande de décloisonner les institutions en favorisant la mobilité, de décentraliser la science française, de faciliter la création d'associations privées permettant la passation de contrats avec les laboratoires publics, de résorber « la pénurie aigüe de techniciens et d'ingénieurs dont souffrent l'industrie et la recherche », notamment en orientant les jeunes filles ayant des aptitudes scientifiques³. Élaboré en 1959, le IV^e Plan prévoit de former 19 000 ingénieurs à l'horizon 1970 – objectif qui ne sera réalisé qu'à moitié.

La construction ou l'extension de facultés des sciences, à Grenoble comme à Toulouse, à Lille ou à Nancy, le transfert des « sciences dures » parisiennes de la Sorbonne à Orsay à la fin des années cinquante, à Jussieu dix ans plus tard, permet d'amplifier encore cette croissance des diplômés. Doyens de facultés et directeurs d'écoles d'ingénieurs se muent en bétonneurs, et voient grand. Le calcul numérique, puis l'informatique, profiteront à la fois de cette expansion démographique et de ces investissements, de ces bâtiments modernes qui abriteront centres de calcul, bureaux et salles de cours. Cette expansion va de pair avec celle de l'économie française qui progresse alors de 6 à 9 % par an.

La démographie étudiante devient explosive, avec une croissance annuelle de 10 à 16 % : de 310 000 personnes inscrites en 1960 dans l'enseignement supérieur français, l'effectif passe à 851 000 en 1970, dont 215 000 à 625 000 pour l'université, le reste pour les écoles d'ingénieurs et les IUT⁴. On passe de quelque 600 licences ès sciences mathématiques décernées par an à près de 2 000. Le nombre de licenciés en sciences physiques est environ deux fois plus grand. Les bacheliers scientifiques dépassent 80 000 en 1968.

La croissance de l'encadrement fait partie des investissements prioritaires : de 700 en 1950, le nombre de professeurs de sciences passe à 2 000 en 1970 dans l'enseignement supérieur, celui des assistants et maîtres-assistants de 900 à 8 000.

Cette croissance s'accompagne de nouvelles orientations, notamment en faveur de la recherche. Pour forcer le trait, le doyen de la faculté des sciences de Paris explique en 1964 que si les facultés d'avant guerre formaient essentiellement « des professeurs, plus quelques savants Cosinus », désormais

3 *Les Cahiers de la République*, janvier-février 1958, supplément au n° 11. En effet, le nombre de filles entreprenant des études scientifiques croît alors plus vite que celui des garçons.

4 A. Prost, « 1968 : mort et naissance de l'université française », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, 1989, vol. 23, n° 23, p. 59-70.

seulement « 20 % de l'activité des facultés sont consacrés à la formation des professeurs et 80 % à celle des chercheurs et des ingénieurs. Sur 28 000 étudiants inscrits dans les facultés des sciences à Paris et à Orsay, il y en a 6 000 en 3^e cycle »⁵.

Nous verrons successivement le développement des enseignements d'informatique dans les universités – le cas échéant dans leurs instituts annexes, « instituts polytechniques » ou « écoles nationales d'ingénieurs » ; puis dans les écoles d'ingénieurs parisiennes, notamment les « Grandes Écoles » caractéristiques de l'enseignement supérieur français. On esquissera en conclusion une pesée quantitative globale des spécialistes formés à l'informatique au cours des années soixante.

5 M. Zamansky, interviewé au sujet du projet de réforme Fouchet, *Le Monde*, 10 décembre 1964, p. 12.

LES UNIVERSITÉS

L'échec de la construction d'ordinateurs dans les organismes de recherche français, tous parisiens, laisse en quelque sorte le champ libre aux initiatives universitaires provinciales. Celles-ci, devenant plus visibles, bénéficient à partir des années cinquante de crédits et d'aides qui, autrement, seraient sans doute restées concentrées à Paris. En 1963, le rapport de conjoncture du CNRS distinguera trois principaux « complexes régionaux » équipés de « très gros ordinateurs » (Grenoble, Toulouse, Paris), deux « grands centres » (Lille et Nancy) et neuf « centres moyens » dotés de petits calculateurs. Dix ans plus tard, une carte dressée par l'IRIA/SESORI indiquera la même répartition, avec une promotion de Rennes (fig. 19). Comment s'est construite cette hiérarchie, cette géographie des centres de calcul et de recherche en informatique ? C'est en tâchant de répondre à cette question que nous évoquerons les débuts de l'informatique dans l'enseignement supérieur¹.

L'introduction de la recherche en informatique dans les universités s'est effectuée selon différentes logiques que l'on peut classer en deux grands types :

- Les logiques endogènes : des équipes de mathématiques appliquées existant dans certaines villes universitaires lancent des recherches sur le calcul et l'emploi des ordinateurs ; elles finissent par constituer de grands laboratoires, voire de nouveaux instituts, autour de ces sujets.
- Les logiques exogènes : l'informatique ne se développe que grâce à l'apport d'enseignants formés à l'informatique dans les pôles précédents.

Avant de décrire ces deux logiques et les équipes correspondantes, il faut éclairer les relations causales entre la présence d'écoles d'ingénieurs depuis le début du siècle dans certaines universités et le démarrage de l'informatique pendant les « Trente Glorieuses ».

1 Un premier exposé de cette étude a été publié, sous une autre forme et à partir d'un échantillon plus réduit : M. Grossetti & P.-É. Mounier-Kuhn, « Les débuts de l'informatique dans les universités. Un moment de la différenciation géographique des pôles scientifiques français », *Revue française de sociologie*, 1995, n° 2. Ce travail ne prétend pas être exhaustif (par exemple je ne sais presque rien sur Saint-Étienne ou Caen), mais il propose un modèle d'analyse de développements différenciés.

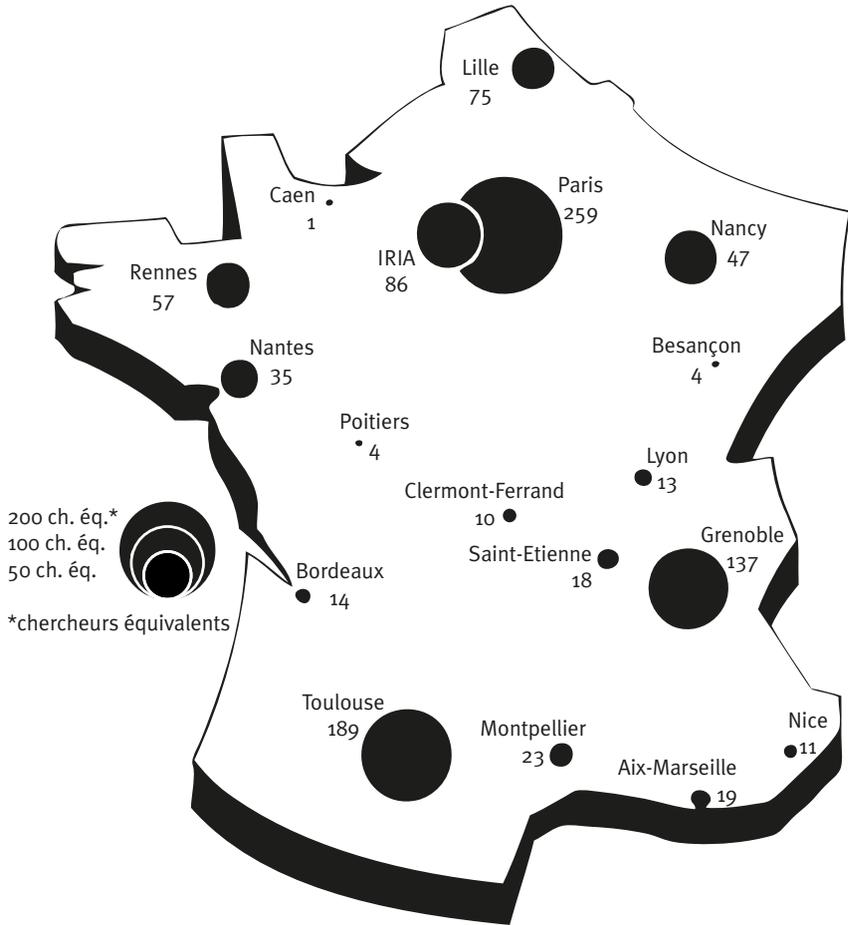


Figure 19. La recherche publique en informatique et automatique en France, fin 1973

Source : SESORI (service de synthèse et d'orientation de la recherche informatique)
 Le Rapport de conjoncture 1974 du CNRS dresse un tableau de la recherche informatique qui recoupe et complète la carte du SESORI². La carte reste remarquablement stable une décennie plus tard, d'après les statistiques 1985 publiées dans le *Bulletin Spécif*, n°1, février 1986. Les rattrapages les plus rapides seront ceux de Lyon, Aix-Marseille et Montpellier – les deux premiers explicables par simple effet démographique dans les deux plus grandes villes françaises après Paris, tandis que Montpellier bénéficie à la fois de la présence d'IBM et du transfert d'un laboratoire parisien.

² CNRS, Rapport de conjoncture 1974 « Informatique et moyens de calcul polyvalents ».

LA CRÉATION DES INSTITUTS TECHNIQUES DES FACULTÉS DES SCIENCES ET SES EFFETS À LONG TERME : LE RÔLE DES ÉCOLES D'INGÉNIEURS

Pour comprendre le paysage universitaire d'après-guerre, il nous faut revenir brièvement au début du xx^e siècle et aux grandes réformes des années 1876-1897, qui ont mis fin à « l'université napoléonienne ». Rappelons l'objectif visé par les républicains radicaux ou opportunistes (Jules Ferry) et par les administrateurs (Louis Liard) : créer un nombre limité de grandes universités, comparables aux universités allemandes et susceptibles d'améliorer la situation de la formation et de la recherche françaises, jugée particulièrement alarmante³. Il s'agit aussi de renforcer l'enseignement laïque face aux facultés catholiques, dont l'activité scientifique est illustrée par l'œuvre d'Édouard Branly en radio-électricité⁴. Une véritable génération positiviste est au pouvoir, qui croit au Progrès par le Savoir⁵.

- 3 A. Dumont, directeur de l'enseignement supérieur, estimait dans un article publié par la *Revue internationale de l'enseignement* en 1884 que les publications scientifiques allemandes étaient dix fois plus nombreuses que les françaises. Sur le plan technologique (brevets), la France avait fait piètre figure aux expositions universelles précédant le désastre de 1870 (Weisz, 1977, Grelon, 1989). Louis Liard souhaitait que le cloisonnement stérile entre les facultés fasse place à l'interaction des disciplines dans le cadre des « universités » (L. Liard, *Universités et facultés*, Paris, A. Colin, 1890, p. 142-149).
- 4 L'ouvrage de H. Paul, *From Knowledge to Power*, contient un chapitre intitulé « Catholic Science ». Sur Branly en particulier, et la signification de son œuvre pour l'histoire des sciences et des techniques, voir le numéro spécial de la *Revue d'histoire des sciences* (t. XLVI-1, 1993) consacré à « Branly et la TSF : tradition ou innovation ? ».
- 5 Pour une analyse détaillée de ces réformes, on peut se reporter aux travaux d'A. Grelon, « Les universités et la formation des ingénieurs en France (1870-1914) », *Formation emploi*, n° 27-28, 1989 ; V. Karady, « De Napoléon à Duruy : les origines et la naissance de l'université contemporaine » et « Les universités et la Troisième République », dans J. Verdier (dir.), *Histoire des universités en France*, Toulouse, Privat, 1986 ; H. W. Paul « Apollo Courts the Vulcains. The Applied Science Institutes in Nineteenth Century French Science Faculties », dans R. Fox & G. Weisz (dir.), *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914*, Paris/Cambridge University Press & MSH, 1980 ; ou G. Weisz, *The Emergence of Modern Universities in France, 1863-1914*, Princeton, Princeton University Press, 1983. Plus généralement, sur l'université, voir : C. Charle, *Histoire des universités*, Paris, PUF, coll. « Que Sais-je ? », 1994 ; C. Charle *La République des universitaires (1870-1940)*, Paris, Le Seuil, 1994 ; J. Verdier (dir.), *Histoire des universités en France*, Privat, Toulouse, 1986 ; C. Charle et R. Ferré (dir.), *Le Personnel de la faculté des sciences de Paris. Dictionnaire biographique 1901-1939*, Paris, IHMC-CNRS, 1989 ; C. Charle et R. Ferré (dir.), *Le Personnel de l'enseignement supérieur en France aux XIX^e et XX^e siècles*, Paris, IHMC-CNRS, 1985. Dans ce dernier recueil, l'article de Robert Fox souligne que le développement des sciences appliquées était déjà bien amorcé sous le Second Empire dans certaines facultés, avec le soutien du ministre Fortoul ; ensuite, les sciences appliquées sont devenues l'objet de disputes : de quelles sciences appliquées a-t-on besoin ? (la réponse diffère selon qu'elle vient des industriels ou des universitaires) ; une formation technique d'utilité immédiate est-elle vraiment plus rentable pour l'économie qu'une formation approfondie ? Ces enseignements seront-ils sous la tutelle du ministère de l'Instruction publique ou du ministère du Commerce ? (Robert Fox, « L'attitude des professeurs des facultés des sciences face à l'industrialisation en France entre 1850 et 1914 », *Le Personnel de l'enseignement supérieur*, op. cit., p. 135-149).

Les gouvernements de la III^e République, ne disposant ni des moyens ni d'un consensus politique suffisants pour imposer la fondation de cinq ou six grandes universités, doivent se contenter de réformer l'organisation des enseignements, de créer des chaires d'enseignement et des bourses pour les étudiants. Et surtout de donner beaucoup plus d'autonomie aux facultés en les autorisant à faire appel à des financements locaux, privés ou publics, et à fonder de nouveaux enseignements. Les facultés d'alors revendiquent vigoureusement la liberté de créer des cours complémentaires adaptés aux besoins économiques et aux intérêts scientifiques de la région. Un tiers des budgets des facultés est financé par d'autres sources que l'État entre 1880 et 1924.

Dans une situation caractérisée par le relatif retrait de l'autorité nationale – l'État ne parvient pas à organiser la sélection de quelques sites pour y concentrer son effort – et par l'ouverture de l'enseignement supérieur aux initiatives locales, la compétition ouverte entre les villes universitaires entraîne une différenciation profonde. Les efforts consentis par les collectivités locales en faveur de leurs facultés vont être à la fois importants et variables, du point de vue tant quantitatif (sommes investies) que qualitatif (orientations, création de nouveaux enseignements). Cette période étant celle du développement de savoirs scientifiques sur la chimie ou l'électricité et de leur introduction dans l'industrie, c'est l'enseignement de ces sciences qui fait l'objet des orientations les plus différenciées. Les demandes des industriels et les espoirs économiques des responsables locaux aboutissent à l'ouverture de nouveaux enseignements appliqués à l'industrie⁶. Sont ainsi créés des cours publics, de nouvelles chaires, puis des instituts techniques annexes des facultés des sciences, destinés à la fois à mener des recherches et à former des ingénieurs pour les entreprises locales. Un décret de 1920 laisse aux universités le soin d'organiser leurs instituts selon leurs besoins et leurs ressources.

La création des instituts n'est pas homogène. Les orientations disciplinaires peuvent se classer en deux catégories : d'une part, les domaines déjà classiques comme la chimie, l'agriculture ou l'agro-alimentaire et diverses spécialités liées aux milieux industriels locaux (tannerie, papeterie, etc.) ; d'autre part, l'électricité avec les Instituts d'électrotechnique de Nancy (créé en 1901), Grenoble (1901), Lille (1905) et Toulouse (1907). Les Instituts d'électrotechnique accueillent beaucoup plus d'étudiants que les autres et surtout beaucoup d'étrangers. En 1913, les instituts forment globalement presque autant d'ingénieurs que les Grandes Écoles (388 contre 550) – des ingénieurs, il est vrai, moins bien cotés

6 A. Grelon, 1989 ; et M. J. Nye, *Science in the Provinces : Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*, Berkeley, University of California Press, 1986.

que ceux des Grandes Écoles⁷. Les facultés de Grenoble, Toulouse et Nancy délivrent plus de diplômes technologiques que de diplômes classiques : jusqu'à 80 % des diplômes décernés. On peut dire qu'à cette époque, si Paris vénère la Science comme un élément de la Culture, maintes facultés provinciales la soutiennent plutôt comme une base du développement technologique et industriel⁸.

Le choix de l'électrotechnique s'explique par les contextes locaux. Au pied des Alpes, Grenoble participe à l'essor de l'hydroélectricité : équipement de la première haute chute en 1869, premières usines électriques dans les années 1880. Des entreprises spécialisées dans les constructions hydrauliques existent (Bouchayer-Viallet), d'autres ne vont pas tarder à se consacrer aux constructions électriques (Neyrpic, Merlin-Gérin). Elles collaborent volontiers avec la faculté des sciences, plus précisément avec l'Institut polytechnique de Grenoble.

À Toulouse, où il n'y a guère d'industrie, les responsables locaux espèrent que la proximité des Pyrénées et la « houille blanche » vont enfin permettre un essor économique⁹. La municipalité crée elle-même la chaire d'électricité industrielle, s'engageant à financer les salaires du professeur et de son chef de travaux pour une durée de vingt ans.

Nancy se trouve entre 1870 et 1918 dans une situation particulière, à cause du rattachement de Metz et de Strasbourg à l'Allemagne. D'une part, l'État est prêt à consentir des efforts particuliers pour Nancy, vitrine de la France face au Reich et qui recueille un grand nombre de scientifiques alsaciens réfugiés,

- 7 L'opinion du professeur toulousain H. Bouasse est représentative : « Je ne suis pas hostile aux instituts techniques des facultés, ni jaloux de leurs succès : tout mon enseignement est orienté vers l'utile ; mais je déteste le gâchis. Les instituts devaient être pour l'Enseignement supérieur une fontaine de Jouvence ; ils sont en train de le ruiner par suite de leur recrutement déplorable, que systématise la théorie insensée de la "porte ouverte". [On ne doit pas] ouvrir les portes des instituts à des gens évidemment incapables de profiter de l'enseignement et dont la présence est une gêne pour leurs camarades et leurs professeurs. [...] On est en train de transformer les facultés en je ne sais quelles écoles primaires préparatoires à elles-mêmes ». La cause profonde du mal est que le Lycée ne fournit pas « les connaissances solides » et « l'enseignement utile que la Nation réclame » (H. Bouasse, *Cours de mathématiques générales*, Paris, Delagrave, 1947, p. 3).
- 8 M. J. Nye, « The Scientific Periphery in France : The Faculty of Sciences at Toulouse (1880-1930) », *Minerva*, 1975, vol. XIII, n° 3, p. 390. En 1913 par exemple, un conflit a éclaté entre la faculté de Nancy, qui souhaitait remplacer sa chaire de géologie par une chaire d'électrotechnique, et le ministère à Paris, qui commençait à s'inquiéter des préférences provinciales pour les sciences appliquées (inquiétude exprimée par le mathématicien Paul Appell).
- 9 En fait, si les scientifiques locaux (notamment les hydrauliciens et les minéralogistes) jouent un rôle important dans l'équipement électrique du pays, il n'y aura pas de développement industriel toulousain autour de l'hydroélectricité ou grâce à elle. L'industrie aéronautique n'aura longtemps que des liens ténus avec les milieux scientifiques régionaux (M. Grossetti, « Enseignement supérieur et technopole : l'exemple de l'informatique à Toulouse », *Revue française de sociologie*, 1990, XXXI, n° 3).

acquis aux idées de la science appliquée. D'autre part, le groupe industriel belge Solvay, qui possède une usine de soude à proximité (site de Dombasles), soutient généreusement la création des instituts de chimie et d'électrotechnique.

Seul l'Institut d'électrotechnique de Lille semble peu demandeur de mathématiques appliquées, d'une part en raison de ses orientations scientifiques propres, d'une part à cause de la concurrence de l'Institut industriel du Nord (actuelle École centrale de Lille) qui absorbe la plupart des candidats potentiels.

Vers 1950, les facultés des sciences de Grenoble, Toulouse et Nancy ont ainsi pour point commun d'être dotées d'importantes écoles d'ingénieurs dans les domaines de l'électricité (électrotechnique, électronique) et de la mécanique des fluides. Domaines où les besoins de calcul deviennent importants comme on l'a vu plus haut avec le *lobbying* de la Société française des électriciens en faveur des mathématiques appliquées. Ces écoles, transformées en Écoles nationales supérieures d'ingénieurs (ENSI) en 1947, sont internes aux universités : elles n'ont pas de corps professoral autonome et doivent donc recourir à celui de la faculté¹⁰. Lorsque leurs responsables, universitaires eux-mêmes, veulent recruter un enseignant, ils doivent obtenir l'accord de leurs collègues de la faculté. Cette caractéristique a pour effet dans les trois villes le recrutement précoce d'un professeur de calcul numérique, soit avec l'accord des mathématiciens (cas de Grenoble et Toulouse), soit contre leur avis (cas de Nancy), comme on va le voir.

238

A. LOGIQUES ENDOGÈNES : L'HÉRITAGE DES SCIENCES APPLIQUÉES ET LA NAISSANCE DE L'INFORMATIQUE UNIVERSITAIRE

Si l'on considère l'évolution des enseignements, notre histoire de l'informatique commence vers 1950 par la formation mathématique des ingénieurs, complétée progressivement par l'apprentissage de la programmation. Ces disciplines principalement techniques s'associeront ensuite à des approches plus théoriques.

L'analyse numérique a pour objet essentiel la conception de procédures de calcul adaptées au problème à résoudre et aux instruments de calcul disponibles. Dans de nombreux cas, les méthodes analytiques, donnant un résultat formel que l'on convertit ensuite en solution numérique en introduisant les paramètres du problème, sont inefficaces (équations aux dérivées partielles par exemple) ou exigent un temps de calcul rédhibitoire – calcul matriciel, méthode de Monte-Carlo en statistique, dont la physique atomique devient grande

¹⁰ Les ENSI peuvent seulement payer sur leurs ressources propres des intervenants extérieurs et des chargés de cours.

utilisatrice à la suite des travaux de J. von Neumann et S. Ulam. Les spécialistes du calcul numérique cherchent des algorithmes adéquats, par exemple des méthodes d'approximations successives, formellement moins élégantes mais fournissant des résultats pratiques. Avant l'arrivée des ordinateurs, ils travaillent à l'aide de calculatrices de bureau, parfois avec de plus gros matériels, machines à cartes perforées ou simulateurs analogiques, pour répondre aux besoins grandissants des sciences et des techniques.

En s'ajoutant à ces appareils à partir de 1955, l'ordinateur renouvelle considérablement ce domaine, d'abord en exigeant des procédures de calcul adaptées : les « numériciens » s'efforcent de décomposer les fonctions mathématiques complexes en combinaisons des quatre opérations arithmétiques de base, elles-mêmes réduites en longues séquences d'opérations logiques simples, seules exécutables par la machine, quitte à ce qu'elle les répète des milliers de fois puisqu'elle le fait très vite. Ils doivent aussi mettre au point les algorithmes les moins coûteux en temps d'exécution ou en taille mémoire¹¹, ce qui revient souvent au même à l'époque. Et déterminer ceux qui minimisent l'erreur d'arrondi, laquelle prendrait des proportions catastrophiques en raison même de la puissance des nouvelles machines. Comme l'explique un notable mathématicien français, Robert Fortet :

Les fondements classiques de l'analyse numérique [...] garderont sans doute leur valeur ; mais [...] il nous faut repenser les procédés qui découlent de ces principes fondamentaux, non plus par rapport aux possibilités et commodités d'un calculateur humain manuel, mais par rapport à la structure logique et fonctionnelle des machines ; je l'appris, un peu à mes dépens, dès mon premier contact avec les machines, durant un séjour à l'Institut d'analyse numérique du National Bureau of Standards¹².

L'apport des mathématiciens dans ce domaine est double : ils étendent l'aptitude des ordinateurs à des problèmes a priori difficilement numérisables ; et ils optimisent la programmation des calculs, donc les performances des machines. C'est ainsi que l'ordinateur finira par évincer les calculateurs analogiques qui, jusqu'aux années 1960, peuvent seuls traiter certaines problèmes dans des conditions de coût acceptables : équations différentielles, simulation de contrôle de processus, modélisation de systèmes complexes.

L'ordinateur offre aussi des possibilités de calcul sans cesse croissantes qui permettent, soit de reprendre de très vieilles méthodes, de très anciens

¹¹ J. von Neumann, *L'Ordinateur et le Cerveau*, Paris, Flammarion, 1996, p. 36.

¹² R. Fortet, préface à A. Korganoff, L. Bosset, J.-L. Grosboillot et J. Johnson, *Méthodes de calcul numérique*, Paris, Dunod, 1961, p. IX.

problèmes avec des outils neufs¹³, soit de jouer avec de passionnant problèmes logiques de complexité, donc d'entreprendre des études jusque-là presque inabordables : recherche opérationnelle, théorie des graphes, combinatoire. Enfin il suscite progressivement de nouveaux problèmes : méthodes et langages de programmation, architecture des systèmes, bientôt intelligence artificielle. Liés à sa spécificité – le programme enregistré, dématérialisé –, ces travaux constitueront la base d'une nouvelle discipline, l'informatique.

Lorsque des équipes de « numériciens » existent dans une université dans la période 1955-1965, l'acquisition d'ordinateurs est immédiate et débouche sur l'émergence rapide de recherches en informatique. L'existence de recherches en calcul numérique est donc une condition suffisante pour le développement de l'informatique en tant que domaine de recherche dans une université.

240

C'est aussi quasiment une condition nécessaire. On ne voit guère d'équipe d'informatique se constituer à partir de recherches en électronique, de l'aspect matériel des ordinateurs, puisque aucun projet d'ordinateur n'a vu le jour dans une université française à l'époque pionnière. Cela donne une physionomie particulière, nationale, aux contenus de l'enseignement ; l'informatique universitaire française est d'abord centrée sur le calcul numérique et la programmation, tandis que l'architecture de machines et la technologie restent notablement négligées dans la plupart des équipes.

Par ailleurs, le simple achat d'un ordinateur ne débouche pas nécessairement sur un développement de l'informatique : dans bien des cas, cette acquisition répond à la demande de disciplines ayant besoin de calcul mais ne prenant pas les méthodes de calcul pour objet : mécanique, astronomie, physique nucléaire, cristallographie. Enfin, l'existence de cours de calcul numérique, voire d'informatique, ne s'accompagne d'un développement de recherches que si ces cours sont assurés par un enseignant de rang suffisant dans le système de l'époque, professeur ou maître de conférences (équivalent des actuels professeurs de seconde classe), pour organiser une option de troisième cycle et un laboratoire. Les enseignements pratiques, techniques, du calcul sur machines ne suffisent pas. De plus, le conflit est permanent, dans l'emploi du temps des informaticiens, entre service de calcul pour répondre à la demande, toujours plus pressante, et recherche génératrice de publications et de satisfactions professionnelles.

13 Ainsi, en 1957, la formule conçue en 1706 par l'Anglais John Machin pour calculer le nombre π est ingurgitée dans l'IBM 704 de la place Vendôme : pour la première fois dans l'histoire sont précisées « Dix mille décimales de π » (F. Genuys, *Chiffres*, 1958, n° 1, p. 17-22). Remarquons qu'il s'agit de pure virtuosité, sans autre application que la réflexion sur les méthodes de calcul : connaître 40 décimales de π serait largement suffisant pour calculer la circonférence de la Voie Lactée avec une erreur inférieure à la taille d'un proton. La suite des décimales de π a pu être utilisée aussi comme suite pseudo-aléatoire (méthode de Monte-Carlo).

Quel que soit l'intérêt d'un nouveau domaine scientifique, son insertion dans les cursus académiques ne peut se faire que lentement. Non pas à cause de quelque refus irrationnel de l'innovation de la part de mandarins somnolents. Mais ouvrir un nouvel enseignement nécessite des crédits, qui ne sont pas toujours disponibles avant l'année budgétaire suivante. Encore plus délicat, cela empiète peu ou prou sur le domaine réservé d'un professeur, sur les matières qu'il enseigne et les moyens dont il dispose. Cela exige enfin des enseignants déjà formés – cercle vicieux dont les premières issues sont généralement très imparfaites, confirmant parfois la suspicion des disciplines établies à l'égard de la nouvelle venue : l'« informatique » n'est-elle pas qu'un effet de mode peu sérieux, un refuge pour les médiocres incapables de s'imposer ailleurs ? L'introduction de l'informatique dans l'enseignement supérieur est donc progressive : interventions ponctuelles de spécialistes, puis cours complémentaires ou optionnels, nomination d'assistants ou de maîtres de conférence, installation de professeurs et de chaires enfin.

Ce schéma d'interprétation se vérifie par l'examen, dans les principales villes universitaires françaises, du développement de l'informatique sous les trois aspects qu'elle peut prendre : outil de calcul, enseignement, recherche.

a. La recherche en calcul numérique existe avant l'acquisition des ordinateurs

À Grenoble, à Toulouse et à Nancy, des enseignements de mathématiques appliquées apparaissent vers 1950 pour répondre aux besoins locaux de recherche et de formation. Ils déclenchent un processus cumulatif d'offre et de demande de calcul qui aboutit à la constitution de grands pôles universitaires d'informatique.

Grenoble

L'Institut polytechnique de Grenoble est alors une fédération d'écoles d'ingénieurs (électronique, électrotechnique, hydraulique, papeterie) qui partagent les locaux de la faculté des sciences. Il est comparable à une *Technische Hochschule* allemande¹⁴.

Jean Kuntzmann, normalien de la promotion 1931, a préparé un doctorat en algèbre (avec Georges Valiron, la bête noire de Bourbaki !), puis a été recruté par la faculté pendant la guerre pour répondre aux besoins des formations d'ingénieurs. L'université de Grenoble, déjà considérable, s'est encore étoffée pendant l'occupation car elle accueillait une partie des universitaires d'Alsace-Lorraine repliés en zone libre. Nommé « pour ordre »

14 D. Pestre, « Louis Néel et le magnétisme à Grenoble », art. cit.

mais prisonnier en Allemagne, Kuntzmann ne prend effectivement ses fonctions qu'en 1945 :

Revenant à la vie civile après cinq années de guerre et de captivité, il ne me semblait pas évident que je devais reprendre mes activités mathématiques là où je les avais laissées, c'est-à-dire dans une algèbre hyperdésincarnée. J'étais donc assez réceptif à des appels extérieurs. Or, le directeur de l'Institut polytechnique de Grenoble, M. Esclangon, désirait développer dans cette école l'enseignement mathématique¹⁵.

242

À partir de 1945, Kuntzmann s'oriente vers les mathématiques appliquées et le calcul numérique, notamment pour répondre aux besoins des électroniciens. Esclangon et Néel ont en effet créé en 1943 une section « Hautes fréquences », qui demande de plus en plus de calculs et de modèles mathématiques. Cette section étudie des questions liées aux radars et à la radionavigation, et forme des spécialistes pour la Marine. Elle se transformera plus tard en section normale puis en École de radioélectricité, d'électronique et enfin en ENSERG. Un cours d'analyse appliquée démarre à l'IPG en 1948, donnant lieu à un certificat de licence en 1949, sous la direction de Kuntzmann pour lequel une chaire de mathématiques appliquées sera fondée en 1956. Il est complété par des travaux pratiques de calcul, sous la responsabilité de Jean Laborde, utilisant les outils de l'époque : tables numériques, abaquages, machines à calculer de bureau mécaniques ou électriques, appareils numériques ou analogiques¹⁶. La fondation du laboratoire de calcul est officialisée en 1949, initialement sous forme d'un laboratoire d'institut¹⁷.

Kuntzmann recrute des collaborateurs parmi les étudiants et les jeunes ingénieurs de l'IPG : 6 enseignants et chercheurs en 1958, 53 en 1963. Promu « Institut de Mathématiques appliquées de Grenoble » (IMAG), l'ensemble qu'il dirige englobe en 1956 un troisième cycle de mathématiques appliquées, une section de mathématiques appliquées pour les élèves-ingénieurs de l'IPG, puis un diplôme d'études supérieures techniques (DEST) « Programmation »

15 Correspondance de J. Kuntzmann avec l'auteur, 1986. J. Kuntzmann, *Naissance et jeunesse de l'IMAG*, Grenoble (préf. P.-J. Laurent, postf. L. Bolliet), 1992, p. 14. Cette brochure est une excellente source sur l'histoire de l'IMAG, tout comme le n° commémoratif de la revue *Chiffres* édité en 1977. Remarquons que Kuntzmann évolue à l'inverse de la plupart des mathématiciens français de sa génération, polarisés par Bourbaki.

16 En 1950, le laboratoire est équipé de 3 Vaucanson et de 3 planimètres Coradi (total 345 000 aF), auxquels s'ajoutent une Peerless d'occasion récupérée par le CNRS en Allemagne et la Monroe personnelle de Kuntzmann. Entre 1952 et 1957 sont acquises d'autres machines de bureau numériques (4 Marchant, 1 Walter, 1 Frieden). Au total, un équipement dont la valeur reste en permanence inférieure à 1 MaF.

17 J.-P. Verjus, « Avant-Propos », Inventaire des archives de l'IMAG (Archives départementales de l'Isère).

en 1957. Les aspects *software* dominent nettement ces cursus¹⁸. Toutefois, l'architecture et la technologie des calculatrices digitales sont aussi enseignées, d'abord par un ingénieur électrotechnicien, René Perret, qui a fait un stage de six mois à Harvard chez H. Aiken et au National Bureau of Standards, puis par un ingénieur électronique venu de la SEA, Paul Namian.

En 1952 la faculté achète une calculatrice analogique de la Société d'électronique et d'automatisme, qui centuple sa capacité de traitement. Le laboratoire de calcul ne sert pas qu'à l'enseignement, il travaille aussi sous contrat pour des clients extérieurs, ce qui explique sa création officielle en 1951 comme laboratoire d'essai de l'IPG.

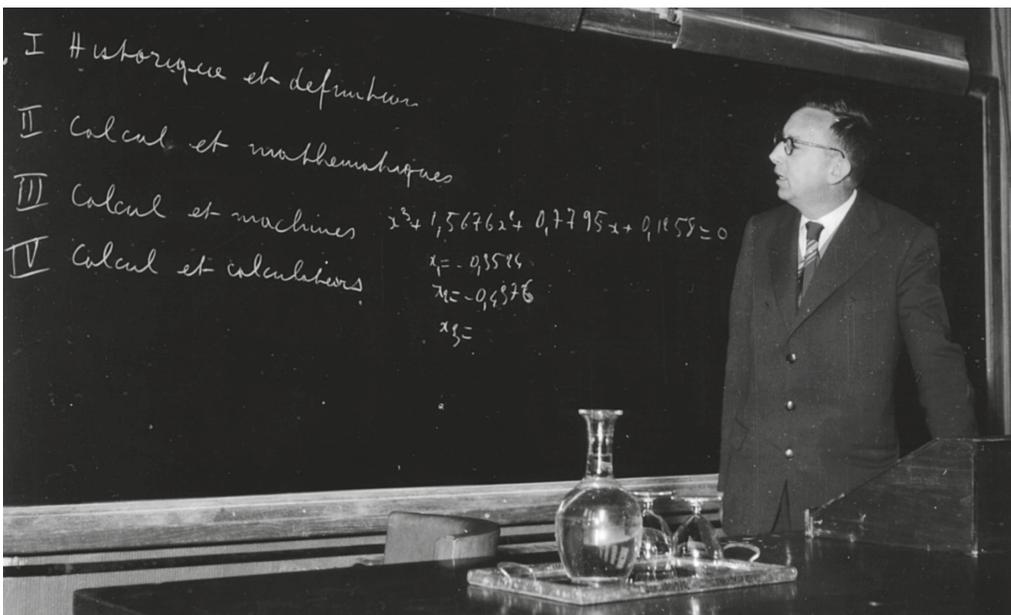


Figure 20. Jean Kuntzmann, professeur de Mathématiques appliquées (1963) (Photo IMAG)

Un réseau de partenaires locaux et nationaux

Le directeur de l'IPG, l'« électricien » Félix Esclangon, joue un rôle capital jusqu'à sa mort accidentelle en 1956 – il s'électrocute en plein cours en faisant une démonstration. Les archives de l'IMAG montrent Esclangon, inlassable, demander au ministère de tutelle les crédits d'équipement et de personnel nécessaires, faire intervenir ses relations pour débloquer un dossier, persuader les clients potentiels de confier des calculs au laboratoire Kuntzmann, mettre celui-ci en contact avec telle personne « utile ». Bref tisser les premières

¹⁸ J. Kuntzmann, *Cours de moyens de calcul de l'université de Grenoble pour la formation de calculateurs*, Grenoble, faculté des sciences, 1957.

mailles du réseau socio-économique qui drainera vers l'IMAG les ressources financières, techniques, informationnelles nécessaires à son développement. C'est Esclangon qui demande directement au président d'IBM, Watson, de livrer en priorité à l'IPG le tout nouveau calculateur IBM CPC¹⁹. C'est Esclangon qui invite F.-H. Raymond à prononcer à Grenoble une conférence sur le calcul électronique – ils ont travaillé ensemble avec Louis Néel, pendant l'été 1940, au Centre de recherches de la Marine replié de Toulon à Alger par l'amiral Fenard en vue d'une poursuite de la guerre. C'est Esclangon qui demande 20 MF en 1951 au ministère de l'Éducation nationale pour acheter une calculatrice analogique SEA, envoyant copie de la lettre au directeur de l'Enseignement supérieur, Donzelot (« Monsieur le directeur et cher ami ») et sollicitant la bienveillance du doyen de la Sorbonne, Chatelet.

244

Les arguments présentés montrent l'habile rhétorique d'Esclangon qui fait feu de tout bois pour construire et imposer une nouvelle activité scientifique : il s'agit de « répondre à la forte demande de calcul des industriels de Grenoble et d'ailleurs » (demande qu'Esclangon s'emploie à créer !) ; « le développement actuel des méthodes et instruments de calcul dans le monde va sans doute apporter de profondes modifications dans le travail expérimental, par exemple en mécanique des fluides : le calcul devient moins coûteux que l'expérimentation » ; le projet de fonder un laboratoire de calcul à Grenoble est solide : « nous avons la clientèle, nous avons les hommes [Kuntzmann] »²⁰.

La calculatrice analogique universelle SEA OME 40, installée fin 1952, « donne de bons résultats entre les mains d'opérateurs expérimentés. Elle permet de résoudre des problèmes beaucoup plus variés qu'on ne le croyait a priori. Assez lente à mettre en œuvre, peu apte à passer rapidement d'un problème à l'autre [défauts inhérents aux calculateurs sans programme enregistré], elle convient parfaitement à l'étude d'un grand nombre de cas ne différant que par les valeurs des paramètres »²¹. Cette machine a coûté 20 MF, sept ou huit fois le prix d'un ensemble mécanographique classique, quarante fois celui d'une bonne calculatrice de bureau : avec l'électronique, le coût des équipements d'un laboratoire de mathématiques change d'échelle, dès avant les ordinateurs.

19 Échange évoqué dans une lettre d'Esclangon à Brent, d'IBM World Trade, avril 1952 (IMAG 01). La machine sera finalement livrée en 1954 à la firme grenobloise Neyrpic, avec un droit d'utilisation pour Kuntzmann.

20 Lettre d'Esclangon au MEN, 6 août 1951 (IMAG 01).

21 Lettre de Kuntzmann à Bøelen (directeur de l'Institut de recherches aéronautiques d'Amsterdam), 15 février 1954 (IMAG 02). L'OME 40 peut calculer un système de 80 équations à 80 inconnues (étude du barrage de Roselend), mais Kuntzmann doit refuser un problème à 1 000 équations à 1 000 inconnues que lui propose le CERN.

L'IMAG est le premier laboratoire « académique » français à recevoir un ordinateur électronique. Il peut désormais résoudre des problèmes mathématiques jusque-là inabornables.

Figure 21. Calculateur analogique SEA OME 40 de l'IMAG (1952) (photo IMAG)

Le travail de tests, de réglages et de réparation est une activité importante sur une machine de 1^{ère} génération. Livré fin 1952 à l'université de Grenoble, cet « Opérateur mathématique électronique » sert à la formation des chercheurs et des étudiants et à de nombreuses études techniques sous contrats avec des organismes publics ou privés : barrage de Roselend pour EDF, missiles pour Matra et les armées, dégrossissement de calculs à traiter ensuite numériquement chez IBM ou Bull, etc. L'OME 40 sera encore utilisé en 1960, son usage se limitant alors aux exercices des élèves.



C'est encore Esclangon qui, utilisant le fichier de la Société française de Mécanique dont il est un membre éminent, permet à Kuntzmann d'adresser un véritable *mailing* aux industriels susceptibles de recourir à son service de calcul²². Le premier client extérieur à l'IPG est l'Armée de l'air, qui passe d'importants contrats à partir de 1950 au laboratoire Kuntzmann, auprès de qui elle détache pendant plusieurs années un ingénieur de l'Air, Noël Mignot (le détachement de personnels est l'un des procédés les plus importants de la collaboration recherche / industrie / armée). Le contact a été établi par F.-H. Raymond, qui adresse ensuite à Kuntzmann d'autres clients venus lui demander des calculs. La SEA bénéficie ainsi d'une bonne publicité, et entame une collaboration scientifique avec l'IMAG ; la firme et le laboratoire échangent idées, modèles

22 Lettres d'Esclangon et de Kuntzmann à François Cahen, chef du service d'études de réseaux de la Direction des études et recherches d'EDF, octobre 1952 (IMAG 01) : « Notre laboratoire de calcul se charge de tous calculs, particulièrement ceux qui présentent des difficultés [...] M'occupant par ailleurs de la formation mathématique des électriciens, je trouverais un intérêt tout particulier à travailler avec EDF ». Kuntzmann adhère à la Société française de Mécanique en 1954. C'est toujours Esclangon qui, pressé par Kuntzmann, demande en mai 1954 à la Direction de l'Enseignement technique de faire nommer professeur à Grenoble un ingénieur, M. Salles, travaillant à la SNCASE « où il a acquis l'expérience du calcul ».

mathématiques, astuces de « programmation ». Quant aux calculs numériques, ils sont effectués sur des machines IBM : la 604 CPC d'IBM France, place Vendôme ; puis celle de Neyrpic lorsque cette firme grenobloise s'en équipe, en confiant la formation de ses calculateurs à Kuntzmann²³.



Figure 22. Centre de calcul numérique de Neyrpic-Sogrèah, IBM 650 (1957) (photo Sogrèah)

Partenaire durable de l'IMAG qui utilise ses machines IBM, cette entreprise devient bientôt un centre de R&D en analyse numérique appliquée à l'hydraulique, puis en recherche opérationnelle et en conception de produits logiciels de gestion.

Un mot sur la société Neyrpic, dont les dirigeants mènent une politique d'investissement scientifique pour assurer le renouvellement et la qualité de leurs produits. Fondé en 1929, le laboratoire Neyrpic ou laboratoire dauphinois d'hydraulique, sous l'autorité de Pierre Danel, s'est spécialisé dans la mécanique des fluides et a pris l'habitude de collaborer avec l'IPG où Danel dirige aussi un laboratoire d'hydraulique. Ses instruments d'étude sont d'abord l'expérimentation sur maquettes, le modèle réduit, à mi-chemin entre l'expérimentation et la simulation. Puis progressivement le calcul. Danel met au point des machines à transformation conforme. D'autre part Neyrpic possède

23 J. Kuntzmann expose les aspects techniques du calcul dans une communication qu'il présente à Rome en 1956, « Calcul de fonctions de Legendre » : ce travail, réalisé pour le CNET en utilisant les IBM CPC de diverses entreprises, a pris plusieurs années car les machines n'étaient pas toujours disponibles pour cette sous-traitance, il y avait beaucoup d'erreurs à corriger et l'équipe qui effectuait les calculs n'était pas celle qui les préparait ; l'essentiel de ce bref article est consacré au problème de l'estimation d'erreurs (J. Kuntzmann, « Calcul de fonctions de Legendre », dans Comité préparatoire du CIC, *Symposium sur les machines modernes de calcul*, Roma, Libreria Eredi Virgilio Veschi, octobre 1956, p. 1-3).

depuis 1945 un ensemble mécanographique IBM, utilisé pour sa gestion puis pour des calculs, sous la direction de Francis Biesel (X-1940). Le laboratoire se dote vers 1950 de calculateurs électroniques analogiques (un Philbrick importé en *kit* des USA), puis numériques (IBM 604 et CPC). Bientôt, les demandes d'études affluent et il joue un rôle d'ingénieur-conseil. Le laboratoire conquiert ainsi une autonomie qui mène à sa filialisation en 1955, sous le nom de Société grenobloise d'études et d'applications hydrauliques (SOGREAH)²⁴. Il serait intéressant d'en savoir plus sur la concurrence-complémentarité, au sein de Sogreah, entre les modèles « physiques » (grandes maquettes d'estuaires, de barrages ou de fleuves) et les modèles mathématiques du département scientifique dirigé par Francis Biesel. Une certaine rivalité semble opposer à la fois Sogreah et l'IPG, donc Biesel et Kuntzmann pour le calcul, et, à l'intérieur de ces établissements, les modèles mathématiques et les modèles physiques d'une part, le calcul numérique et le calcul analogique d'autre part²⁵.

Jusqu'au milieu des années cinquante, Kuntzmann travaille pour l'Aéronautique, l'EDF, la Compagnie nationale du Rhône, beaucoup plus que pour l'industrie grenobloise : « Les industriels locaux ne semblent pas encore avoir saisi les services que peut leur rendre le laboratoire, pour la résolution de problèmes et la formation de spécialistes »²⁶. Contrairement à une croyance commune, initialement, le développement du pôle informatique grenoblois résulte donc moins d'une collaboration entre université et industries locales que des relations qu'il établit avec des partenaires parisiens.

L'IMAG collabore aussi, dans une moindre mesure, avec l'industrie informatique naissante. Au-delà de l'acquisition de machines et de travaux de calcul exécutés en commun pour des tiers, l'IMAG peut contribuer au développement de nouveaux calculateurs. Le premier partenaire est la SEA. En 1954, la firme de F.-H. Raymond, qui construit pour l'Aéronautique un simulateur analogique de vol, « Mistral », confie au laboratoire Kuntzmann la tâche d'en concevoir les méthodes d'étalonnage ; l'IMAG à son tour,

24 SOGREAH, dont les 900 salariés réalisent en 1960 un CA de 35 MF en France, possède elle-même des filiales sur tous les continents (exposé de G. Sauvage de Saint-Marc, *Journées d'étude de recherche appliquée*, septembre 1960, Arch. nat. 81/0401/60 ; C. Plenet et P. Thorel, « Hommage à Francis Biesel. Une trajectoire industrielle remarquable, de l'hydraulique à l'informatique », dans *3^e colloque sur l'histoire de l'informatique*, op. cit.).

25 Témoignage de José Bourboulon, alors ingénieur commercial de Bull dans la région Rhône-Alpes, qui avait une connaissance approfondie de ces grands clients scientifiques.

26 Réponse de Kuntzmann à L. Weil (directeur de l'IPG) qui collecte des informations sur les services rendus par l'université de Grenoble à l'économie Alpine, 10 mars 1954 (IMAG02). Certes, Neyrpc dispose de son propre service de simulation, puis de calcul ; mais Kuntzmann offre en plus une expertise qui permet d'optimiser l'utilisation d'un tel service.

sous-traite les calculs numériques à IBM²⁷ – ce qui fait qu’IBM travaille (sciemment) pour la SEA ! En concordance avec ces bonnes relations de travail, la SEA verse à l’IPG sa taxe d’apprentissage « pour l’enseignement du calcul » (150 000 F²⁸). L’un des tout premiers colloques français dans ce domaine, les « Journées alpines de calcul numérique », organisé conjointement par l’IMAG et par Neyrpic en mai 1955, témoigne du rayonnement national du laboratoire grenoblois.

248

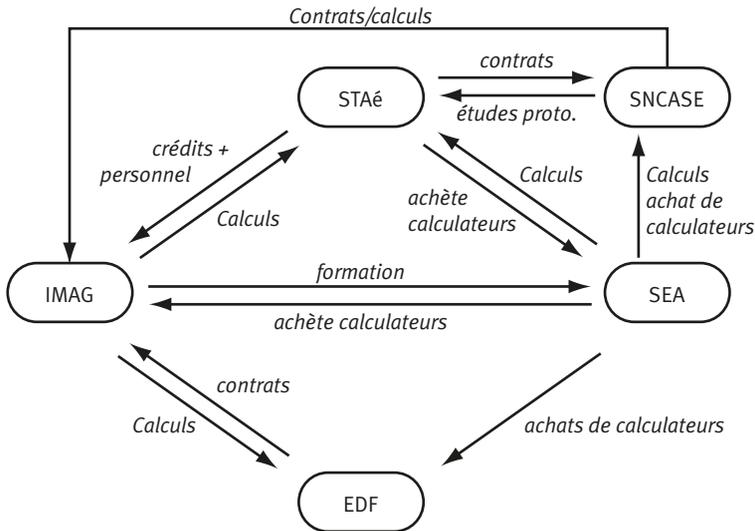


Figure 23. L’IMAG et ses principaux partenaires au début des années 1950

Les partenaires extérieurs comptent presque autant que le Ministère et l’université, en termes d’apport de ressources, d’orientation des sujets de recherche, de contenus enseignés.

Au début de 1956, l’IMAG décide d’acquérir un ordinateur, et son choix se porte tout naturellement sur la SEA qui vient de commercialiser sa « famille » de calculatrices arithmétiques binaires (CAB). « Ces matériels sont de conception très moderne, écrit Kuntzmann dans un rapport justificatif. Nous avons pu les voir nous-mêmes et n’avons recueilli que de bonnes informations à leur sujet ». La firme de Courbevoie propose deux versions successives : une CAB 2224 pour 45 MF TTC en février 1956, puis une CAB 2226 pour 90 MF TTC un an plus tard (le doublement du prix correspond au doublement de la mémoire). Pour des raisons que nous ne connaissons pas, mais qui tiennent sans doute

²⁷ Correspondance de Kuntzmann avec Erulin, chef du service de calcul d’IBM France, 1954 (IMAG 02). Effectués sur l’IBM 604 CPC de la place Vendôme, les calculs sont payés 228 171 F par l’IMAG en août 1954. Le 24 mai 1953, Kuntzmann avait déjà transmis au STAé un devis d’IBM pour 720 000 F, en y ajoutant 480 000 F d’études à 2 000 F/h.

²⁸ Chiffres retrouvés pour les années 1955 et 1957.

à sa capacité de production limitée, la SEA finit par retirer son offre²⁹. Elle perd ainsi un marché essentiel, celui d'un grand centre de calcul universitaire qui forme les premières promotions d'ingénieurs informaticiens. Au cours des années 1960, la SEA ne sera plus présente à l'IMAG que par un petit ordinateur CAB 500 installé en 1962, fonctionnant en libre service jusqu'en 1969.

Les relations qu'il entretient avec l'industrie ont permis à Jean Kuntzmann et à son principal collaborateur, Louis Bolliet, ingénieur électronicien, de se former au maniement des premiers ordinateurs dans deux entreprises de la région :

- À Grenoble, chez Neyrpic qui a acquis un IBM 650. « On a travaillé dessus [...] j'ai écrit pas mal de programmes pour M. Kuntzmann qui s'intéressait déjà aux équations différentielles »³⁰ ; c'est alors que commence vraiment une coopération entre Neyrpic et l'IMAG, qui n'exclut pas une certaine concurrence pour les contrats de calcul et la notoriété scientifique ;
- À Lyon, à la Société Normacem (filiale de la Compagnie électro-mécanique) qui dispose d'un équipement mécanographique Gamma 3 à programme par cartes (PPC) ; le premier cours de programmation est assuré par un ingénieur, M. Sollaud, et suivi par... quatre auditeurs : Kuntzmann, Laborde, Bolliet et Rohrbach, l'unique élève-ingénieur de la section spéciale de l'IMAG créée officieusement cette même année. Les travaux pratiques ont lieu le samedi à Lyon chez Normacem : « Nous prenions le train tôt le matin et dispositions de la journée pour mettre au point les programmes préparés pendant la semaine ».

C'est d'un ordinateur Bull que s'équipe finalement l'IMAG en 1957. Kuntzmann est soucieux de former ses étudiants sur des machines variées et, comme il dispose d'un IBM 650 chez Neyrpic, son choix se porte sur un ensemble Bull Gamma ET à tambour magnétique, payé 45 MF (Bull a consenti un rabais de 20 %). La direction du centre de calcul, devenue une tâche lourde, est confiée à un numéricien, Noël Gastinel.

Les premiers contacts avec Bull avaient eu lieu en 1952 lorsque Bull avait présenté son calculateur électronique Gamma 3. Ils s'étaient limités d'abord à des échanges de documentation technique et de renseignements commerciaux – ainsi, en 1954 le directeur du centre de calcul de Bull, Philippe Dreyfus, avait

29 Dossier SEA (IMAG 150). Le dossier ne contient cependant aucune explication de ce désistement.

30 Entretien avec L. Bolliet. Les équations différentielles sont alors le domaine des calculateurs analogiques. Les traiter sur calculateur numérique devient un défi intellectuel intéressant pour les mathématiciens, et permettrait d'augmenter le champ d'application des ordinateurs en profitant de la précision supérieure qu'ils apportent.

envoyé à Kuntzmann la liste des acquéreurs de Gamma 3 « Mathématique » susceptibles de recourir aux compétences de l'IMAG, généralement des centres militaires et des entreprises nationales.

L'installation du Gamma AET intensifie les relations Bull / IMAG. Non seulement les centres de calcul des deux entités échangent clients, problèmes et solutions, mais une véritable collaboration scientifique s'engage. Dès le printemps 1958, Bull demande à Bolliet de fournir cinquante exemplaires de son cours sur le Gamma AET pour la formation interne à la compagnie. Kuntzmann accepte ensuite de concevoir des programmes et des outils logiciels pour cette machine (un contrat de 300 kF en été 1958, et qui se poursuivra). Bull confie plus tard à l'équipe Kuntzmann le soin de réaliser des compilateurs Algol et COBOL, et des outils de programmation scientifique pour le Gamma 60 (ces contrats totalisent près de 1 MF entre 1961 et 1964)³¹. Concevoir des compilateurs est une spécialité de l'IMAG, qui rate son coup d'essai avec le compilateur Algol du Gamma 60, mais en écrit ensuite pour CAB 500, CAE 510, IBM 7044/7094 et Philips P 8000. Le laboratoire Kuntzmann envoie des techniciens se former au calcul électronique chez les constructeurs ou chez leurs clients. Il reçoit, en sens inverse, les ingénieurs accompagnant les machines, chargés de les mettre en route et de les entretenir, parfois de participer à l'enseignement.

250

Les Grenoblois, envisageant en 1960 d'étoffer leur équipement, examinent trois gros ordinateurs : le Bull Gamma 60, le Philco 2000 et un IBM de la série 7000. L'IMAG acquiert finalement un IBM 7044, installé en 1963. Ce choix est un coup dur pour Bull qui était prête à tous les sacrifices pour installer un Gamma 60 à l'IMAG et ne comprend pas les tergiversations autour de ce cadeau. Il traduit l'appréciation par les universitaires des qualités techniques d'IBM : machines conçues spécialement pour le calcul scientifique, facilités de programmation (langage Fortran, compatibilité avec le modèle précédent IBM 704) – alors que Bull reste concentrée sur l'informatique de gestion. D'autres ordinateurs IBM seront installés à l'université de Grenoble au cours des années soixante. Les constructeurs font des prix à l'IMAG, car celui-ci améliore les méthodes de programmation, et l'industrie en profite largement. De plus, les étudiants formés sur les ordinateurs d'un constructeur tendront ensuite à lui rester fidèles dans la vie active. En fait, l'IMAG améliore si bien le *software* de base de l'IBM 7044 qu'IBM lui ouvre un crédit permettant d'acquérir gratuitement des matériels complémentaires et lui donnera priorité pour livrer la machine suivante.

31 Correspondance entre l'IMAG (Bolliet, Kuntzmann) et Bull (Sallé, Leroy, Adrien), 1958-1964 (IMAG 150). Le Gamma 60 est un gros ordinateur à architecture superscalaire avant la lettre, mais dont les premiers exemplaires livrés manquent de *software*. Bull n'en vendra qu'une quinzaine, couvrant seulement ses dépenses de R&D.

Tableau 7. Ressources de l'IMAG provenant de contrats à caractère « Défense » (1953-1957)

Contrats militaires	1953	1954	1955	1956	1957	total
STAé	561 536	199 485	300 237	3 263 746	2 967 808	7 292 812
ECAN Ruelle (Marine)				165 040		165 040
CNET (Paris)	50 000					50 000
Service Hautes Fréquences (IPG)				100 000		100 000
SEA	173 347	142 530				315 877
SNCASE (Sud-Aviation)		91 200				91 200
<i>Total ressources Défense</i>	<i>784 883</i>	<i>433 215</i>	<i>300 237</i>	<i>3 528 786</i>	<i>2 967 808</i>	<i>8 014 929</i>
Recettes totales IMAG	854 883	1 048 715	389 124	3 674 648	3 462 798	9 430 168

Les choses évoluent vers 1960. Certes, le successeur d'Esclangon à l'IPG, Néel, s'entend mal avec Kuntzmann³². Mais l'industrie régionale a compris ce que pouvait lui apporter l'IMAG et lui passe désormais des contrats. Les partenaires nationaux se diversifient, lorsque entrent en jeu Bull, qui cherche à rattraper son retard en logiciel et en conception de systèmes, puis les nouveaux organismes de recherche civile ou militaire : DGRST, DRME.

Les premiers pas de l'IMAG ont été soutenus d'abord par trois types de protecteurs :

- l'Institut polytechnique de Grenoble (Esclangon) ;
- le ministère de l'Éducation nationale (direction de l'Enseignement supérieur) qui a payé la calculatrice analogique SEA (20 MF), l'ordinateur Bull (45 MF) et des postes d'enseignants³³ ;
- un ensemble de trois clients parisiens – EDF, IBM et le service technique aéronautique (STAé) – dont les commandes font vivre le laboratoire de calcul.

32 Voir le jugement plutôt rude porté par Louis Néel sur le directeur de l'IMAG dans *Un siècle de physique, op. cit.* Le CENG, que Néel vient de fonder avec le CEA, s'équipe en 1962 d'un Bull Gamma 30 et a donc désormais moins besoin du service de calcul de Kuntzmann. Toutefois, en janvier 1964, les deux laboratoires présentent à la DGRST un projet conjoint de développement d'un ordinateur (« Structure et organisation de calculatrice de haute performance », 289 kF sur 18 mois, mobilisant une quinzaine de personnes) : le CENG (Cordelle) apporterait techniciens et ingénieurs spécialistes des circuits intégrés et des mémoires (couches minces, avec l'appui du STTA et de Bull) ; l'IMAG (Namian) s'appuierait sur l'étude précédente d'une petite machine pédagogique pour concevoir un calculateur avancé : simultanéité, mémoires associatives, étude de compilateurs et utilisation des langages évolués au niveau du code machine (donc une machine-langage, « à pile »). Le but final serait un transfert à l'industrie, vraisemblablement pour participer au sauvetage de Bull, alors en crise. Le projet est refusé par la DGRST.

33 Le CNRS n'a d'abord soutenu l'IMAG qu'épisodiquement, à un niveau très inférieur à celui de l'Enseignement supérieur : le CNRS fournit une calculatrice de bureau Peerless en 1949, des crédits d'équipement et de vacations en 1956 (110 kF), un poste de collaborateur technique à partir de 1955. Le CNRS (section 3) refuse en 1955 de financer l'achat de l'ordinateur. Après 1956, l'IMAG étant représenté au Comité national, des crédits sont régulièrement versés et des postes attribués, dont le poste d'ingénieur de Bolliet. Le CNRS offre la petite CAB 500, l'Enseignement supérieur finance les IBM 1401 et 7044.

Les marchés liés à des programmes militaires représentent les trois quarts des recettes du laboratoire au cours des années cinquante³⁴.

Un pôle européen diversifié : traduction automatique, logique, systèmes

Renforcé par ces alliances, l'IMAG devient l'un des pôles européens en informatique, attirant d'autres laboratoires et des entreprises. Il est considéré comme un modèle dans d'autres universités (Lille, Nantes, Nancy, Clermont), par les jeunes professeurs qui s'activent à y introduire l'informatique et demandent conseil à Kuntzmann³⁵. Il joue un rôle moteur dans l'animation nationale et internationale de la recherche : premier congrès de l'AFCAL à Grenoble en 1960, organisation de Journées francophones d'informatique (Genève), séminaires OTAN, réunions du groupe Algol. Confirmant sa position centrale dans le dispositif académique, Kuntzmann a fondé l'AFCAL et préside sa revue, *Chiffres*. Il préside le comité « Calculateurs » de la DGRST. L'un des atouts de l'IMAG est la forte direction collégiale qui associe, de fait, les personnalités complémentaires de Kuntzmann, Gastinel, Bolliet et Vauquois.

252

Les thèmes de recherches se diversifient, à la fois pour répondre aux demandes extérieures et par besoin d'explorer et de mieux comprendre ce que l'on fait avec les ordinateurs. Le CNRS a choisi en 1959, sur proposition de Kuntzmann, d'installer à Grenoble son Centre d'études de la traduction automatique (CETA), en relations étroites avec l'IMAG dont ce centre partage le Gamma ET. La direction est confiée à Bernard Vauquois, un maître de conférence arrivé en 1958 pour enseigner l'analyse numérique. Astronome de formation, Vauquois a consacré sa deuxième thèse à la théorie des machines et pour ce faire étudié Turing et Von Neumann, s'intéressant aux questions de décidabilité, de logique et de langages formels. Il perçoit l'analogie entre traduction et compilation, d'où son investissement parallèle dans la recherche sur les langages de programmation et dans le groupe Algol où

34 C'est l'ordre de grandeur auquel nous aboutissons après dépouillement des archives de l'IMAG, pour les années 1951-1959. Il est proche du comptage effectué par Eric Robert (« Les débuts de l'IMAG, 1947-1957, par le biais de ses archives », 4^e colloque sur l'Histoire de l'informatique en France, Rennes, IRISA, 1995). D'après les chiffres d'E. Robert, les contrats du seul STAé représentent 77 % des ressources externes de l'IMAG en 1953-1957 ; si l'on ajoute les autres contrats liés à la Défense (SEA, SNCASE, CNET, Hyperfréquences), on arrive à 84 %. Aux relations contractuelles s'ajoutent les collaborations personnelles : Kuntzmann participe à des réunions de travail avec ses partenaires industriels et militaires ; l'un de ses proches collaborateurs, M.-F. Ceschino, est conseiller scientifique du laboratoire central de l'Armement.

35 Ainsi, Poitou écrit à Kuntzmann, le 1^{er} janvier 1960 : « Kampé de Fériet m'a suggéré de t'écrire pour te mettre au courant des projets d'enseignement du calcul numérique à Lille. Cette question peut mettre en jeu beaucoup d'argent et il est bon que tu assures, avec l'autorité que tu t'y es acquise, une sorte de leadership qui peut éviter aux novices bien des bêtises » (correspondance Kuntzmann 1958-1960, IMAG 06). Même type de relations avec l'équipe Hennequin à Clermont-Ferrand.

il est le premier représentant français³⁶. C'est donc une orientation de recherche bien différente de l'analyse numérique qui apparaît, nettement interdisciplinaire et conduisant à une autonomisation de la recherche en « informatique » vis-à-vis des mathématiques. D'autant que les besoins techniques liés à la TA conduisent à lancer une recherche sur la reconnaissance de la parole, qui aboutit à une thèse fondatrice³⁷. Le CETA, laboratoire propre du CNRS, est soutenu par la Défense nationale ; il travaille aussi avec des organismes de défense américains : US Air Force, OTAN, Rand Corporation sur la représentation des catalogues³⁸. Avec un budget de 1 MF et 35 collaborateurs en 1965, son développement est tel qu'un nouveau bâtiment est construit pour l'abriter. Le CETA accueille en 1967 la 2^e conférence internationale sur la traduction automatique des langues et y présente sa première expérience de traduction sur ordinateur. Il éclatera quelques années plus tard en trois équipes soutenues par le CNRS³⁹ : le GETA poursuivra les activités principalement informatiques du CETA sous la direction de Vauquois en gardant l'objectif d'une traduction opérationnelle ; une équipe de linguistique théorique, avec Jacques Rouault, partira pour la faculté des lettres ; la troisième, avec Gérard Veillon, s'orientera vers l'intelligence artificielle et la robotique. Les causes de cette scission tiennent à la fois à des problèmes de gestion des personnels, où Vauquois est mis en cause à l'occasion des événements de mai 1968, et à un différend scientifique profond entre approches de « linguistes » et d'« informaticiens ». Le GETA réalisera plus tard un système de traduction parmi les plus performants de l'époque, « Ariane 78 ».

Kuntzmann a confié en 1961 à Louis Bolliet un axe de recherches sur les langages et les systèmes de programmation. Orientation qui se traduit d'abord par une grande activité d'étude de compilateurs, en relation avec l'industrie informatique, et conduit au génie logiciel. Il réunit en octobre 1961 un groupe de chercheurs voués à réaliser la compilation d'Algol 60 sur les machines les plus courantes en France. Un séminaire passe en revue l'état de l'art en la matière et permet de

36 Voir B. Vauquois, *La Traduction automatique*, Paris, Dunod, 1975 ; C. Boitet, « L'apport de Bernard Vauquois à la traduction automatique des langues naturelles », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit. ; et J. Léon, « Le CNRS et les débuts de la traduction automatique en France », *Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2002, n° 6.

37 J.-P. Tubach, *Reconnaissance automatique de la parole. Étude et réalisation fondée sur les niveaux acoustique, morphologique et syntaxique*, thèse d'État, Grenoble, 1970.

38 Sur ces partenariats, voir rapport d'activité CNRS 1963-1964, p. 373 ; dossier CETA, archives CNRS (traduction du Russe avec l'US Air Force) ; rapport d'activité CNRS 1961-62, p. 272, sur l'école d'été de Venise subventionnée par l'OTAN en juillet 1962, à laquelle Vauquois participe.

39 Le directeur scientifique responsable du secteur, G. Jobert, a entrepris une remise en cause systématique des laboratoires propres du CNRS et surveille notamment la gestion de ceux qui emploient des bataillons de techniciens, programmeurs ou « perfo-vérifs », tels le CETA et l'IBP. Il estime que le CETA n'a pas atteint ses objectifs et, au comité de direction du labo, exprime clairement sa volonté de le supprimer (Arch. nat. 85-195-76, dossier CETA).

choisir les approches jugées les plus efficaces⁴⁰. La première thèse sur ce sujet est soutenue en 1963 (Jean-Loup Baer, *Principes de compilation de Cobol*). L'équipe se distingue particulièrement en réalisant Diamag, un système conversationnel à accès multiple en Algol⁴¹, lui-même résultant de plusieurs thèses⁴².

Sur le plan de la formation, à côté de multiples cycles et diplômes spécialisés, intégrés aux cursus préexistant, Kuntzmann établit en 1966 au niveau 2^e cycle un Institut de programmation, confié à un mathématicien doté d'une forte culture technique, Noël Gastinel.

L'IMAG est en 1966 l'un des premiers laboratoires associés au CNRS (LA7). Le CNRS finance désormais plus du tiers de ses effectifs permanents⁴³ :

	1965	1966	1967	1968
CNRS	22	25	25	28
Enseignement supérieur	36	42	46	50
Effectif total (y compris boursiers et doctorants)	138	149	156	181

254

Kuntzmann, qui change de domaine de recherche tous les dix ans, se consacre à l'algèbre de Boole et y entraîne des étudiants. Il constitue une équipe de logiciens (Claude Benzaken) axée à la fois sur l'informatique théorique et sur la conception de systèmes et de composants d'ordinateurs. Après l'abandon d'un projet interne d'ordinateur, faute de soutien de la DGRST, ces recherches débouchent sur une collaboration avec le LETI et avec Thomson : logique des circuits, modélisation mathématique des semi-conducteurs, minimisation de masques de circuits imprimés, développement de systèmes de CAO. Un club d'utilisateurs de CAO se constitue autour de ces recherches en vue d'industrialiser les résultats.

D'autre part, l'enseignement de l'algèbre de Boole ouvre aussi sur les problèmes de logique et de codage, intéressant de plus en plus une industrie informatique qui développe des systèmes en réseaux : ainsi, des ingénieurs formés à l'IMAG participent aux recherches du centre IBM de la Gaude.

Une petite équipe « Gestion automatisée », créée en 1966, cherche à répondre aux besoins d'expertise informatique des entreprises, que l'enseignement

⁴⁰ Une synthèse est donnée par L. Bolliet, « L'évolution des techniques de compilation », *3^e Congrès de l'AFCALTI* (14-17 mai 1963, Toulouse), Paris, Dunod, 1965, p. 21-58.

⁴¹ A. Auroux, B. Bellino & L. Bolliet, « Diamag, a Multi-access System for On-line Algol Programming », *Proceedings AFIPS*, New York, Spartan Books, 1966, SJCC, vol. 28. L. Siret, M. Bellot, J.-P. Verjus, « DIAMAG 2, système conversationnel à accès multiple », *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, septembre 1968, n° 12 (B2), p. 3-44. « The DIAMAG system is an on-line version of ALGOL, which adds a number of language elements to permit communication with the time-sharing system », dans J. Sammet, *Programming Languages: History and Fundamentals*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1969, p. 195.

⁴² Ainsi J.-P. Verjus, *Étude et réalisation d'un système Algol conversationnel*, thèse de Docteur-Ingénieur, IMAG, 1968.

⁴³ C. Plenet, *Histoire de l'informatique à Grenoble, op. cit.*, p. 95.

universitaire a négligés jusque-là. Elle essaie, en acceptant de développer des systèmes de gestion avancés, d'en tirer des méthodes générales susceptibles d'être enseignées et applicables chez les utilisateurs. Thèmes : analyse des procédures et des flux d'information dans les organisations, jeux d'entreprise, modèles économétriques, exploitation des fichiers, documentation automatique en liaison avec le CETA. Elle collaborera avec l'ADIRA (Association pour le développement et la promotion de l'informatique en Rhône-Alpes) créée en 1969 par la Chambre de commerce et d'industrie de Lyon pour organiser des séminaires d'initiation des cadres à l'informatique.

Bientôt le nouvel IUT de Grenoble se charge d'une partie des formations professionnalisantes, renforçant encore le pôle informatique dauphinois⁴⁴.

Tableau 8. Laboratoires et recherches informatiques à l'université de Grenoble en 1967-1968.

Laboratoire de calcul	Service de Mathématiques appliquées	Centre de traduction automatique (CNRS)	Centre scientifique IBM-IMAG
Gastinel	Kuntzmann	Vauquois	Bolliet

Au total, 200 professeurs, chercheurs et ingénieurs travaillent dans ces différents établissements. Pour les abriter, avec leurs moyens de calcul et leurs bibliothèques, quatre vastes bâtiments (5 500 m²) ont été construits sur le nouveau campus de St-Martin-d'Hères. Cette expansion ne va pas sans provoquer des frictions avec les mathématiciens purs de l'Institut Fourier.

Analyse numérique	Programmation & software	Logique appliquée	Statistique & RO	Gestion automatisée	Logique formelle & langages	CETA
Gastinel & Laurent	Bolliet & Boussard	Kuntzmann	Barra	Peccoud	Vauquois & Nivat	Vauquois

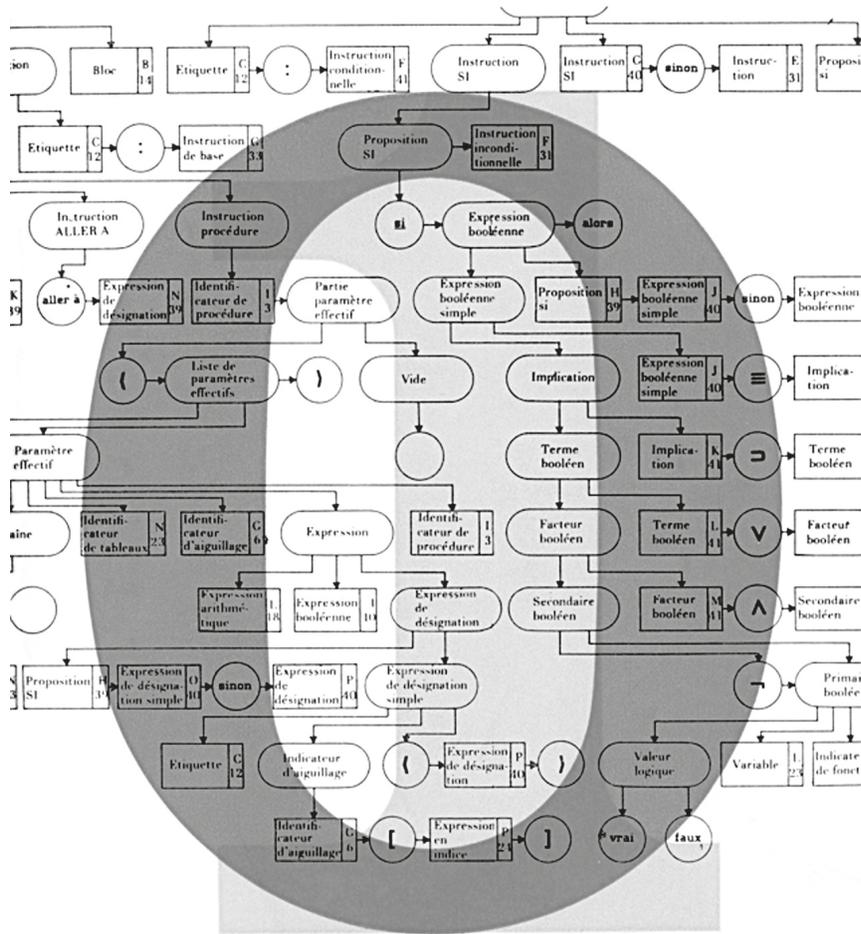
Ces équipes de recherche emploient chacune 10 à 30 personnes. Leurs intitulés correspondent aux options du DEA de « Mathématiques appliquées »⁴⁵. Vauquois est alors titulaire d'une chaire de « Calcul électronique ».

Les orientations de recherches parallèles se multiplient au sein de l'IMAG, principalement axées sur l'informatique temps réel et conversationnelle, thème central des Journées d'études AFIRO⁴⁶ en 1966 : infographie, bases de données conversationnelles, réalisation d'un système en temps partagé SPARTACUS... chacune donnant lieu à des thèses.

⁴⁴ Un maître assistant à l'IUT de Grenoble, Mme Jacqueline Boittiaux, publie *Mathématiques de l'informatique*, Paris, Dunod, coll. « Université et technique », 1970. Cet ouvrage d'initiation, qui fera autorité dans les IUT, est largement consacré aux modes de représentation des nombres, notamment à l'algèbre de Boole.

⁴⁵ Brochure *Recherches en Mathématiques appliquées*, Grenoble, IMAG, 1967.

⁴⁶ Journées d'études AFIRO : *Utilisation des ordinateurs à distance en temps réel et en temps partagé*, organisées par L. Bolliet à l'université de Grenoble (29 mai-3 juin 1966). Les actes, publiés en 1967 chez Dunod, seront pendant quelques années la principale référence en matière d'informatique temps réel pour les spécialistes français.



recherches en mathématiques appliquées grenoble

Figure 24. Brochure présentant les recherches et formations doctorales de l'IMAG (1967)

L'Institut affiche son centrage autour des mathématiques appliquées, évoquant ses activités informatiques par l'image superposée du zéro / un et d'un ordinogramme. La brochure comporte une page « Liaisons Université-Industrie » affirmant la fécondité de ces relations pour les deux partenaires. La majorité des débouchés professionnels évoqués se situent dans l'industrie et les services à but lucratif.



Figure 25. Centre scientifique IBM-IMAG : l'ordinateur IBM/360-67, dont l'architecture avancée offre à la fois un moyen de calcul puissant et un sujet de recherches (1969)

Le support de plusieurs systèmes d'exploitation sur la même machine est étudié dans les centres de recherche IBM dotés du 360/67. En résulte le système CP/CMS : CP (Control Program) est le support de machines virtuelles, CMS un système conversationnel utilisé en développement de programmes, de préférence à l'option Time Sharing (TSO) qu'IBM abandonne bientôt.

En 1967, IBM France établit à Grenoble son nouveau centre scientifique, premier laboratoire mixte université-entreprise créé en France. Des ingénieurs d'IBM y collaborent avec des chercheurs de l'IMAG sur les IBM/360-40 puis 67 installés à l'université. La direction est bicéphale. Côté université, Louis Bolliet, qui a passé sept mois chez IBM en 1964 en participant au développement du *New Programming Language* (PL/1), s'y investit totalement. Côté IBM, Jean-Jacques Duby (ENS 1959), agrégé de mathématiques qui est entré chez IBM à l'occasion d'un stage au département de recherche de Yorktown Heights où il a participé à la conception du langage Formac, puis a dirigé un groupe de recherche opérationnelle à Paris, est désigné par les *chief scientists* de la multinationale. Son successeur sera Max Peltier (Supélec 1958, formé à la SEA). Les équipes du centre IBM-IMAG étudient les langages et la compilation incrémentale, le dialogue homme / machine, les systèmes d'exploitation en temps partagé, les machines virtuelles... concepts fondamentaux de l'informatique conversationnelle qui s'imposera une décennie plus tard⁴⁷. Le générateur de machines virtuelles qu'ils développent permet à plusieurs utilisateurs de travailler simultanément sur plusieurs

47 Cl. Hans *et alii*, « Contribution française au système générateur de machines virtuelles CP/CMS et à son successeur VM/CMS », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, *op. cit.* Cl. Hans vient de l'Institut Blaise Pascal, qui l'a envoyé passer un an au centre scientifique d'IBM de Cambridge (Mass.). Il soutiendra sa thèse d'État à Grenoble en 1973. R. Moreau, « Le Centre scientifique IBM de Grenoble », *Cahiers de l'AHTI*, 2006, n° 6, p. 95-101, expose l'histoire de ce centre dans le contexte institutionnel de la multinationale.

systèmes sur un même ordinateur. On peut ainsi expérimenter de nouveaux systèmes, évaluer des approches inédites, élaborer des outils de mesure de performances. Une dizaine de thèses sont soutenues. Quant aux applications graphiques développées sur terminal IBM 2250, elles aboutissent à des logiciels d'édition de fichier. Ces résultats seront transférés et intégrés dans de futurs produits IBM, notamment la mémoire virtuelle de la série 370 et le logiciel XEDIT. Cette situation fait réagir la Délégation à l'informatique, qui impose en 1970 la création d'un centre de recherches CII-IMAG sous la direction de Bolliet. IBM maintiendra jusqu'en 1973 son centre scientifique, regroupé dans des locaux extérieurs à l'université.

258

L'effectif de l'IMAG dépassant la centaine de personnes, ses chercheurs commencent à essaimer. Certains partent dans l'industrie. Un flux régulier d'échanges et de post-docs s'instaure avec l'université du Québec à Montréal⁴⁸. Vers les villes universitaires françaises qui s'éveillent à l'informatique, l'IMAG envoie ses jeunes enseignants et ses vieux ordinateurs.

Cette croissance n'entraîne pas d'évolution notable de structure avant la fin des années 1960, où la réforme de l'enseignement provoque de nombreuses modifications. En 1970, l'IPG se détache de la faculté et devient Institut national polytechnique de Grenoble, directement sous la tutelle du ministère, tandis que la faculté devient l'université scientifique et médicale de Grenoble. En 1971, les sections de mathématiques appliquées de l'ancien IPG prendront le statut d'UER et formeront l'ENSIMAG, première école d'ingénieurs spécialisée en informatique. Une douloureuse opération séparera en 1973 la recherche et le service de calcul, celui-ci devenant le CICG sous tutelle de l'université, tandis que les unités de recherche mathématiques et informatiques de l'INPG et de l'université se regrouperont dans le LA7. Ce dernier éclatera dix ans plus tard en une dizaine de laboratoires fédérés sous le nom IMAG (où le mot *informatique* apparaîtra officiellement pour la première fois) dans l'université Joseph-Fourier⁴⁹. Le nom du grand mathématicien grenoblois, modèle du « bonhomme Système » de Renan⁵⁰, patronne idéalement la culture des mathématiques pour l'ingénieur bâtie depuis 50 ans par l'IMAG.

48 J.-P. Verjus, « Programming in Grenoble in the 1960s and those who Flew from the Nest », *Annals of the History of Computing*, 1990, vol. 12, p. 95-101. L'université du Québec à Montréal accueille A. Colmerauer, L. Trilling (1967-1970), J.-P. Verjus (1968-1970), O. Lecarme (1970-1975) comme enseignants-chercheurs. A. Colmerauer et L. Trilling y retourneront comme professeurs à la fin des années 1970.

49 E. Robert, Introduction à l'inventaire des archives de l'IMAG (Arch. dép. Isère).

50 E. Renan, *Souvenirs d'enfance et de jeunesse*.

	Thèses d'État	3 ^e cycle	Docteur-ingénieur	Thèses d'université
1958				1
1959		3		
1960	1	3	1	
1961		6		
1962		9		
1963		2		
1964	2	7	2	
1965		12	1	
1966	2	7	3	
1967	5	4	2	
1968	1	7	3	
Total	11	60	12	1

Tableau 9. Statistique des thèses de l'IMAG jusqu'à la réforme Fouchet

Pour la période 1964-1968, la majorité des thèses sont en analyse numérique. 13 sont répertoriées par l'IMAG en « informatique », dont trois thèses d'État – la première en 1964. La production globale est comparable à celle de Toulouse, qui forme toutefois plus d'ingénieurs-docteurs⁵¹.

De l'automatique aux mini-ordinateurs

De son côté, la section d'électrotechnique de l'Institut polytechnique abrite des travaux sur les servomécanismes, effectués par des collaborateurs de Néel et d'Esclançon : Fallot, professeur de physique, et Perret. René Perret, élève d'Esclançon, est un ingénieur électricien qui travaille pendant les années cinquante parmi les « mathématiciens appliqués » de l'IMAG – un profil quasi inconnu jusque-là en France : étudiant les modèles mathématiques des processus automatiques et des servomécanismes, Perret incarne à merveille les relations nouvelles entre électrotechnique et mathématiques. Le premier sujet de recherche qui lui est confié concerne la stabilité de la production de courant électrique par les alternateurs sur les réseaux à longue distance : un problème de synchronisation, donc d'asservissement des machines. Perret a le choix entre « deux options de travail : la simulation sur micro-réseau prônée par les physiciens, la simulation sur calculateur analogique ayant la préférence

51 J. Kuntzmann, *Naissance et jeunesse de l'IMAG*, (préf. P.-J. Laurent, postf. L. Bolliet), Grenoble, IMAG, 1992. Cette statistique inclut les thèses en traduction automatique et en recherche opérationnelle. Elle présente quelques écarts par rapport à la nôtre, tout en montrant une structure et des tendances similaires : ainsi, elle ne cite que deux thèses IMAG en 1963, tandis que 3 sont listées dans <<http://tel.archives-ouvertes.fr>>. Elle est parfois augmentée de quelques thèses en physique, sans lien avec l'informatique (par exemple, en 1959, deux thèses sous la direction d'A. Kastler et de J. Brossel). En revanche elle omet la thèse d'État de l'Allemand Neidhofer en analyse numérique (1958).

des mathématiciens. À l'encontre de Buridan nous choisîmes d'attaquer le problème par les deux voies »⁵².

Perret ouvre en 1957 à l'IPG une section spéciale d'ingénieurs en Automatique, un DEA de servomécanismes deux ans plus tard, rassemblant une équipe d'automaticiens, noyau fondateur du laboratoire d'automatique de Grenoble⁵³. Celui-ci s'articule en deux équipes principales :

- L'équipe Systèmes étudie la commande de procédés énergétiques par calculateurs en ligne, par simulation, sur des unités pilotes au laboratoire et enfin sur des unités réelles dans l'industrie, avec le soutien de la DGRST.
- L'équipe Logique, plus restreinte, étudie des modules logiques et l'architecture de calculateurs. La réalisation d'un analyseur différentiel digital aboutit à la fois à équiper le laboratoire de cet outil de simulation, puissant et rapide pour l'époque, et à soutenir six thèses.

260 En partenariat avec des industriels, le LAG développe des appareils qui débouchent sur le marché. Le Battelle Institute de Genève, où Perret est consultant, confie à son élève Cl. Sourisse l'étude d'un calculateur analogique, l'Alpac (*Analogue & Logic Process Automation Computer*), et d'un successeur plus puissant, Alpac. Pour les produire en (petite) série et sous différentes versions, une entreprise Nordac est créée, reprise plus tard par Télémécanique. À Grenoble la société Mors (pionnier français de l'automobile recentré dans le matériel ferroviaire et l'automatisme) emploie et commercialise les modules logiques conçus au LAG, sous le nom de Logimors.

L'équipe Perret développe à partir de 1961 un prototype d'ordinateur « temps réel », avec le soutien de la DGRST, pour le contrôle de processus dans l'industrie électrique et chimique. La société Mors collabore à ce projet et l'industrialise en 1964 sous le nom de MAT 01. Une vingtaine d'exemplaires sont vendus. Ne pouvant suivre les investissements nécessaires, Mors cède fin 1967 son département Automatisme à Télémécanique, qui dérivera de cette machine une gamme de mini-ordinateurs (T1600 et T2000, SOLAR) remportant un grand succès commercial dans la décennie suivante. L'université de Grenoble est ainsi le berceau d'une des rares lignées d'ordinateurs conçus en France, en phase avec la concurrence internationale.

52 R. Perret, « Une contribution aux premiers pas de l'informatique industrielle », *Actes du Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., p. 357. Voir R. Perret, « Étude analogique de la stabilité d'un transport d'énergie », *Annales de l'Association internationale pour le calcul analogique*, 1^{er} mars 1959, vol. 1, n° 4.

53 R. Perret a exposé ses conceptions sur la formation et la recherche en automatique dans « Organisation de la recherche dans le domaine de l'automatique au sein d'un laboratoire universitaire », *Interélectronique*, octobre 1968. L'ensemble de cette histoire est bien exposé et bien illustré dans M. Deguerry & R. David, *De la logique câblée au calculateur industriel. Une aventure du laboratoire d'automatique de Grenoble*, Grenoble, Eda Publishing, 2008.

À Toulouse, des cours de mathématiques appliquées sont assurés dès 1945 par Henri Bouasse et Roger Huron, à la demande des physiciens locaux et des spécialistes en mécanique des fluides des instituts, notamment de l'Institut d'électrotechnique et de mécanique appliquée, devenu bientôt l'ENSEEHT (École nationale supérieure d'électricité, d'électronique et d'hydraulique de Toulouse).

Henri Bouasse, en principe à la retraite depuis 1937, est un physicien à l'ancienne qui a fait des recherches en hydrodynamique et en acoustique, et s'accrochera à son laboratoire jusqu'à sa mort en 1953. Réformateur fougueux, élitiste et républicain, il est l'auteur prolifique de manuels d'enseignement diffusant une mécanique et une physique résolument expérimentales. Redouté pour sa verve polémique, il exerce notamment son talent contre les mathématiciens purs, qu'il considère comme des abstracteurs de quintessence ; et contre le doyen Paul Sabatier, prix Nobel 1912 de chimie, dont il ne supporte pas le catholicisme et qu'il traite d'« inventeur du perlimpimpinate » – la chimie n'étant pas digne du nom de science aux yeux de ce physicien. Ce vieux garçon vit entouré de poules, au sens gallinacé du terme. S'il s'efforce de propager les méthodes du calcul, son enseignement date : dans son manuel publié en 1947, le chapitre sur le calcul décrit une seule machine, l'arithmomètre de Thomas (1820)⁵⁴ !

Roger Huron est un jeune assistant, recruté en 1945, qui se consacre aux statistiques et probabilités et prépare une thèse en mécanique des fluides. Succédant à Bouasse, il présente comme fort modestes ses activités de « pauvre provincial » :

Il n'y avait rien en statistique à mon arrivée à la faculté ! [...] Nous avons fait bien peu de choses dans notre « laboratoire » (une calculatrice et moi-même : crédits < 100 000 F), en-dehors d'un prototype de machine analogique pour résoudre les systèmes linéaires, et l'étude d'un autre type de machine analogique pour résoudre les équations algébriques. M. Couffignal m'a dit l'an dernier que Malavard allait sortir quelque chose qui surclasserait tout cela... alors⁵⁵ !

54 H. Bouasse, *Cours de mathématiques générales*, Paris, Delagrave, 1947, p. 624-625. Depuis le début du siècle, Bouasse et Camichel (mécanicien des fluides) ont enseigné l'électrotechnique à l'ENSEHT. Voir R. Locqueuneux, *Henri Bouasse, un regard sur l'enseignement et la recherche*, Paris, Albert Blanchard, 2008.

55 Lettre de Roger Huron à Etienne de Lacroix de Lavalette, secrétaire du Groupe de calcul numérique, 5 décembre 1952, archives privées d'E. de Lacroix de Lavalette.

En 1949, un physicien spécialiste d'analyse numérique, Émile Durand, est nommé à une chaire de physique théorique et commence aussitôt à enseigner le calcul. Ancien élève d'école normale d'instituteurs devenu étudiant d'Eugène Bloch et de Louis de Broglie, Durand est réputé pour ses travaux en physique mathématique. Ensemble des structures mathématiques utilisées en physique, la physique mathématique n'implique pas nécessairement la pratique du calcul numérique. Dans le cas d'É. Durand, cette double compétence résulte d'un choix personnel. Son recrutement règle le problème de l'équilibre entre les disciplines, puisqu'il n'enlève pas de poste aux mathématiciens tout en permettant la mise en place d'enseignements de calcul numérique.

262

Notons qu'« il n'y avait pas beaucoup de mathématique ni de mathématiciens à Toulouse » aux yeux d'un mathématicien pur⁵⁶. D'autre part le profil de Durand, comme de son successeur Michel Laudet, fait que le calcul numérique, puis l'informatique, se développent hors du milieu mathématicien. Les pionniers toulousains ne chercheront pas de légitimité scientifique du côté des mathématiques (ce qui les différencie notamment des Grenoblois), mais essentiellement dans les applications, puis dans des recherches affichées comme « informatiques ». Toulouse et Grenoble se vivent néanmoins comme les deux principales universités concurrentes dans ces domaines, chacune s'affirmant comme « la première » en France à avoir lancé des enseignements spécialisés ou acquis de gros calculateurs, et cette « saine compétition » (le mot est de Kuntzmann) continue dans la mémoire et l'historiographie.

Comme à Grenoble, au début, les travaux pratiques sont effectués sur des calculateurs électromécaniques. À partir de 1957 s'y ajoutent de grosses machines. Un calculateur analogique de la SEA est installé à l'Institut d'optique électronique dont le directeur, Gaston Dupouy, est alors un grand patron de la faculté des sciences et a dirigé le CNRS de 1950 à 1957⁵⁷. Dupouy a mené la construction d'un microscope électronique, centre de son laboratoire toulousain. L'optique électronique demande beaucoup de calcul et de modélisation mathématique, à en juger par les articles publiés dans les *Annales* de l'université – notamment les premiers travaux de calcul

56 L. Schwartz, « Influence de René de Possel sur ma formation mathématique », dans *De Bourbaki à la machine à lire, op. cit., Compléments*, p. 13.

57 Entretien avec Émile Durand. Malheureusement pour nous, ni Dupouy ni Durand n'ont laissé leurs archives à la postérité. Plusieurs bons portraits de Durand assortis d'un historique de son œuvre ont été publiés en ligne, tel celui d'Alain Rigal, « Émile Durand, Professeur, université de Toulouse, 1948-1977 ».

numérique publiés en 1955 par l'assistant de Durand, Michel Laudet. Dupouy a favorisé le recrutement de Durand, à la fois pour l'enseignement de la physique théorique et pour le calcul. De son côté, Durand est un passionné d'électromagnétisme, domaine qui exige d'importants calculs : calcul des champs magnétiques, par exemple, ou de trajectoires d'électrons dans les lentilles magnétiques – on rejoint à nouveau l'optique électronique. La configuration est similaire, sans doute même plus étroite, à celle qui existe à Grenoble entre le laboratoire Néel et l'IMAG.

É. Durand accède rapidement à des fonctions dirigeantes. Élu doyen de la faculté des sciences en 1953, il devient en 1957 président du comité qui administre le Fonds de recherche de l'Institut européen de calcul électronique créé par IBM France à Paris, où il côtoie les pionniers de l'informatique européenne, comme Maurice Wilkes (Cambridge). Durand publie ensuite un traité d'analyse numérique qui lui vaut un succès de librairie et une réputation internationale⁵⁸.

Cette position favorise l'installation d'un ordinateur IBM 650 en 1957. IBM propose un accord très avantageux pour les Toulousains : la machine leur est donnée, seuls les frais d'entretien sont à la charge de la faculté. Deux ans plus tard la 650 ne suffit plus, bien qu'elle fonctionne jour et nuit. Durand demande à l'Enseignement supérieur les crédits pour une grosse machine type IBM 704 ou 7070, destinée au grand Institut de calcul numérique en construction sur le nouveau campus⁵⁹.

Autour de son centre de calcul, Toulouse développe l'enseignement et la recherche en informatique selon un schéma similaire à celui de Grenoble : création en 1956 d'un certificat de licence de calcul

- 58 É. Durand, *Solutions numériques des équations algébriques*, Paris, Masson, 1960. C'est essentiellement le cours destiné aux élèves du certificat de calcul numérique et aux chercheurs de 3^e cycle de la faculté des sciences, ainsi qu'aux élèves de la section ingénieurs mathématiciens de l'ENSEHT. Durand y mentionne les techniciens de son centre de calcul : J.-M. Souhait, chef de la programmation, Mlle G. Boschet, qui a programmé les méthodes de Newton sur IBM 650 ou 704, P. Baylac, A. Bousquet, Mlles C. Fernandez, M. Magoga, J. Verdier.
- 59 CNRS, *Rapport de conjoncture 1959*, section 2, p. 25. Le doyen voit grand, après avoir visité en 1954 les grandes universités américaines qui l'ont émerveillé : en 1957 il envisage pour l'horizon 1964 un futur Institut de calcul numérique voué à l'enseignement et à la recherche, équipé de 3 ordinateurs et d'un calculateur analogique, encadré par 4 professeurs de mathématiques appliquées avec leurs équipes, chacun dirigeant « un minimum de 6 à 12 étudiants préparant un doctorat de 3^e cycle ». Ces capacités favoriseraient la collaboration avec la SNCASE (future Sud-Aviation), notamment pour les recherches mathématiques de son bureau d'études et les « problèmes de recherche opérationnelle que pose la gestion de l'usine. » (exposé de M. le doyen Durand devant la commission « Électronique et cybernétique » du CSRSPT, 13 février 1957 ; et *Le Développement et l'activité de la faculté des sciences de Toulouse et des écoles nationales d'ingénieurs*, Paris, Rapport au CSRSPT, 1956, 27 p.).

numérique⁶⁰ ; institution d'un certificat de mécanographie sur matériel IBM dans le cadre de la licence de sciences appliquées, et de cours assurés par des ingénieurs de l'industrie et de l'armement (F.-H. Raymond, H. Boucher, etc.) qui peuvent ensuite orienter les étudiants vers des emplois spécialisés. En 1957, l'établissement d'une section de mathématiques appliquées à l'ENSEEHT et d'un 3^e cycle de mathématiques appliquées à la faculté favorisent le développement de la recherche : optimisation et approximation, informatique numérique, structure et programmation, voire construction ou architecture de machines. Les enseignements théoriques sont ceux du certificat de calcul numérique. Ils sont complétés par des cycles de conférences données par des ingénieurs de l'industrie informatique et des grands centres de calcul (Sud Aviation).

Cet ensemble donne naissance au Centre d'informatique de Toulouse, dirigé par l'ancien assistant de Durand, Michel Laudet. Laudet est un ancien instituteur qui a intégré l'École normale supérieure d'enseignement technique et préparé une thèse d'analyse numérique sous la direction de Durand, sur le calcul des champs et trajectoires en optique électronique – sujet qui lui assure aussi la bienveillance de Dupouy. Homme d'action persuasif et entreprenant, Laudet dirige de nombreuses thèses, organisera des colloques d'informatique médicale à Toulouse et passera en 1968 une thèse de doctorat dans ce domaine.

Tableau 10. Laboratoire d'informatique appliquée de l'université de Toulouse en 1965⁶¹

Analyse numérique	Informatique non numérique & RO	Structure logique et technologie des machines numériques	Machines analogiques & hybrides
Renée Lapeyre, maître de conférences	Michel Laudet, professeur	René Beauflis, maître assistant	Marc Laborie, maître assistant

De l'analyse numérique à l'architecture de systèmes

La recherche informatique toulousaine se distingue, au cours des années soixante, par l'accent mis sur le développement de systèmes avec une double compétence logiciel-matériel. Il s'agit d'une part de systèmes d'exploitation : en 1966, système en temps réparti permettant à 16 étudiants d'effectuer leurs TP sur des programmes différents (sur CAE 510 muni de 16 terminaux) ; ensuite, diverses études sur le *time-sharing*, comme à Grenoble.

⁶⁰ Le certificat de licence de calcul numérique vise à former les utilisateurs des machines mathématiques. Il se compose d'un tronc commun d'analyse numérique classique (différentiation et intégration numériques, résolution numérique des équations différentielles, inversion de matrices, etc.) et de deux options : option Physique théorique (É. Durand, M. Laudet, R. Lapeyre), option Statistiques mathématiques (R. Huron, J. Méric).

⁶¹ Demande d'association au CNRS, M. Laudet à R. de Possel, 13 octobre 1965, Arch. IBP. Le nom du laboratoire varie, mais sa présentation au CNRS sous le titre d'*informatique appliquée* caractérise le positionnement des toulousains.

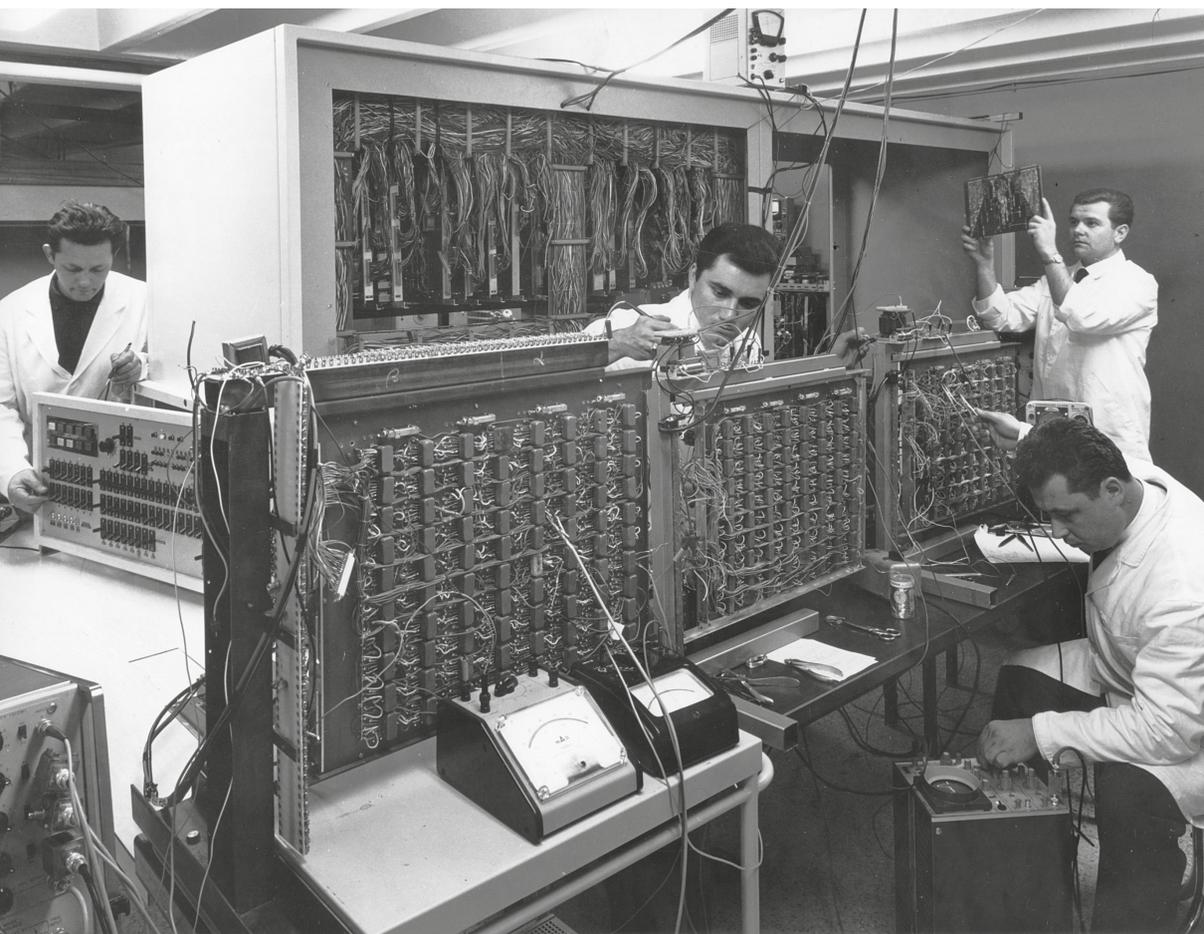


Figure 26. Calculatrice arithmétique de Toulouse (vers 1960)

Toulouse est la première université française qui développe un ordinateur. Le projet a démarré en 1958 avec une équipe d'environ six personnes, enseignants et étudiants de 3^e cycle, puis quelques techniciens. Il est dirigé par René Beaufils, physicien de formation et maître de conférence, qui définit la structure de la machine et lui consacra sa thèse d'État en 1970. La CAT est conçue d'abord autour d'un tambour magnétique, comme la CAB 500 SEA dont elle utilise aussi la technologie de commutation à noyaux magnétiques, lente mais fiable. En évolution permanente, elle est progressivement dotée de mémoires rapides à ferrites (8 192 mots de 40 bits) et de bandes magnétiques, puis connectée à l'analyseur différentiel numérique développé simultanément au laboratoire d'informatique de Michel Laudet. L'objectif principal est la pédagogie : il s'agit de former des ingénieurs informaticiens ou électroniciens par la réalisation en équipe d'un projet technologique, de la production des composants et des circuits jusqu'au développement de système.

(crédit photo : Archives Jean Dieuzaide – IRIT – Mission Sauvegarde du patrimoine scientifique et technique contemporain de Midi-Pyrénées-université de Toulouse)

D'autre part, et c'est une originalité dans l'université française de l'époque, une partie des travaux du laboratoire Laudet est consacrée à la réalisation d'un ordinateur. La CAT (Calculatrice arithmétique de Toulouse) utilise la technologie et certains choix architecturaux de la CAB 500 conçue par la SEA dont le patron, F.-H. Raymond, enseigne l'informatique à Toulouse et soutient le projet. Elle fournit les sujets d'une dizaine de thèses soutenues entre 1961 et 1968, dont la première thèse française consacrée explicitement à un système d'exploitation⁶². Le développement simultané d'un analyseur différentiel digital permet d'étudier le calcul hybride. Cette calculatrice fonctionnera effectivement pendant une dizaine d'années⁶³. M. Laudet invite dans ses jurys de thèse des ingénieurs du CNET qui développent alors la commutation électronique, et introduit dans ses cours des problèmes tirés des techniques de télécommunications⁶⁴. Cette orientation vers le *hardware* est plus poussée que celle des Grenoblois et attire à Toulouse des ingénieurs des télécoms tels Jacques Dondoux.

266

Un autre axe de recherches, financé en particulier par la Défense, concerne les algorithmes de reconnaissance de formes et les procédures d'apprentissage, suivant les orientations initiées aux États-Unis avec le *Perceptron* d'après les idées de N. Wiener⁶⁵. Réseau de « neurones » électroniques visant à démontrer et à expérimenter des capacités dans ces domaines, un perceptron est réalisé au laboratoire d'informatique par un docteur en électronique de l'ENSEEHT, Guy Perennou, et un physicien de la faculté, Serge Castan, qui lui consacrent leurs thèses d'État en 1968. En découlent des essais d'applications médicales et des expériences de communication visuelle ou vocale homme-machine, en collaboration avec le CNET de Lannion.

L'effectif du laboratoire dépasse 100 personnes à la fin des années soixante. En 1967, Laudet réussit un coup de maître en profitant du Plan Calcul pour se faire nommer directeur de l'Institut de recherches en informatique et automatique (IRIA) et pour conclure d'importants contrats de recherche avec la CII. Cette

62 G. Bazerque, *Système de programmation pour la calculatrice arithmétique de Toulouse (C.A.T.)*, thèse de 3^e cycle en Mathématiques appliquées, Toulouse, 1965.

63 M. Laborie, « L'informatique à l'université de Toulouse », *Actes du 2^e colloque sur l'Histoire de l'informatique en France*, op. cit. Par ailleurs, en 1969, le Centre d'informatique de Toulouse hérite du prototype d'ordinateur scientifique CAB 1500, machine à pile développée à la SEA mais rejetée par le Plan Calcul. L'équipe Beaufiles ne l'utilisera que comme réserve de pièces détachées.

64 Entretien avec J. Dondoux, 12 décembre 2001.

65 Le premier Perceptron, destiné à expérimenter les possibilités d'apprentissage par essais et erreurs dans un « réseau neuronal » électronique, a été construit à Cornell University par Frank Rosenblatt. Sur les débats au sujet du *Perceptron*, voir notamment M. Olazaran, « A Sociological Study of the Official History of the Perceptrons Controversy », *Social Studies of Science*, 1996, vol. 26, n° 3, p. 611-659.



Figure 27. Le *software* prend une place croissante dans les systèmes informatiques

Le ruban perforé qui se déroule en serpentins aux pieds de ce CAE 510 ne suffira bientôt plus à contenir les programmes (à l'époque on dit couramment *programme* ou *software* ; *logiciel* n'apparaîtra qu'en 1969).

(crédit photo : Archives Jean Dieuzaide & Mission Sauvegarde du patrimoine scientifique et technique contemporain de Midi-Pyrénées-université de Toulouse)

dynamique semble toutefois plafonner à la fin des années 1960 : Toulouse ne reçoit plus de crédits pour moderniser son équipement de calcul ; au printemps 1970, une grève étudiante se déclenche, visiblement soutenue par les enseignants d'informatique, pour protester contre la vétusté des ordinateurs de 2^e génération toujours en service et réclamer le CII 10.070 promis par le V^e Plan. Sept ans plus tard, René Beaufile, devenu directeur du LSI, créera une équipe de recherche sur les machines-langages qui développera d'abord une machine Cobol pour CII-Honeywell-Bull, puis un projet complet de machine LISP (M3L), tandis que le laboratoire d'informatique donnera naissance à plusieurs formations.

Tableau 11. Ressources 1966 du laboratoire d'informatique Laudet (Toulouse)

1) chercheurs	Enseigt. sup.	41
	CNRS	2
2) crédits équipement et fonctionnement contrats	Enseigt. sup.	373 kF
	CNRS	100 kF
	CNRS RCP 30	30 kF
	DGRST	1711 kF
	DRME	604 kF
	Marine	50 kF
3) collaborateurs techniques : contrats	Enseigt. sup.	21
	CNRS	1
	DGRST	6
	DRME	3
	Marine	2

Le laboratoire demande 200 kF de crédits de fonctionnement au CNRS. Les ressources provenant du secteur privé ne sont pas précisées (IMAG 25, dossier relatif à la s. 3 CNRS : PV avril et octobre 1966, Dossiers de demande d'association au CNRS).

Des servomécanismes au LAAS

L'automatique se développe également, suivant un processus comparable à celui de Grenoble. Au sein du vieux laboratoire d'électrotechnique, un maître de conférences bouillant d'enthousiasme juvénile, Jean Lagasse, fonde en 1955 un laboratoire de génie électrique voué principalement aux servomécanismes – avec le soutien du CNRS mais non sans conflit avec son ancien patron : « Il s'appelait Teissié-Solier, il était professeur d'électrotechnique et moi je lui parlais de servomécanismes, et j'avais l'impression que je lui parlais hébreu⁶⁶ ». Lagasse sait utiliser au mieux les circuits de décision parisiens (il siège bientôt au Comité national du CNRS et à la DGRST), ainsi que la dynamique du développement industriel et scientifique toulousain auquel il contribue en corrélation avec l'implantation d'activités électroniques et aérospatiales. Son laboratoire de

66 Entretien de P.-É. Mounier-Kuhn et J.-F. Picard avec Jean Lagasse, 18 novembre 1986.

génie électrique donnera naissance en 1967 au laboratoire d'automatique et d'applications spatiales (LAAS), l'un des plus grands laboratoires propres du CNRS : 125 personnes en 1968. L'un des modèles, aussi, sur lesquels se fondera le futur département des Sciences pour l'ingénieur, dont Lagasse sera le premier directeur avant de diriger la recherche de la Régie Renault.

Nancy

Les écoles d'ingénieurs de Nancy cherchent elles aussi à mettre sur pied des enseignements de calcul numérique vers 1950, mais elles se heurtent aux mathématiciens parmi lesquels dominent les « bourbakistes », a priori peu intéressés par les applications. Nancy est en effet devenue après la guerre la seconde capitale des mathématiques pures.

Les professeurs étaient Dieudonné, Delsarte, moi-même, Godement, Gauthier et... il n'y avait pas d'élèves. [...] Nous travaillions entre nous. Plus tard [...] une convention entre Dieudonné et Cartan a permis à des normaliens de seconde année de venir passer un semestre à Nancy [...] mais, au début, les jeunes avaient cinq professeurs pour deux élèves... C'est une bonne proportion⁶⁷ !

Moins visibles, les mathématiques appliquées ne cessent d'y renaître de leurs cendres, témoignant d'une tension permanente entre la logique académique de la faculté des sciences, les demandes socio-économiques exprimées notamment à travers les écoles d'ingénieurs, et les logiques politiques locales ou nationales. Le successeur de Hahn en mécanique pendant la guerre, Jean Capelle, est un normalien mathématicien, spécialiste de la théorie des engrenages et de la résistance des matériaux, qui a travaillé deux ans chez Citroën avant la guerre. Capelle professe la mécanique rationnelle et dirige l'École nationale supérieure d'électricité et de mécanique de Nancy. Quand il part en 1947 pour entamer une brillante carrière administrative et politique, le doyen Delsarte tente de récupérer le poste pour le bourbakiste André Weil. Capelle riposte en proposant Robert Mazet, qui dirige à l'ONERA la division « Résistance des matériaux » et s'intéresse au développement des moyens de calcul⁶⁸. Finalement, Weil part pour Chicago, Mazet pour Poitiers, et c'est un électronicien, Goudet, qui est nommé.

Mathématiques « pures » contre calcul numérique

En 1951, les responsables des écoles veulent faire nommer professeur un spécialiste des mathématiques appliquées, Jean Legras, alors que les

67 L. Schwartz, « Souvenirs sur Jean Dieudonné », *Pour la Science*, Paris, juin 1994, n° 200, p. 9.

68 Archives départementales de Meurthe-et-Moselle, W 1018, dossier 119. Le recteur Jean Capelle sera le fondateur des INSA, le nouveau modèle d'écoles d'ingénieurs établi en 1957.

mathématiciens locaux, appuyés par la majorité des professeurs de la faculté, défendent la candidature de Jean-Pierre Serre, considéré alors comme le meilleur mathématicien de sa génération (il sera nommé au Collège de France à 30 ans). Un bras de fer oppose les responsables des écoles et de la faculté à la communauté mathématique de l'époque, totalement dominée par les normaliens et très solidaire⁶⁹. Finalement, les partisans des mathématiques appliquées ont gain de cause : « [Les directeurs d'écoles] ont insisté auprès du ministère [...] et j'ai été nommé contre l'avis des [...] mathématiciens de Nancy. Dès que je suis arrivé, j'ai fait des cours à l'école d'électromécanique, à l'école de brasserie »⁷⁰.

L'intervention du directeur de l'École nationale supérieure d'électricité et de mécanique, Georges Goudet, a été décisive :

J'ai dû lutter contre l'impérialisme des mathématiciens « modernes », qui me hérissait. Leurs conceptions sont sûrement justifiées dans leur domaine (et mes critiques ne nous empêchaient pas d'avoir de bonnes relations personnelles), mais ils n'avaient pas à les imposer aux autres disciplines ! J'ai donc été l'un des principaux supporters de l'élection de Legras contre Serre [en fait les deux sont élus, Serre trois ans après Legras]. Un exemple de l'impérialisme bourbakiste : Mes élèves-ingénieurs pouvaient préparer le Certificat de mécanique rationnelle à la faculté. Il m'arrivait de demander à mes collègues universitaires de rédiger des sujets d'examen. Un jour, je l'ai demandé à Serre... et il a pondu un sujet de mécanique où n'étaient évoquées les notions ni de masse, ni de vitesse, ni d'accélération ! Mes élèves-ingénieurs sont sortis tout déconfits, disant « On n'a rien compris »... Je suis allé voir le doyen, Delsarte (lui aussi un bourbakiste), et je lui ai demandé de remonter leurs notes. [...] Plus tard, c'est moi qui ai fait recruter Gauthier, un mathématicien rigoureux qui n'en fait pas moins de l'analyse numérique⁷¹.

69 On trouvera des témoignages sur le groupe mathématicien de Nancy dans A. Weil, « Notice biographique », *Œuvres de Jean Delsarte*, CNRS Éditions, t. 1, 1971, p. 17-28, et dans les mémoires de L. Schwartz, *Un mathématicien aux prises avec le siècle*, *op. cit.*

70 Entretien avec Jean Legras. Legras est lui-même normalien (ENS 1933) et a fait une thèse en mécanique des fluides (*Contribution à l'étude de l'aile portante*, université de Paris, 1948). En 1959, le service de mathématiques appliquées assure l'enseignement des certificats nationaux (TMP, MMP et Mécanique générale), du « CES propre à la faculté de Nancy, du troisième cycle « option mathématiques appliquées », et de la programmation sur IBM 650 (Rapport d'activité de la faculté des sciences de Nancy, 1959-1960). L'enseignement de la programmation rassemble 5 étudiants de 3^e cycle, 15 « chercheurs », 8 élèves de première année de l'EUSIM. Trois thèses de 3^e cycle en mathématiques appliquées sont soutenues en 1960 (Rapport d'activité 1960-1961).

71 Entretien avec G. Goudet, 4 octobre 1993. Notons que l'existence d'une chaire de mathématiques appliquées n'est pas toujours significative en soi : tout dépend du titulaire, de son approche et de ses centres d'intérêt ; à Nancy, la chaire de mathématiques appliquées créée après 1871 a employé J. Delsarte, puis J. Leray entre 1936 et 1941, deux grands mathématiciens plutôt tournés vers la recherche pure. Elle est supprimée au profit d'une chaire de mécanique physique en 1958, au moment où les mathématiques appliquées et le calcul prennent un nouvel essor à Nancy.

Luc Gauthier participe à l'époque aux réunions du Centre d'études de la mécanique du vol, créé dans le cadre du service technique de l'Aéronautique, où se rencontrent les spécialistes militaires, industriels et universitaires de la théorie des asservissements.

Le conflit de Nancy révèle les résistances que pouvait rencontrer dans les facultés de l'époque l'émergence d'une discipline réputée « appliquée ». Déjà en 1913, la création de la chaire d'électrotechnique, par suppression d'une chaire de géologie, avait soulevé l'indignation du Conseil supérieur de l'instruction publique qui avait d'abord refusé ce remplacement d'une discipline « pure » par un enseignement « appliqué ». Autour de l'attribution des postes de professeur ou de maître de conférence se cristallisent à la fois des enjeux scientifiques impliquant des visions divergentes de l'importance relative des disciplines, ou même de ce que doit être la science en général, et des enjeux de pouvoir. Dans un jeu à somme fixe, un domaine se développe forcément au détriment de la croissance des autres. La réaction des disciplines voisines des mathématiques appliquées relève de cette logique : tant que le calcul numérique, plus tard l'informatique, se cantonnent à du service (centres de calcul) et à l'enseignement des techniques (programmation), il n'y a pas d'opposition importante. Leur constitution en tant que domaine scientifique à part entière, par le recrutement d'enseignants de haut rang, est en revanche une source de conflits.

C'est la principale raison pour laquelle la bataille a été aussi rude à Nancy autour du recrutement de J. Legras. Cela explique aussi les difficultés rencontrées par J. Kuntzmann avec ses collègues des mathématiques « pures » : « L'attitude à notre égard des mathématiciens (purs) a été toute différente (de celle des physiciens). Leur désir essentiel était de préserver leur pureté de toute contamination⁷². » De la même façon, si les écoles d'ingénieurs, essentiellement dirigées par des physiciens, ont joué un rôle initial décisif dans le recrutement de mathématiciens appliqués à Grenoble, Toulouse et Nancy, les mêmes physiciens n'ont pas toujours vu ensuite d'un bon œil le développement d'un domaine scientifique nouveau au sein de la faculté : « Les jeunes loups de la physique [...] veulent être les premiers par le prestige et croître sans limites. Une initiative de taille modeste leur plaît, car elle montre la vitalité de Grenoble. Mais si elle prend trop d'amplitude, elle leur paraît une rivale⁷³ ». Cela explique aussi en grande partie l'essor brisé de l'informatique à Strasbourg où rien ne

⁷² J. Kuntzmann, *Naissance et jeunesse de l'IMAG*, op. cit., 1992, p. 15.

⁷³ *Ibid.*, p. 15. Kuntzmann fait allusion à ses divergences d'intérêt et de personnalité avec Néel, qui a parfois freiné le développement de l'IMAG en renâclant à financer des heures de cours et en refusant le projet d'« Institut de formation de calculateurs » présenté par Kuntzmann en 1955 (correspondance, IMAG 03).

contrebalance la logique protectionniste des autres disciplines, qui aboutit au départ du seul « numéricien » local, comme on le verra plus loin.

De l'enseignement du calcul à la recherche en informatique

En 1958, Jean Legras obtient d'IBM l'acquisition d'une calculatrice électronique 604, programmable par tableau de connexions, pour faire des essais et initier quelques étudiants de troisième cycle. À la rentrée 1958, Legras obtient la création d'un cours de troisième cycle « Analyse et calcul numérique » avec quatre étudiants. Il démarche l'année suivante les autorités universitaires locales et nationales pour obtenir la location d'un IBM 650 par la faculté des sciences, ce qui ne va sans susciter encore une fois des réticences auprès des mathématiciens « purs »⁷⁴. La machine est finalement payée par le rectorat et installée dans ses locaux. Legras met son ordinateur à la disposition de la faculté des lettres, située à 20 mètres du centre de calcul, et s'efforce d'y lancer des recherches en traduction automatique : un groupe de linguistes, autour de Bernard Pottier, s'intéresse à ce domaine⁷⁵. L'installation d'un autre ordinateur à la faculté des lettres, le Gamma 60 du « Trésor de la langue française » (entreprise du CNRS pour réaliser un dictionnaire informatisé), met fin à cette collaboration. Les mathématiciens du « Centre universitaire de calcul automatique » (CUCA) n'ont quasiment pas accès au Gamma 60, sauf quelques étudiants de 3^e cycle travaillant sur la linguistique ou les graphes. C'est le seul cas d'université où les littéraires aient des moyens informatiques plus puissants que les scientifiques.

272

Les deux immeubles spécialisés en informatique, le Centre de calcul de Legras et le Trésor de la langue française étaient quasi mitoyens (moins de 20 mètres entre façades) situés sur le terrain de la fac de lettres. Cela permettait aux étudiants de DEA d'avoir des cours d'anglais mis en place par le centre de calcul. Tous les cours de Legras et des autres profs : langages, RO, simulation avaient lieu dans les amphistades de la fac de lettres tant en premier cycle (MP) que pour les certificats de second cycle. Le congrès AFIRO s'est également déroulé dans les locaux de la fac de lettres⁷⁶.

Legras ouvre aussi des enseignements de licence puis de troisième cycle ; il partage le cours d'analyse numérique avec un jeune professeur, Jacques-Louis Lions. Marion Créhange, une étudiante de son cours de mécanique rationnelle devenue assistante et responsable des travaux pratiques, soutient en 1961 une

74 C. Pair, « À tout CRIN : histoire d'un laboratoire », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988.

75 « Ce petit groupe de linguistes, on [les autorités] ne les aimait pas, car ils étaient moins optimistes que l'équipe Vauquois [Grenoble] sur la traduction automatique. C'est pourtant eux qui ont eu raison » (entretien avec Cl. Pair).

76 Témoignage de Claude Ducarouge (Centrale Lyon, DEA d'informatique à Nancy, puis Marine et Bull).

thèse que l'on peut considérer comme la première en France en « informatique » avant la lettre, sur la définition et la réalisation d'un macro-assembleur, donc d'un outil de programmation.

Le service de mathématiques appliquées se renforce par le recrutement de deux enseignants du lycée Poincaré de Nancy : Michel Depaix (chef de travaux, 1960), qui se spécialise dans l'enseignement des statistiques, la recherche opérationnelle et les phénomènes aléatoires ; et Claude Pair (ENS 1953, attaché de recherche CNRS en 1964, recteur 25 ans plus tard), qui sera le principal animateur de la recherche nancéenne en programmation – à laquelle il s'était initié au CEA sur Gamma ET et en assistant dès 1958 à un exposé de Kuntzmann à l'Association Française de Calcul. D'autres les rejoignent : Jean-Claude Derniame (langages), Vincent Courtillot (optimisation). Les PV du conseil d'université de Nancy montrent les efforts de Legras pour donner rapidement de l'ampleur et un statut officiel à son Centre de calcul, efforts freinés, un temps, par la direction de l'Enseignement supérieur⁷⁷.

Il peut mobiliser d'autres ressources que celles du ministère. Ses relations avec la société Hauts-Fourneaux de Pont-à-Mousson, dont le siège se trouve à 300 mètres du centre de calcul, lui fournissent des problèmes « industriels » intéressants à traiter. Progressivement, le Centre de calcul apprend à travailler sous contrat avec le monde économique : Pont-à-Mousson, SACM, CIT, Sollac (aciéries), et avec le CERCHAR ou l'École des eaux et forêts (inventaire des forêts). Il fait des émules : l'Institut supérieur de l'ingénieur de Nancy (ISIN, devenu ensuite l'ESSTIN), créé en 1960 à l'université, dispose d'un petit IBM et met en place une formation en « Cybernétique » – sans doute la seule en France à porter ce nom.

En 1965, le « CUCA » se transforme en Institut universitaire de calcul automatique. Il délivre des diplômes d'université de programmeur d'études, harmonisés avec ceux des instituts de programmation parisien et grenoblois. Les échanges sont courants avec Grenoble, qu'il s'agisse de bibliothèques de programmes ou d'interventions aux séminaires de DEA – beaucoup moins avec Toulouse. L'IBM 650 est remplacé par un CAE 510, utilisé intensivement par vacations (nuits et week-ends compris) entre les diverses écoles et laboratoires : cristallographie, médecine, ENSEM, Minéralogie, École des Eaux et Forêts. Le centre de calcul assure aussi, à partir de 1966, des initiations à la programmation pour les élèves de première années des écoles d'ingénieurs locales (ENSEM, ENSIC, Mines) et les étudiants scientifiques : en tout environ 300 auditeurs. Consécration, le Centre accueille en 1967 le congrès de l'AFIRO, auquel participent tous ses étudiants de DEA.

77 Archives de Saint-Gobain, Blois, PV du conseil d'université de Nancy, cote 45985 (n). Les PV du conseil se trouvent dans les archives de Saint-Gobain-Pont-à-Mousson parce que le président de Pont-à-Mousson, André Grandpierre, siégeait au conseil d'université de Nancy.

Faute de gros ordinateurs, la recherche en informatique ne s'oriente pas vers le développement de systèmes d'exploitation. Elle reste longtemps centrée sur le langage Algol, d'ailleurs systématiquement utilisé pour les TP de programmation. À partir de là l'équipe de Nancy, à forte culture mathématique, évolue vers les problèmes d'analyse syntaxique, puis vers l'analyse des structures de données. Autour de 1970, les recherches en programmation débouchent à la fois sur des réflexions méthodologiques, liées au désir général d'établir un « génie logiciel » ; et sur une informatique théorique, sujet d'une série de réunions dans le cadre des écoles d'été de l'AFCEP qui aboutiront à la rédaction d'un ouvrage par un collectif nancéen, le Livercy⁷⁸.

En 1975 le laboratoire, équipé d'un gros ordinateur CII, associé au CNRS et rebaptisé CRIN (Centre de recherche en informatique de Nancy), atteindra un effectif de 70 personnes.

Au-delà du cas nancéen, cette évolution est représentative de l'aventure de l'informatique dans l'université :

274

Au départ, un homme seul, sans équipe autour de lui ; en 1975, 70 personnes (dont plus de 50 enseignants), un laboratoire constitué, associé au CNRS, une palette complète de formations avec plusieurs centaines d'étudiants en informatique, sans compter des enseignements de service dans les domaines les plus divers. Entre temps, beaucoup de travail et de luttes pour faire reconnaître l'existence de l'informatique⁷⁹.

À Grenoble et à Toulouse, les universitaires spécialistes du calcul numérique et des calculateurs ont aisément convaincu leurs collègues responsables des écoles d'ingénieurs de créer des filières de « mathématiques appliquées ». En découle l'ouverture en 1958-1959 des premières formations spécialisées d'ingénieurs en informatique, qui resteront quelques années les seules du pays. Les enseignements de ces filières, comme c'était courant dans ces écoles, sont en grande partie effectués à l'université dans le cadre des certificats, les travaux pratiques utilisant le centre de calcul qui s'est constitué autour de l'ordinateur. Rappelons qu'à cette époque, ce sont les mêmes personnes qui assurent les cours d'analyse numérique ou de programmation, font de la recherche, gèrent le centre de calcul et les relations avec les différents utilisateurs.

À la fin des années soixante, l'informatique mûrit et s'efforce de se faire reconnaître comme une discipline à part entière. Dans les trois villes, les

78 C. Livercy, *Théorie des programmes*, Paris, Dunod, 1978 ; Livercy est l'acronyme de Jean-Pierre Finance, Monique Grandbastien, Pierre Lescanne, Pierre Marchand, Roger Mohr, Alain Quéré et Jean-Luc Rémy. L'ouvrage est en ligne sur <<http://perso.ens-lyon.fr/pierre.lescanne/publications.html>>.

79 C. Pair, « À tout CRIN : histoire d'un laboratoire », art. cit., p. 318.

chétives équipes initiales se sont fortement étoffées, totalisant de l'ordre de 350 enseignants, chercheurs et techniciens. Limitée à une spécialité de 3^e cycle jusqu'en 1966, l'informatique fait ensuite l'objet de diplômes de 2^e cycle : la réforme Fouchet l'intègre à la maîtrise de mathématiques appliquées et institue les maîtrises et les licences d'informatique, dont Grenoble, Toulouse, Nancy et Paris obtiennent les premières. Des enseignements de niveaux équivalents sont mis en place parallèlement dans les écoles d'ingénieurs et les IUT. Le nombre d'étudiants, d'enseignants et d'ingénieurs croît ensuite très rapidement.

b. La recherche en calcul numérique se développe en même temps que l'informatique

À Paris, à Lille et à Clermont-Ferrand, des mathématiciens prennent l'initiative de développer des recherches autour du « calcul », par intérêt scientifique plus que pour répondre à des besoins locaux. Paris est toutefois un cas particulier, du fait de son statut de capitale et des avatars de l'Institut Blaise Pascal, laboratoire propre du CNRS.

Paris : l'Institut Blaise Pascal, expansion et crises de croissance

On l'a vu, Paris est historiquement le théâtre des premières recherches sur le calcul en France, avec les tentatives des divers organismes scientifiques qui y ont entrepris de réaliser des machines à calculer. Dès le milieu des années cinquante, leur échec est flagrant.

Au moment où l'informatique « décolle » à Grenoble et à Toulouse, Paris semble donc être hors de la course, comme une Formule 1 partie trop vite et qui coule une bielle au troisième tour de circuit. On pourrait imaginer que les ingénieurs et les universitaires ayant échoué à construire du *hardware* se rabattent sur la recherche en *software*. En général, il n'en est rien. Les équipes se dispersent, les uns partant dans l'industrie, les autres changeant totalement de discipline. Seuls subsistent les bureaux de calcul de l'Institut Henri Poincaré et de l'Institut Blaise Pascal, exécutant des travaux à la demande de la communauté scientifique. Tout en continuant à effectuer ou à diriger quelques travaux d'analyse numérique liés au service de calcul, Couffignal se consacre à une cybernétique de plus en plus fumeuse. L'Institut Henri Poincaré (faculté des sciences) aurait vocation à devenir le berceau de l'informatique parisienne, si le principe n'avait été posé en 1942 qu'il laisse au CNRS le monopole des équipements lourds de calcul. Il a d'ailleurs perdu une partie de son dynamisme initial, comme le laisse supposer la création en 1958 dans la banlieue parisienne d'une nouvelle structure à vocation similaire, l'Institut des hautes études scientifiques⁸⁰. L'Institut Blaise Pascal achète en 1955

⁸⁰ D. Aubin, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos: Around the Institut des Hautes études Scientifiques*, PhD., Princeton University, 1997.

un ordinateur Elliott 402, mais aucune activité d'enseignement ou de recherche ne se développe autour de cette machine : l'IBP est un laboratoire du CNRS, installé à Chatillon, dans les locaux de l'ONERA, hors de tout environnement universitaire.

Un « Groupe de calcul numérique » s'est bien formé à l'Institut Henri Poincaré dès 1947, mais il ne constitue ni un laboratoire ni un centre d'enseignement. Fondé par un jeune ingénieur de la Radio-Télévision française, Étienne de Lacroix de Lavalette, ce club est soutenu et présidé par G. Darmois qui dirige à l'IHP un laboratoire de calcul et un séminaire de calcul des probabilités, puis par H. Mineur à l'Institut d'astrophysique, ainsi que par J. Pérès. Paul Belgodère, le bibliothécaire de l'IHP, assure une liaison avec la Société mathématique de France. Il réunit en séminaires des spécialistes d'origines diverses : universités, ONERA, EDF, Institut de physique du globe, plus tard IBM, SEA, Bull. On y expose des travaux récents et des méthodes d'analyse numérique (de Graeffe, Whittaker & Robinson...), ainsi que les possibilités des nouvelles machines⁸¹. Le caractère informel de cette amicale indique qu'il n'y a à l'époque aucun enjeu de pouvoir dans ce domaine, que la SMF ne revendique d'ailleurs pas. Son point d'ancrage est sans doute le cours de calcul numérique professé par Mineur à l'Institut d'Astrophysique en 1948-1950, dont la publication produit le principal traité français d'analyse numérique au début des années cinquante⁸². Mais Mineur décède prématurément en 1954.

276

En 1955, ce groupe compte 200 membres. Il est ensuite pris en main par des universitaires (Kuntzmann) et des polytechniciens (Carteron) qui le transforment en Association française de calcul (AFCAL), la première société savante des informaticiens français. Le président fondateur est André Danjon (1890-1967), successeur de Mineur à l'Institut d'Astrophysique, dont l'âge n'a réduit ni le dynamisme ni l'ouverture d'esprit ; Danjon a dirigé entre autres les thèses de B. Vauquois et de J. Arzac. De santé fragile, Lacroix de Lavalette disparaît du paysage, étant accaparé par son travail à la RTF et n'ayant ni pouvoir académique, ni tournure d'esprit le disposant à en briguer.

Ce sont donc des hommes nouveaux qui, dans la seconde moitié des années cinquante, relancent Paris dans le jeu – au moment où l'industrie produit les premiers calculateurs commerciaux de série : l'enseignement supérieur est prié

81 En 1949, le programme du groupe de calcul numérique comprend par exemple une conférence de J.-P. Flad sur « Les machines à calculer de bureau. Automatismes et perfectionnements dans les machines à calculer modernes » et un exposé d'H. Mineur sur « Intégration numérique d'une équation différentielle » (Arch. nat. 800284/209).

82 H. Mineur, *Techniques de calcul numérique, à l'usage des mathématiciens, astronomes, physiciens et ingénieurs*, suivi de quatre notes par Mme H. Berthod-Zaborowski, J. Bouzitat et M. Mayot, Paris & Liège, Béranger, 1952, 605 p. Dans sa préface, Mineur signale l'inexistence de traités généraux en langue française, exposant les méthodes d'interpolation et les procédés de calcul numérique. La liste des personnes remerciées pour leur concours révèle les relations qu'avait Mineur avec les ingénieurs des grands corps de l'État et de l'Armement.

d'apprendre aux étudiants à les utiliser. En 1956, le Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique, dont un comité rassemble les spécialistes français de la « cybernétique », incite le ministère de l'Éducation nationale à instaurer trois certificats de calcul numérique dans trois universités, au niveau de la licence. Les deux premiers officialisent les enseignements déjà assurés à Grenoble et à Toulouse par Kuntzmann et Durand.

Le troisième, à Paris (IHP), est confié à Jean Ville, statisticien-probabiliste un peu en marge de la communauté mathématique de l'époque, mais d'une grande stature scientifique. Poussé par Borel et Fréchet, Jean Ville (ENS 1929) a suivi à Vienne, avant la guerre, le séminaire de Karl Menger et s'est plongé dans les travaux de Ludwig von Mises, Karl Popper et Kurt Gödel. Il approfondit les théories des martingales, du collectif, des jeux. Chargé de recherches CNRS en 1935-1938, il a fondé à Paris un séminaire de calcul des probabilités en 1937. Il s'intéresse depuis la fin des années quarante à la théorie de l'information et au traitement du signal, sur la théorie duquel il a publié en 1948 un article fondamental dans une revue d'ingénieurs⁸³. Il se tournera plus tard vers la théorie des systèmes.

Ville était un homme très fin qui apportait beaucoup d'idées. [...] Il m'a toujours impressionné par une finesse d'analyse considérable. [...] Ville avait toujours l'apparence du dilettantisme et il sortait des choses dont on se disait "Mais c'est formidable qu'il sorte ça", une espèce de facilité⁸⁴...

Jean Ville semble être le premier universitaire parisien à orienter des étudiants vers l'algèbre de Boole et la logique des machines – c'est le cas de Louis Nolin et de Jean Porte, qui passeront ensuite à l'IBP. Conseiller scientifique d'une entreprise qui s'est lancée dans le traitement de l'information, la SACM (future Alcatel), il est conscient de la montée générale des besoins de calcul (il publie aussi régulièrement sur le calcul matriciel). Ou, si l'on raisonne en sens inverse : Jean Ville est un homme qui a du flair et diffuse généreusement ses idées. En revanche ce n'est pas un organisateur, il n'a aucune stratégie institutionnelle et ne constitue ni équipe ni laboratoire. Il se contente des postes que l'université lui donne : professeur à l'ISUP, « chargé de conférences sur le Calcul automatique sur machines électroniques à la faculté

83 J. Ville, « Théorie et application de la notion de signal analytique », *Câbles et transmissions*, 1948, n° 2, p. 61-74. Ville y apporte une contribution fondamentale au traitement du signal en utilisant la transformée de Hilbert. Il faudra plusieurs décennies pour que la « pseudo-distribution de Wigner-Ville » (PDWV) devienne un « grand concept » très utilisé dans les technologies de l'information. « Notice sur les travaux scientifiques de M. Jean Ville », Paris, mai 1955.

84 Entretien avec André Blanc-Lapierre, 19 mars 1997. J. Ville passait pour mort en 1984, quand P. Crépel a retrouvé sa trace et réalisé une précieuse série d'entretiens, dans le cadre d'une histoire du concept de martingale. Sur Ville, voir aussi les travaux de Glenn Shafer, qui a traduit et mis en ligne une partie des œuvres scientifiques de Jean Ville, avec un article sur ses années de formation, *Electronic Journal for History of Probability and Statistics*, vol. 5, n° 1, juin 2009, n° sur *The Splendors and Miseries of Martingales*. Shafer prépare une biographie de Jean Ville.

des sciences de Paris » en 1956, avec un assistant chargé des TP, Claude-F. Picard, pour mettre en service le Gamma 3 que Bull offre à l'IHP.

On a donc trouvé deux hommes compétents pour enseigner le calcul. L'enseignement commence en mars 1956 par un cours libre portant sur l'algèbre de Boole, la logique et la programmation (4 h par semaine et 2 h d'exercices), cours libre destiné à devenir régulier pour être sanctionné par un certificat de licence. L'Institut de statistique (Darmois) prête quatre jeunes femmes qui s'initient à la programmation pour faire fonctionner la machine et instruire les étudiants ; des ingénieurs de compagnies privées viennent faire cours. Ville espère que des créations de postes et l'achat d'un véritable ordinateur Bull par le CNRS, à l'automne 1957, consolideront cet ensemble⁸⁵.

Mais ce montage s'avère fragile : Ville est accaparé par ses recherches personnelles dans d'autres branches des mathématiques et par son travail de conseiller scientifique de la SACM ; de plus il y attire Claude Picard, qui a une famille nombreuse à nourrir et part diriger le centre de calcul de cette firme. Toutefois, un « effet capitale » joue visiblement à Paris : la présence d'une extraordinaire concentration de scientifiques et le prestige de la capitale font qu'une nouvelle discipline, si peu valorisée soit-elle, doit y être professée. Les autorités trouvent donc une solution de rechange.

278

L'Institut Blaise Pascal sous René de Possel

À la direction du CNRS, Jean Coulomb, un mathématicien passé à la physique du globe, succède à Gaston Dupouy en 1957. Voulant remplacer Couffignal à l'IBP, Coulomb fait venir d'Alger son ancien camarade de taupe, René de Possel (ENS 1923), un brillant mathématicien reconverti du bourbakisme aux mathématiques appliquées. Spécialiste reconnu en analyse, et d'ailleurs passionné de mécanique, de Possel

ne connaissait pourtant rien aux ordinateurs ni à la programmation. Mais il était imaginatif, et je lui faisais toute confiance pour inventer des solutions. Il a vite vu qu'il fallait associer l'université, former des gens à la programmation⁸⁶.

85 J. Ville, « L'enseignement du Calcul automatique à la faculté des sciences de Paris », exposé devant la commission Électronique et Cybernétique du CSRSPT, mars 1957 (Arch. nat. 77/321/323). C'est G. Darmois et J. Pérès qui auraient attiré « ce franc-tireur de Ville » au centre de calcul de l'IHP ; le contact avec Bull était évidemment Ph. Dreyfus.

86 Entretien avec J. Coulomb, 16 novembre 1994. S'ajoute bientôt une raison supplémentaire de faire venir de Possel à Paris : celui-ci a défendu *in absentia*, le 2 décembre 1957, la thèse de son assistant Maurice Audin, bon mathématicien mais membre du parti communiste algérien. Arrêté par des parachutistes français, puis transféré dans un état-major pour interrogatoire, Audin ne réapparaîtra jamais. Pour de Possel, qui n'était cependant pas assimilable à un « porteur de valise », l'atmosphère commençait à devenir malsaine à Alger.

Le nouveau directeur préfère par principe « l'excès de liberté » à « l'excès d'organisation » : De Possel est assurément l'homme idoine pour mettre en œuvre cette conception de la recherche. Coulomb l'impose d'abord en 1957 à la tête du laboratoire de calcul numérique de l'Institut Henri Poincaré, qui vient de perdre à la fois Picard et Darmois. Puis comme successeur de Couffignal à l'IBP. C'est pour lui, enfin, qu'une chaire d'analyse numérique est créée en 1959 à la Sorbonne. De Possel peut ainsi donner un nouveau souffle à l'IBP en y attirant des étudiants et en ouvrant ce laboratoire propre du CNRS sur l'université : les chercheurs de l'IBP ont désormais des perspectives de débouchés dans l'enseignement supérieur, tandis que des assistants universitaires peuvent participer aux activités du centre de calcul.

Jean Ville, qui représente plutôt l'autre branche des mathématiques appliquées, les « proba-stat. », devient professeur sur une chaire d'économétrie (terme qui couvre alors toute l'économie mathématique) où il injecte une forte composante de recherche opérationnelle. Ville reste dans le dispositif informatique naissant (cours, séminaire, encadrement doctoral) : ses rapports avec de Possel ne souffrent pas d'une rivalité institutionnelle dont ces deux généreux n'ont aucun souci⁸⁷.

De Possel confie les services de calcul de l'IBP à deux élèves de Ville, qui commencent aussitôt à y développer des recherches : Jean Porte (Chatillon), statisticien intéressé par la théorie du calcul, poursuit des travaux de logique mathématique et d'algorithmique ; Louis Nolin, enseignant lumineux, venu de la philosophie avec une thèse en logique, organise à l'IHP (Paris) des cours de programmation, non seulement pour les techniciens du centre mais aussi en y attirant les utilisateurs, afin de favoriser une forme de libre service et de dégager du temps pour la recherche⁸⁸. En 1959, tous les chercheurs de l'IBP assistent à Paris au congrès fondateur de l'International Federation for Information Processing (IFIP). Ils y découvrent les nouvelles orientations de la recherche

87 Témoignage de M. Nivat, qui était l'assistant à la fois de J. Ville et de R. de Possel (entretien avec M. Nivat, 16 novembre 1994). Le *Cours de calcul automatique* de J. Ville (octobre 1960), bien que sous-titré « Théorie des Machines Mathématiques », est un cours technique d'initiation à l'emploi des ordinateurs, semblable à ceux professés dans les écoles Bull ou IBM. Il ne contient aucune allusion à des modèles théoriques comme les automates. La même année Ville préface la traduction française de D. Chorafas, *Traité des ordinateurs*, Paris, Hermann, 1960. Son enseignement de recherche opérationnelle à l'ISUP est une option du 3^e cycle d'analyse numérique dirigé par de Possel.

88 CNRS, Rapport d'activité 1956-1957, IBP, p. 69-73. Le rapport signale une nette amélioration des services de calcul après cette reprise en main par des dirigeants à temps plein. Le regretté Louis Nolin fut un pilier de l'IBP de 1957 jusqu'à sa mort en 1996. Rappelant invinciblement l'inspecteur Colombo par son allure vestimentaire et son éternel cigarillo, il se signalait par son esprit astucieux qui lui permettait de débrouiller les situations les plus compliquées pour le plus grand profit du laboratoire et des étudiants. Il a laissé un témoignage personnel truculent de ses aventures lors d'un hommage à André Lentin, « Des caves de l'Institut Henri Poincaré à la terre promise de la rue du Maroc », *Mathématiques, informatique et sciences humaines*, 1998, n° 141, p. 5-10.

informatique américaine, qui vont bien au-delà du calcul numérique, et y trouvent de nouvelles inspirations.

L'IBP reçoit la tutelle de deux nouveaux laboratoires voués aux recherches en traduction et en documentation automatiques. De Possel en tire argument pour envisager de construire un ordinateur d'avant-garde, velléité exprimée dans divers documents vers 1960 et qui restera sans suite – heureusement. C'est l'âge d'or de l'Institut Blaise Pascal, qui bénéficie du soutien de la direction du CNRS, acquiert un ordinateur par an de 1957 à 1966, attire de nombreux étudiants et exerce un certain rayonnement international, dans une atmosphère de grande liberté intellectuelle.

Il en reçoit les moyens : pour 1960-1964, le IV^e Plan attribue à l'Institut Blaise Pascal 24 MF⁸⁹, soit la moitié des crédits d'équipement informatique du CNRS, ou près du quart de l'ensemble « Enseignement supérieur et CNRS » (109,95 MF). Une puissante IBM 704, quoique ancienne (sa conception remonte à 1952), est enfin installée... et bientôt saturée, fonctionnant 23 h/24⁹⁰. Elle sera encore en service fin 1965, malgré des pannes fréquentes : le blocage des crédits, dû au plan de refroidissement gouvernemental contre l'inflation, retarde son remplacement par un Control Data 3600. L'effectif de l'IBP, 40 personnes en 1961, dépasse 140 en 1965, dont une centaine de techniciens : c'est une véritable usine à calcul. D'abord regroupés rue du Maroc dans une ancienne fabrique de radars CSF, les nouveaux ordinateurs sont installés dans un bâtiment construit en 1965 sur le campus d'Orsay, le futur CIRCÉ du CNRS (Centre inter-régional de calcul électronique).

280

Calcul, enseignements, recherches

D'autres centres de calcul scientifique se développent dans la région parisienne. Les premiers ont été ceux des constructeurs d'ordinateurs, qui ont aussi des équipes de recherche appliquée en mathématiques. Vers 1960, les laboratoires du CNRS à Meudon créent leur propre centre de calcul, équipé d'une CAB 500 puis d'une SETI Pallas. Les nouvelles facultés des sciences

89 Les 24 MF attribués à l'Institut Blaise Pascal pour la durée du IV^e Plan se réduiront à 14 MF, du fait des annulations de crédits décidées en 1963-1964 dans le cadre du plan Giscard de « refroidissement », et secondairement d'arbitrages internes au CNRS. L'IBP acquerra néanmoins un CDC 3600 et un IBM/360-40. Les paragraphes qui précèdent résumant une étude sur l'histoire de l'IBP, dont une première synthèse a été présentée dans J. Sakarovitch (dir.), *De Bourbaki à la machine à lire. Journée d'hommage à René de Possel (1905-1974)*, Paris, Publications de l'Institut Blaise Pascal, 1994, p. 15-29.

90 L'expert de l'Institut Blaise Pascal, Louis Nolin, avait testé les performances respectives du Gamma 60 Bull et de l'IBM 704. Les programmes FORTRAN étant exécutés plus vite sur celui-ci que sur celui-là (et pour cause), l'IBP acquit à bon compte l'IBM 704 de démonstration qui depuis cinq ans fonctionnait place Vendôme. Le Gamma 60 que Bull destinait à l'Éducation nationale fut affecté finalement aux linguistes du Trésor de la langue française, à Nancy. Nolin se fit alors des ennemis chez Bull.

(Jussieu, Orsay⁹¹) en font autant, ainsi que les observatoires astronomiques avec le soutien du CNES, le Bureau des longitudes et la Maison des sciences de l'Homme. Il s'agit essentiellement de services de calcul.

Cependant, le Centre de calcul analogique de Malavard, transporté à Orsay et devenu indépendant de l'IBP après la mort de Pérès, acquiert au milieu des années 1960 de petits ordinateurs (CAB 500, IBM 1130) et des machines analogiques de l'industrie (SEA NADAC 100), s'orientant vers les technologies hybrides analogique / numérique. Il utilise aussi l'Univac du centre de calcul d'Orsay. Les techniques hybrides permettent notamment d'effectuer des recherches sur la reconnaissance et la synthèse de la parole, la simulation ou les systèmes graphiques, aboutissant dix ans plus tard à des démonstrations convaincantes⁹². Le CCA se lancera dans la recherche en informatique à la fin des années soixante, se transformant en « laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur » (LIMSI) en 1972⁹³.

Parallèlement, des cours spécialisés de niveau 3^e cycle sont organisés en coopération par le CEA et la faculté des sciences de Paris-Orsay à l'Institut des sciences et techniques nucléaires, où Pierre Debraine (ingénieur EPCI, adjoint au directeur du Centre d'études nucléaires de Saclay) professe un enseignement complet hardware-software avec une partie importante de logique des circuits, cours publié en 1967⁹⁴. Un DEA d'informatique et d'automatique sera ensuite mis en place, rattaché à l'Institut d'électronique de l'université d'Orsay sous la direction de P. Debraine. L'informatique se développe donc ici hors des mathématiques, en relations avec la physique. Mais la recherche informatique parisienne reste centrée à l'IBP jusqu'à la fin des années soixante.

91 La faculté d'Orsay crée son centre de calcul, équipé en 1960 d'un IBM 650, puis d'un Univac 1107, sous la direction d'Evelyne Andreevsky, informaticienne passée ensuite à la systémique et aux sciences cognitives, puis de Loup Verlet, chercheur en mécanique des fluides devenu plus tard historien des sciences (entretien avec E. Andreevsky, 16 novembre 1994). Le centre de calcul d'Orsay a été initialement défini comme dédié à la physique nucléaire. Progressivement la part de celle-ci diminue, l'installation d'un Univac 1108 en 1967 permettant d'ouvrir le service aux autres laboratoires de la faculté. Enfin, « le Centre a, dans la mesure où c'était possible, apporté un support matériel aux embryons d'enseignement d'informatique réalisés à Orsay » (« Projet de développement du Centre de calcul de la faculté des sciences d'Orsay », sd., 1969, Ministère de l'éducation nationale, Mission Informatique, Arch. Nat. F17 bis, 14256, art. 5).

92 L.-J. Boë, M. Grossetti, P.-É. Mounier-Kuhn et alii., *Informatique et parole en France : un quart de siècle après la rencontre*, Grenoble, Institut de la communication parlée, université Stendhal, 1993.

93 Le LIMSI en 1972 comportera trois sections : Méthodes numériques de la mécanique des fluides (Luu et Coulmy) ; Communication parlée (Liénard et Mariani) ; Informatique graphique, dont le principal responsable, J.-M. Brun, créera le langage Euclid, un outil essentiel de la CAO pour la mécanique.

94 P. Debraine, *Machines de traitement de l'information*, Paris, Sfradel-Masson, 1967. Ce manuel s'inspire explicitement de I. Flores, *Computer Logic: The Functional Design of Computers*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1960.

René de Possel a ses entrées chez le Premier Ministre Michel Debré, reçoit des contrats de divers organismes français (DGRST) et étrangers (RAND Corp.), est élu président du conseil du Centre international de calcul de Rome – les archives de l'IBP révèlent un vaste réseau de relations internationales, à l'Est comme à l'Ouest. Rappelons l'ambiance politique paradoxale de l'époque : de Possel est en même temps l'un des meneurs du Comité Audin, présidé par le doyen Chatelet, qui symbolise la « révolte de l'université » contre la politique gouvernementale en Algérie ! Cet éminent animateur de recherches est aussi un original, qui porte la crinière longue bien avant que la mode n'en soit lancée par les Beatles. Il fait figure de mentor de Minou Drouet, la poétesse prodige, qu'il présente cérémonieusement au Gamma 60 de la compagnie Bull.

Tableau 12. Équipement de l'Institut Blaise Pascal (calculateurs numériques)

1946	machines de bureau et Logabax
1948	machines à cartes perforées
1955	Elliott 402 (Chatillon)
1957	Bull Gamma 3 puis ET acheté (laboratoire de calcul numérique de l'IHP)
1958	IBM 650 (Chatillon)
1961	IBM 1401 achetée (rue du Maroc)
1962	NCR-Elliott 803 (petit ordinateur transistorisé, acheté 1 MF)
1962	IBM 704 achetée (rue du Maroc)
1963	SEA CAB 500 acheté ; seconde IBM 1401 louée (pour Orsay)
1965	Control Data 3600 achetée (prendra le relais de l'IBM 704 en 1967)
1966	IBM/360-40 à disques et bandes magnétiques (CIRCÉ, Orsay)
1967	IBM/360-50, remplaçant le précédent (CIRCÉ) ; 2 IBM 1130
1967	NCR-Elliott 4130

Complétant ce dispositif – calcul, enseignement universitaire, recherche –, de Possel fonde en 1963 un Institut de programmation destiné à former des techniciens et des ingénieurs en informatique. Le premier débouché visé est le centre de calcul de l'IBP lui-même, qui a le plus grand mal à recruter des programmeurs. Il prévoit 40 étudiants dès la première année, 450 en 1966, pour des débouchés « immenses »⁹⁵. Pour y faire face, une partie importante des cours est assurée par des ingénieurs et des mathématiciens de l'industrie ou des services publics, en attendant que les universitaires soient en mesure de prendre la relève.

L'Institut de programmation dispense une formation technique, mais ne relève pas de l'administration de l'Enseignement technique ; c'est un institut de faculté installé au CNRS, dont les diplômés : Programmeur, Programmeur d'études, Expert en traitement de l'information, ne sont assimilés à aucun titre universitaire. Ces qualifications correspondent simplement à la demande du marché. L'avantage

95 Institut de programmation, demande de création administrative, 12 février 1963, Archives du Rectorat de Paris.

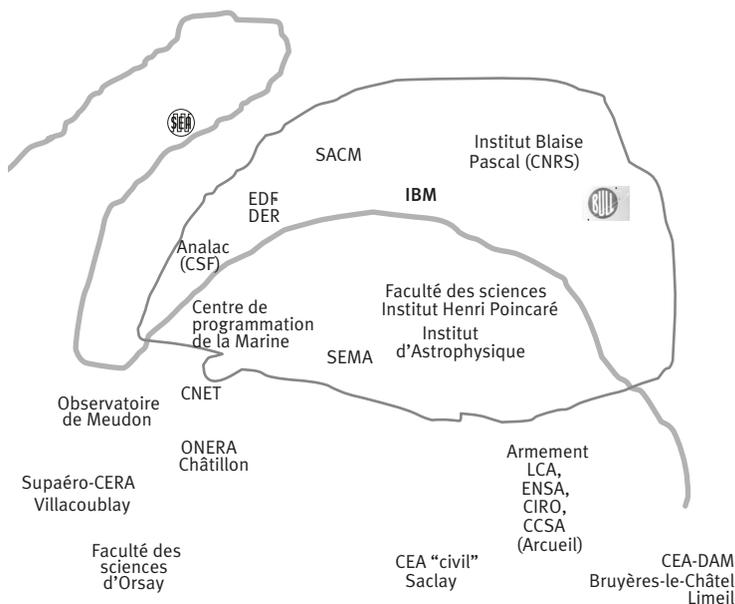


Figure 28. Le Paris informatique (début des années 1960)

Recherche et enseignement supérieur en calcul et en informatique dans la région parisienne

L'Elliott 402 n'étant pas satisfaisante, en 1958 les chercheurs de l'Observatoire de Paris qui utilisaient une IBM 650 ont incité de Possel à s'équiper lui aussi en IBM. Les divers utilisateurs d'IBM 650 peuvent ainsi échanger des programmes.

À ces ordinateurs s'ajoutent deux ensembles mécanographiques classiques IBM (tabulatrices, trieuses), assurant au début les travaux de gestion de l'administration centrale du CNRS. L'ensemble occupe une soixantaine de techniciens au milieu des années 1960.

L'IBP préfère acheter les machines, ce qui est financièrement plus avantageux que la location sur le long terme. Une partie des crédits vient de l'Enseignement supérieur, dans la mesure où les ordinateurs servent à l'enseignement et à la recherche universitaires.

Dans la seconde moitié des années soixante, le prix d'une heure de travail machine au CIRCÉ est nettement inférieur à ceux du « service bureau » des sociétés privées : 269 F/368 F sur IBM 1401, 564 F/730 F sur IBM/360-40 en 1966 (prix IBM minimum, sans réduction, non compris salaires des chefs opérateurs) ; 2 000 F/5 000 à 9 000 F sur un calculateur plus puissant, type 360/75, en 1970. Cette différence est due à trois facteurs : le CIRCÉ n'a pas à faire de bénéfices ; le plan de charge et le taux d'utilisation de ses machines est meilleur ; les frais de personnel sont très inférieurs¹.

¹ *Étude sur les prix de revient de l'Institut Blaise Pascal*, p. 26, Arch. de l'Institut de Programmation ; CIRCÉ, *Compléments d'information*, février 1971, Arch. nat. 85/0505-140.



Figure 29. Réunion d'informaticiens près de Paris (vers 1965, sans doute au Vésinet)

1^{er} rang : R. de Possel est le 2^e à partir de la gauche. Au centre, Pham (Caen), Paulette Février (IHP). Plus haut, Porte, Salkoff, Arsac, Nivat, Nolin (IBP), Brillouët (Nantes), Poitou (Lille), B. Renard, Genuys (IBM), Hocquenghem (CNAM), Legras (Nancy), etc.

est la liberté de fixer des règles d'admission originales : l'IP recrute sans titre au niveau baccalauréat, pour donner leur chance à des jeunes gens qui n'ont pu s'adapter à l'enseignement secondaire, mais se révèlent aptes à la programmation ; aux niveaux plus élevés, il peut aussi transformer des diplômés en analystes. Cette situation se régularise en 1967, avec la création des IUT et de la maîtrise d'informatique. L'Institut assimile ses niveaux supérieurs de formation à ces cursus officiels, qu'il avait anticipés et contribué à mûrir. Mais il maintient sa formule originale au niveau élémentaire de « Programmeur d'applications »⁹⁶. À la fin de la décennie, transféré sur le campus de Jussieu et doté d'un ordinateur en temps partagé, l'Institut de programmation aura la charge de la maîtrise d'informatique ; il comptera trois chaires, six maîtrises de conférences et 2 000 étudiants.

96 J. Arsac, « À propos de la réforme de l'Enseignement », *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trim. 1967, p. 5. Le projet initial visait en 1962 à créer un certificat d'aptitude technique à la programmation.



— DIS, ALGORITHMIX, TU ME LE PRÊTERAS, DIS ?.....

— OUI, TECHNOLOGIX, MAIS NE DÉMONTES PAS LES PÉRIPHÉRIX !

Figure 30. Un transfert de technologie « lourde »

En 1967, on envisage de déménager l'Institut de programmation vers la nouvelle faculté des sciences d'Orsay, avec son nouvel ordinateur britannique NCR-Elliott 4130 fait pour le *time sharing* et le « conversationnel ». Astérix et Obélix, dont les aventures *chez les Bretons* viennent de paraître, inspirent ce dessin d'un assistant de l'IBP, où les initiés reconnaissent les silhouettes de Jacques Arzac et de Jean Suchard apportant la 4130 « manufacturée en Bretagne ».

(dessin de Bernard Robinet, *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trim. 1967).

Le point faible de l'IBP est la gestion. D'une part, le laboratoire se débat dans des problèmes bureaucratiques sans fin. Si la direction du CNRS accorde une priorité officielle à l'informatique, l'administration du personnel est à cette époque particulièrement tatillonne⁹⁷ : elle refuse les autorisations de cumuls aux nombreux chercheurs qui demandent à enseigner (alors que la formation manque dramatiquement de cadres), elle refuse ou retarde les crédits de missions aux informaticiens qui ont besoin de participer aux réunions de clubs d'utilisateurs Bull ou IBM (alors que la participation à ces mutuelles du logiciel peut faire économiser de longues heures de programmation), elle ne sait pas payer les techniciens au prix du marché. Or l'IBP, laboratoire propre du CNRS, n'a pas les marges de manœuvre d'un laboratoire universitaire comme l'IMAG qui peut payer des vacances sur des sources de financement plus diversifiées : Enseignement supérieur, CNRS, association ADR.

286

D'autre part, comme c'est parfois le cas lorsque l'on choisit un directeur de laboratoire, les qualités purement scientifiques de R. de Possel ont compté beaucoup plus que sa dimension de patron. La gestion d'une organisation administrative l'ennuie. Il se repose pour cela sur André Lentin, mais celui-ci, algébriste et pédagogue reconnu, spécialiste du traitement de l'information non numérique (linguistique mathématique, etc.), a aussi ses cours et sa thèse à mener. Le fonctionnement d'une vaste usine à calcul exige des routines bien huilées, de strictes disciplines de service et de tarification, très différentes des pratiques de la recherche mathématique ; les plaintes des utilisateurs du centre de calcul affluent à la direction du CNRS.

Par ailleurs, côté recherche, les informaticiens, notamment les industriels avec lesquels R. de Possel travaille sous contrat, ont besoin non seulement d'idées brillantes, mais aussi de textes, de protocoles sans lesquels les meilleures trouvailles ne sont pas reproductibles⁹⁸. Bref, R. de Possel est un mathématicien qui adorait faire de la « science lourde », mais qui n'en a pas intégré les contraintes. Ses meilleurs amis l'empêchent, pour son bien, de se lancer dans la fabrication de circuits intégrés et dans le développement d'un ordinateur

97 La redoutable Mme Plin, administrateur civil, est considérée comme l'ennemi public n° 1 par nombre d'unités de recherche. L'IBP multiplie les notes et lettres de réclamation, qui abondent dans ses archives, et il n'est pas le seul. Nolin sera exclu du CNRS pour avoir puisé dans les crédits de fonctionnement afin de payer des heures supplémentaires à des opérateurs travaillant de nuit : faute grave du point de vue administratif, commise pour faire fonctionner le service public et rentabiliser un gros équipement !

98 Entretien avec F.-H. Raymond, 8 avril 1986. Raymond compare entre autres leurs méthodes de développement de machines à lire. En matière de software, « de Possel m'a appris que toute démonstration de théorème constitue un programme d'ordinateur. Les Américains en ont fait le *Kleene-Nelson principle*. Mais de Possel se contentait de philosopher là-dessus. C'est une magnifique évidence, mais il aurait fallu la transformer en réalités ».

d'avant-garde, motivé à l'origine par les besoins de la traduction automatique⁹⁹. Son étoile pâlit à partir de 1965, tandis que se succèdent les réorganisations de l'IBP imposées par la nouvelle direction du CNRS.

Jacques-Louis Lions lui succède en 1965 dans la chaire d'analyse numérique, où il intervenait régulièrement depuis 1960, et constitue une équipe de recherche qui atteindra une trentaine de personnes en 1970, centrée sur la numérisation des équations aux dérivées partielles. En même temps, Lions met ses compétences de mathématicien et d'organisateur au service du CEA et développe l'analyse numérique à l'université, puis à l'IRIA et à l'École polytechnique, formant de nombreux élèves qui essaient bientôt dans ces organismes.

L'Institut de programmation est confié depuis 1964 à Jacques Arsac, jusque-là chef du centre de calcul de l'observatoire de Meudon. Nommé maître de conférences *de programmation* à la faculté des sciences de Paris en 1964, puis titulaire de la *chaire de programmation* l'année suivante, avec l'appui du doyen Zamansky, Arsac en élargit progressivement le cursus à un enseignement complet d'informatique.

Les recherches en software se développent au centre de calcul, où une équipe dirigée par L. Nolin élabore à partir de 1965 un système d'exploitation en temps partagé sur l'IBM/360-40, en attendant une machine « cinquante fois plus puissante » (*sic*) promise par le V^e Plan¹⁰⁰. On réalise parallèlement divers compilateurs et un langage ATF (« à tout faire »...) fondé sur la théorie des automates et la logique combinatoire, dont une version « ATF-Gestion » avec la SEMA-SACS. L'étude des compilateurs entraîne un effort pionnier de formalisation de la sémantique par Nolin.

L'IBP reçoit deux ingénieurs venus du laboratoire central de l'Armement, Maurice Gross et Jacques Pitrat, qui mènent des recherches en linguistique

99 De Possel a présenté à la DGRST une demande de crédits « colossale » en vue de fabriquer des circuits intégrés à l'Institut Blaise Pascal, dans la perspective ambitieuse et totalement irréaliste d'un « laboratoire de recherches expérimentales sur les organes de machines » : « Son projet aboutissait à une véritable usine de semi-conducteurs ! Je le lui ai refusé amicalement : un tel projet était irréalisable au CNRS... et lui-même était la dernière personne capable de le diriger ! » (entretien avec André Blanc-Lapierre, 16 novembre 1994). De Possel se plaint de ce refus dans une lettre au ministre des Finances M. Debré (18 février 1966), avant de le rencontrer. Il est à contre-temps, car le gouvernement s'apprête à créer l'IRIA précisément pour faire ce genre de recherche hors du CNRS.

100 L. Nolin, « Une expérience de "temps partagé" », *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de Programmation, 4^e trim. 1967, p. 21-26. Cette modeste expérience de *time-sharing* (3 terminaux !) vaut à l'IBP une hostilité momentanée des commerciaux d'IBM, ce mode d'utilisation étant alors étranger à la stratégie de *Big Blue* – et peut-être mal adapté au 360-40 (entretien avec L. Nolin, 24 juin 1986). Toutefois un programmeur d'IBM y participe.

informatique et en intelligence artificielle ; d'autres polytechniciens suivent, attirés par l'encadrement doctoral de l'IBP. L'IBP compte en permanence 10 à 15 thésards préparant des doctorats de 3^e cycle ou d'État. Cl.-F. Picard, revenu de Lyon en 1967, s'intègre au groupe Schützenberger. Une partie des chercheurs émigreront à l'IRIA, à la suite de Louis Nolin éjecté de l'IBP en conséquence d'un rapport d'évaluation sévère sur le service de calcul.

En mai 1968, l'IBP n'est nullement « agité » : il est en grève à 100 %, l'assemblée générale des personnels reconduisant chaque jour la grève. Les salles des machines sont cadenassées pour protéger l'outil de travail. Parmi les revendications, l'IBP demande que la direction du CNRS revienne sur sa décision de séparer le service de calcul et les laboratoires de recherche. Un projet de statut est rédigé et voté en AG, visant à reconstituer l'ensemble sous le nom de « GRIFA » (Groupe de recherche en informatique fondamentale et appliquée) ; autogéré par un « Collectif de direction » de 12 élus du personnel (l'esprit de mai 68 n'empêche pas de distinguer soigneusement entre personnels chercheurs et techniciens), le laboratoire bénéficierait de dérogations aux règles administratives inadaptées, notamment de l'autonomie de gestion et d'un contrôle financier *a posteriori* ; les ordinateurs serviraient en priorité à la recherche informatique, ensuite seulement aux utilisateurs extérieurs¹⁰¹. Les moyens de calcul sont donc un enjeu majeur de conflit entre la recherche et le service, entre chercheurs et gestionnaires : « mai 68 » ne fait que confirmer ce différend déjà exposé dans de longues correspondances avec la direction du CNRS.

René de Possel n'a cessé de lancer des axes de recherche, par exemple en informatique médicale avec une équipe de l'hôpital Foch (Renaud Kœchlin) sur l'aide au diagnostic et la surveillance médicale, sujets d'une série de thèses d'université. Ayant perdu la direction de l'IBP après une reprise en main gestionnaire, il conserve un petit laboratoire de « Recherches avancées en moyens informatiques ». Il y passera les dernières années de sa vie à expérimenter une machine à lire, assisté de Jean Rivaillier et de Jean Suchard (ENS 1950, physicien reconverti dans le traitement de l'information et la cryptographie), dans le but à long terme de réaliser une machine capable de lire toute écriture, même manuscrite. D'autres applications sont étudiées : lecture de microfilms, interprétation d'images et de tracés, stimulées par des développements industriels similaires menés aux États-Unis.

L'origine du projet remonte à 1960, quand l'IBP avait reçu la tutelle du Centre d'études pour la traduction automatique et envisagé d'accueillir un

¹⁰¹ Résolution de l'AG du personnel de l'IBP, 4 juin 1968 (Archives Jean Delsarte, Institut Élie Cartan, Nancy, cote 2068, 5 p.).

vaste projet d'inventaire documentaire du Trésor de la langue française (les chercheurs en lexicographie étaient à Besançon et à Nancy, mais ne valait-il pas mieux installer le gros ordinateur Bull ou IBM à Paris, où existaient les compétences pour son exploitation et sa maintenance¹⁰² ?) : la mise au point d'une machine à lire et d'un système de reconnaissance de caractères devait automatiser la saisie des millions de pages nécessaires, tout en constituant un nouveau sujet de recherche en intelligence artificielle et un objet de développement hardware correspondant au goût personnel de R. de Possel pour les belles mécaniques¹⁰³.

Le Trésor de la langue française étant bientôt informatisé à Nancy sur Gamma 60, tandis que la traduction automatique s'oriente vers la recherche en linguistique, le projet de machine à lire a perdu une partie de sa justification technique. Toutefois son intérêt scientifique demeure. R. de Possel en réalise plusieurs versions qui, malgré une technologie dépassée, atteignent des performances surprenantes à la fin des années soixante, donc grâce à de bons algorithmes. Mais sans relations organisées avec les industriels qui en développent parallèlement :

M. de Possel a d'ailleurs un grand nombre d'idées qu'il n'a malheureusement jamais rédigées ou rassemblées dans des articles ou dans des notes donnant lieu à une prise de brevet. Il en parle à tout le monde, et certaines de ses idées ont été reprises ailleurs sans aucune protection¹⁰⁴.

Le CNRS avait déjà transformé l'IBP, début 1967, en une fédération de laboratoires et de centres de service sous le contrôle d'un administrateur commun, tout en gardant le nom « Institut Blaise Pascal » pour ne pas paraître supprimer un laboratoire-phare au moment où le gouvernement lançait le Plan Calcul¹⁰⁵. L'IBP est dissout en 1969, éclatant en plusieurs équipes de recherche¹⁰⁶.

¹⁰² Note de L. Nolin à Ch. Gabriel (dir. administratif au CNRS), « Trésor de la langue française. Inventaire documentaire préalable », 30 octobre 1961.

¹⁰³ R. de Possel, « Lecture automatique et problèmes de reconnaissance des formes. Un lecteur optique et les résultats qu'il a permis d'obtenir », *Automatisme*, septembre 1969, n° 12.

¹⁰⁴ CNRS, PV du Comité de direction, 9 décembre 1971, p. 4. Le CNRS cherche un compromis difficile entre deux désirs contradictoires : celui d'inciter ce grand savant qui a rendu de réels services à valoriser ses idées, et celui de tuer ce laboratoire.

¹⁰⁵ PV du CA du CNRS, 27 février 1967.

¹⁰⁶ P.-É. Mounier-Kuhn « The Institut Blaise Pascal : From Couffignal's Machine to Artificial Intelligence », *Annals of the History of Computing* vol. 11/4, décembre 1989 ; et « L'Institut Blaise Pascal du CNRS (1946-1969) », *De Bourbaki à la machine à lire, op. cit.*, p. 15-29. Jean Coulomb « Notice nécrologique de René de Possel-Deydier », *Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, Paris, 1975. La bibliothèque de l'ex-IBP est partagée entre le CIRCÉ et le laboratoire de J.-L. Lions. L'IBP sera reconstitué dans les années 1980 comme fédération de laboratoires de l'université Paris VI-Jussieu.



Ministère de l'Éducation nationale

CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT BLAISE PASCAL



Inauguration de la calculatrice électronique
C.D.C. 3.600

Le 2 mai 1966

23, rue du Maroc, Paris 19^e
205-99-21 +

290

Figure 31. Inauguration de la CDC 3600 de l'Institut Blaise Pascal (mai 1966)

Sous le regard impassible de Blaise Pascal, l'invitation à la cérémonie contient une présentation détaillée et un mode d'emploi pratique du centre de calcul de l'IBP : équipement, possibilités, compétences en analyse et programmation mises à la disposition des utilisateurs, références, thèmes de recherche. À part ce dernier point et l'aspect bricolé du prospectus, le contenu est semblable aux publicités des SSII de l'époque.

L'installation de cette machine, d'abord prévue pour juin 1964, est retardée de 18 mois par les mesures budgétaires de « refroidissement ». Obtenir un Control Data 3600, ce super-calculateur dont rêvent tous les informaticiens (100 fois plus rapide que l'IBM 704 : un calcul de 1 h 30 ne prend plus qu'une minute), cela ne va pas sans difficultés avec certains ministères et avec les constructeurs français. Mais de mystérieux appuis, haut placés dans l'administration, permettent de les surmonter et d'obtenir le budget nécessaire.

SOUS LA PRÉSIDENTICE DE M. CHRISTIAN FOUCHET
MINISTRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

MONSIEUR MARC ZAMANSKY
DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS
MONSIEUR JEAN TEILLAC
DIRECTEUR DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET LE COMITÉ DE LA CALCULATRICE

VOUS PRIENT DE LEUR FAIRE L'HONNEUR DE

PARTICIPER A **L'INAUGURATION DE LA CALCULATRICE CDC 3200/3600.**

LE 26 OCTOBRE 1966,
DE 17 H. 30 A 19 H. 30,
9, QUAI SAINT-BERNARD, PARIS (V^e).

Figure 32. Inauguration de la CDC 3600 de la faculté des sciences (octobre 1966).

Parallèlement à l'IBP du CNRS et quelque peu en rivalité de prestige avec lui, la faculté des sciences de Paris installe sur son nouveau terrain de Jussieu un centre de calcul servant principalement à la physique nucléaire, non à la recherche informatique. Un autre centre de calcul fonctionne depuis 1963 à la faculté des sciences d'Orsay, équipé d'un Univac 1107.

Tableau 13. Évolution de l'Institut Blaise Pascal

Institut Blaise Pascal (dir. : Joseph Pérès)			
1946	Laboratoire de calcul mécanique dir. : Louis Couffignal		Laboratoire de calcul analogique dir. : Lucien Malavard
1951	Colloque « Les machines à calculer et la pensée humaine »		
1952	Abandon de la machine de Couffignal		
1957	IBP fusionne avec ← Laboratoire de calcul numérique de l'Institut H. Poincaré (dir. R. de Possel)		
1959	Départ de Couffignal, absorption de son laboratoire par le LCN		
1960	Création du centre d'études de Traduction automatique : Sestier (Paris) et Vauquois (Grenoble)		
	Création de la section d'Automatique documentaire : Gardin, puis Gross (Paris et Marseille)		
	Création de deux chaires à la faculté des sciences de Paris : économétrie (Jean Ville), analyse numérique (R. de Possel)		
1963	Mort de Pérès ; R. de Possel dir. de l'IBP → Laboratoire de calcul analogique devient indépendant		
1963	Institut de programmation		
	Élections de Schützenberger, Lions et Arsac à la faculté des sciences de Paris → Chaires		
1966	Séparation du centre de calcul → CIRCÉ (Orsay)		
	Création du laboratoire RAMI (de Possel) au sein de l'IBP		
1969	Suppression de l'IBP, structure CNRS qui éclate en 4 laboratoires universitaires :		
	ERA 84 J. Arsac « Structures de systèmes informatiques » (CNRS Paris VII)	GR 22 Cl. Picard « Structures de l'information » (CNRS-Paris VI)	ERA 247 M. Gross Labo. d'automatique documentaire et linguistique (CNRS-Paris VII)
			ERA 295 M. Nivat (1972) (+ Nolin, Schützenberger) « Informatique théorique » (CNRS-Paris VII)

En 1969, la faculté des sciences de Paris se transforme en deux universités installées sur le campus de Jussieu : Paris VI accueille un cursus informatique complet, avec maîtrise et DEA, tandis que Paris VII ne l'enseigne que comme matière à option pour étudiants de mathématiques, dans une approche plus théorique. Toutefois, l'Institut de programmation et la plupart des nouvelles équipes de recherche s'installent à Paris VII. Nous reverrons plus loin d'autres aspects de l'informatique parisienne, avec le CNAM et les Grandes Écoles.

Parmi les universités de lettres et de sciences humaines, quelques pionnières s'intéressent à l'emploi de l'informatique à la fin des années 1960. L'économie, la sociologie, l'archéologie, les sciences du langage emploient déjà la mécanographie pour dépouiller des enquêtes, produire des statistiques ou tester des modèles. Les précurseurs ont été les linguistes des facultés des lettres de Besançon et de Nancy¹⁰⁷, et à Paris l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS, hors université) qui, sous la direction de Fernand Braudel, s'est dotée d'un centre de calcul vers 1965 ; on envisage d'en faire une section de l'Institut Blaise-Pascal et de le doter d'un gros CII 10.070, espoirs qui seront révisés à la baisse après 1968. Paris IV crée dès 1968 une unité d'enseignement et de recherche scientifique

¹⁰⁷ B. Quemada, « Au service de la lexicographie française : de la mécanographie au GAMMA 60 », 2^e Colloque sur l'Histoire de l'Informatique en France, Paris, CNAM, avril 1990, vol. 1, p. 331-336.

« Mathématiques, logique et informatique », initialement en lien étroit avec Paris V pour des raisons tenant à la fois aux hommes et au partage de locaux dans la Sorbonne. Elle est dirigée par Marc Barbut, mathématicien et docteur en sciences sociales, venu de l'ISUP et de l'EHESS, qui anime le Centre de mathématiques sociales et a fondé la revue *Mathématiques et sciences humaines*. Il s'agit non seulement d'apprendre aux étudiants l'usage d'un outil de recherche, mais d'injecter dans leur formation une technique favorisant leur « employabilité » future. Paris IV ne possédant alors pas d'ordinateur, il faut aller faire tourner les programmes au centre de calcul du CNRS, jusqu'à l'installation d'un terminal en 1973. Les volontaires sont donc encore peu nombreux ! Cette unité deviendra plus tard l'Institut des sciences humaines appliquées (ISHA).

Lille : université et enseignement catholique¹⁰⁸

292

Le dynamisme industriel de Lille s'est traduit dès le début du XIX^e siècle par une volonté locale de développer des enseignements appliqués. Contrairement à Grenoble, à Toulouse et à Nancy, Lille ne possède toutefois pas d'ENSI. L'Institut d'électromécanique s'est difficilement relevé de la destruction de ses bâtiments durant la Première Guerre mondiale. L'Institut Radiotechnique de la faculté des sciences, créé en 1931 comme École de radioélectricité, a été très diminué par la défaite de 1940 et l'occupation. Cependant il s'est reconstitué à la fin des années quarante pour former des ingénieurs (l'effectif dépasse bientôt la centaine d'élèves) et entreprend des recherches en électronique et sur les phénomènes diélectriques. Il demande apparemment peu de calcul et de mathématiques appliquées, en tout cas il ne joue pas un rôle moteur dans leur développement. De même, l'Institut de mécanique des fluides, qui existe à Lille depuis 1935, est très actif mais dans une tradition expérimentale où le principal outil mathématique reste la règle à calcul.

Par ailleurs, beaucoup d'étudiants se sont tournés vers l'enseignement technique privé. Lille se distingue en effet par la coexistence de l'université d'État et d'un dynamique ensemble d'établissements confessionnels : faculté catholique, école catholique d'Arts et Métiers, plus tard Institut supérieur d'électronique du Nord (ISEN). Se livrant à une stimulante émulation plutôt qu'à une guerre scolaire permanente, l'université et l'enseignement confessionnel coopèrent, joignant souvent leurs potentiels pour développer les sciences appliquées, gourmandes en locaux et en appareillages. Statutairement, les étudiants de « la catho » doivent

¹⁰⁸ L'essentiel des informations qui suivent provient d'une enquête menée à Lille avec Michel Grossetti en 1993, qui a donné lieu à un rapport sur « Les sciences appliquées à Lille de 1818 à nos jours » ; et d'historiques bien documentés, rédigé notamment par M.-T. Pourprix, Yves Leroy et P. Vidal et mis en ligne par l'Association de solidarité des anciens de l'université des sciences et technologies de Lille. Voir M.-T. Pourprix, *Des mathématiciens à la faculté des sciences de Lille : 1854-1971*, Paris, L'Harmattan, 2009.

passer examens et concours nationaux dans l'université. Quant aux enseignants, ils semblent passer assez facilement de l'un à l'autre système, certains professant dans les deux à la fois. C'est ainsi que l'Institut électromécanique de la faculté et l'ISEN coopèrent à partir de 1956 dans l'enseignement de l'automatique.

Lille est un cas rare où la création d'enseignements de mathématiques appliquées vient des mathématiciens purs. Ce phénomène s'explique à la fois par l'absence de sollicitation initiale venant des instituts techniques, par le contexte de réorganisation de la faculté et par l'arrivée de jeunes enseignants issus de l'École normale supérieure, tel Michel Parreau :

Nous sommes arrivés, trois copains en même temps. Descombes est arrivé le premier en 1954 comme assistant. C'est un camarade de promotion de Georges Poitou. Poitou (ENS 1945) est arrivé l'année suivante [...] Et comme nous étions très liés [tous deux avaient été attachés de recherche au CNRS et représentants des chercheurs à la commission de mathématiques pures], il a souhaité que je vienne ici. [...] Nous arrivions, avec à peu près le même âge et toutes les places étaient devant nous. Les effectifs étaient en pleine croissance : je me souviens d'avoir vu le responsable de la chaire de calcul [*sic*] en 1957-1958, complètement effaré à une rentrée, me dire qu'il avait 60 étudiants alors qu'il en avait 12 l'année précédente. Nous avons recruté, fait créer un centre d'enseignement de géométrie supérieure, un enseignement de probabilités, des enseignements d'algèbre...

Une fois en place, la jeune équipe décide de constituer des enseignements de mathématiques appliquées, renforçant ceux qui existaient déjà pour les physiciens : « Poitou avait toujours eu le goût des mathématiques appliquées. Les mathématiciens de ma génération étaient très conscients que nos disciplines étaient très théoriques et qu'il y avait besoin de développer les maths appli ». Poitou, qui a dû effectuer d'assez lourds calculs pour sa thèse, est convaincu de l'intérêt pour les mathématiques de pouvoir automatiser de gros calculs¹⁰⁹.

Ces orientations nouvelles rappellent beaucoup l'état d'esprit d'un Kuntzmann à Grenoble, aîné dont Poitou sollicite amicalement les conseils. Elles sont soutenues par les mécaniciens : Paul Germain, professeur à Lille de 1954 à 1958, élève de Joseph Pérès, et qui devient en 1962 directeur de l'ONERA ; Kampé de Fériet, titulaire de la chaire de mécanique des fluides, qui introduit dans ses cours des conférences sur la théorie de l'information et la cybernétique.

Pour le calcul numérique, c'est encore un normalien qui est mis à contribution en 1959 : Jean-Claude Herz (ENS 1946), camarade de Poitou, est devenu l'un des responsables scientifiques d'IBM France. Très désireux de garder des contacts avec

¹⁰⁹ Témoignage de Lucile Begueri, veuve de Georges Poitou, auprès de Catherine Goldstein, mars 2001.

l'enseignement, il participe depuis 1957 à l'enseignement des mathématiques appliquées à Toulouse. Lille étant plus près de Paris, il y vient sur un demi-poste de maître de conférence – comme professeur associé, dirait-on aujourd'hui – et se spécialise dans l'algorithmique et la combinatoire. « C'est vraiment lui qui a lancé le calcul numérique ici »¹¹⁰. Un doctorant-ingénieur, Y. Cherruault, renforce les cours d'analyse numérique. Les cours de recherche opérationnelle sont assurés à partir de 1962 par un conseiller scientifique d'EDF, Pierre Huard de la Marre, qui a fait sa thèse au laboratoire de calcul analogique Pérès-Malavard et enseigne également l'optimisation à l'ENSAE à Paris. Plus axé sur la logique mathématique alors renaissante en France, Daniel Lacombe, assistant de Poitou qui participe régulièrement aux séminaires parisiens de Ville et de Kreisel, publie les premiers travaux français sur la théorie des fonctions récursives, mais retourne bientôt à Paris. Herz, qui enseigne l'analyse numérique jusqu'à l'arrivée de Pouzet, se consacre ensuite à la logique dans le cadre du certificat d'études supérieures de Logique et Programmation.

Pour compléter ces enseignements par des TP, il faut s'équiper en machines. Michel Parreau, élu doyen en 1961, obtient les crédits *ad hoc*. La faculté acquiert d'abord une vingtaine de machines électromécaniques, puis un Bull Gamma ET autour duquel s'organise un laboratoire de calcul. Sous la responsabilité de Poitou, il est dirigé par son assistant Jean Bosmorin, issu de l'Institut industriel du Nord (future École centrale de Lille) et qui s'est formé à la programmation en passant deux mois au centre de calcul d'IBM France où il a pu traiter les équations nécessitées par sa thèse. Le centre de calcul doit faire face à un afflux croissant d'étudiants attirés vers ce nouveau domaine d'activité.

La faculté bénéficie à ce moment-là de l'arrivée de deux enseignants de Strasbourg. L'un, Pierre Bacchus (ENS 1945), physicien et astronome soucieux d'instrumentation, s'est formé à l'utilisation du Gamma ET et pousse au développement du calcul scientifique¹¹¹. L'autre, Pierre Pouzet, diplômé de l'université de Grenoble et doctorant en calcul numérique, prend en charge les enseignements de ce domaine, puis l'essentiel de la recherche en informatique. Tous deux développent un langage symbolique « APB » pour faciliter les travaux pratiques de programmation sur Gamma ET, puis sur IBM 1620 : APB s'inspire à la fois d'Algol et de l'assembleur AP2 Bull, et a la même vocation pédagogique

¹¹⁰ Correspondance (27 mai 1993) et entretien (6 juillet 1993) avec M. Parreau. J.-C. Herz enseigne aussi à Grenoble.

¹¹¹ P. Bacchus est décrit comme un exceptionnel pédagogue, d'esprit très ouvert et donnant facilement aux étudiants l'accès à l'observatoire, fort actif : membre du jury du concours d'entrée de l'École normale supérieure, professeur à l'IDN et professeur associé au CNAM de Lille, il ne suit pas moins assidûment ses périodes d'officier réserviste de la Marine !

que son contemporain Basic¹¹². Ils développent ensuite un « Algol Q » améliorant la précision arithmétique. Ces travaux les intègrent dans la recherche informatique européenne et contribuent à renforcer l'analyse numérique à Lille. Un troisième cycle en mathématiques appliquées démarre en 1963 sous la direction de Pouzet.

Le rapport national de conjoncture publié en 1964 par le CNRS classe Lille parmi les quatre « gros centres » français qui « sont vraiment capables d'entreprendre des recherches élaborées, sur un très gros matériel, et de diffuser valablement un enseignement à des niveaux élevés et à un nombre suffisant d'étudiants. » Le plan d'équipement qui conclut ce rapport demande un gros ordinateur (15 MF) pour Lille¹¹³. Le laboratoire de calcul de Lille est créé officiellement à cette date, 1964, et obtient bientôt un Bull M40 fonctionnant en *time sharing*. Il travaille à la fois pour les autres laboratoires de la faculté, notamment pour l'Institut de radioélectricité et d'électronique, et pour des clients extérieurs. Un département de mathématiques appliquées est créé en 1966, sous la direction de Bacchus, dans la nouvelle faculté des sciences de Lille à Villeneuve-d'Ascq. La licence d'informatique sera instituée en 1968, le troisième cycle s'organisant progressivement autour des laboratoires.

L'Automatique à Lille

Parallèlement, un certificat d'Automatique appliquée a été créé en 1958, à l'initiative conjointe du professeur titulaire de la chaire de Physique et électricité industrielle, Roger Dehors, et du directeur de l'Institut de mécanique des fluides, André Martinot-Lagarde. Les candidats sont encouragés à suivre chez les mathématiciens les cours et les TP de calcul numérique et analogique.

Dehors propose la création d'un Institut de recherche en automatique. Il obtient seulement quelques crédits et la création en 1963 d'une maîtrise de conférences. Il lui faut trouver un docteur ès sciences capable d'enseigner les bases de l'électronique industrielle et des asservissements, espèce qui ne pullule pas à l'époque. Là aussi, c'est dans l'un des pôles pionniers qu'il trouve l'oiseau rare : à Toulouse, où le laboratoire de génie électrique lui présente Pierre Vidal. Celui-ci, encore en plein service militaire, obtient en 1964 l'autorisation de faire cours à la faculté des sciences de Lille chaque fin de semaine et commence à constituer un laboratoire. Soutenue par l'Enseignement supérieur et la DGRST (action concertée Automatisation), la nouvelle discipline attire aussitôt un doctorant et deux assistants de l'Institut électromécanique. L'enseignement de l'automatique s'étend au 3^e cycle dès 1965. Le laboratoire collabore avec l'industrie textile et sidérurgique, ainsi qu'avec la

¹¹² P. Bacchus et P. Pouzet, « Autoprogrammation pour calculateur Bull Gamma ET : APB », *Chiffres, Revue française de traitement de l'information*, 1964, n° 1, p. 3-14.

¹¹³ CNRS, Rapport national de conjoncture scientifique 1964, section 3 (Mécanique générale et mathématiques appliquées), p. 100 et 109. Aucun Lillois ne siège alors dans cette commission.

faculté de Médecine. Quand l'Institut électromécanique est transformé en Institut d'automatique par la faculté en mai 1967, il a déjà produit plus de 30 publications et 2 thèses de docteur-ingénieur dans les domaines du calcul analogique hybride et de l'automatique théorique ou appliquée.

L'équipe assure l'enseignement de l'automatique à la fois à la faculté des sciences (certificats d'Automatique supérieure, maîtrise, 3^e cycle) et dans la section d'ingénieurs automaticiens de l'Institut industriel du Nord. Elle se charge également de l'enseignement du calcul analogique et hybride de la maîtrise d'informatique. De plus elle rayonne et commence à son tour à essaimer : sous l'impulsion de Ph. Olmer, ancien patron de Supélec devenu directeur de l'Enseignement supérieur, le CNRS crée à Paris en 1967 un laboratoire de génie électrique, composé de 4 équipes dont une en automatique dirigée par P. Vidal. Celui-ci, avec ses assistants, enseigne l'automatique à l'université de Paris, ainsi qu'à la faculté des sciences appliquées de Liège. L'année suivante, il obtient la création d'une chaire d'Automatique, tandis qu'un de ses élèves, F. Laurent, soutient la première thèse de doctorat d'État dans cette discipline.

296

L'ISEN ou « l'effet Segard »

Norbert Segard était issu de la faculté catholique de Lille, « la Catho », où il avait été nommé professeur en 1954 après sa thèse de physique – il en sera le doyen de 1963 à 1973. Spécialiste d'électronique, il conçoit un projet d'école qui aboutit à la création quasi simultanée de l'Institut supérieur d'électronique de Paris (ISEP) et de l'Institut supérieur d'électronique du Nord (ISEN) en 1956. Recrutant de jeunes enseignants parmi les meilleurs étudiants de la Catho et sachant obtenir l'aide matérielle des entreprises, Segard donne rapidement à l'école une forte connotation « recherche » avec notamment des travaux sur les ultrasons (système sonar acheté par la Marine américaine). Au cours des années 1960, N. Segard s'impose comme un grand dirigeant et porte-parole de la formation des ingénieurs. La décennie suivante le voit entreprendre une carrière politique : député du Nord, ministre du Commerce extérieur, secrétaire d'État aux PTT.

Très vite l'ISEN lance des enseignements sur les asservissements, d'abord dispensés par un ingénieur parisien, puis par un jeune enseignant de l'école, A. Desfontaines, qui fait une thèse au Centre de programmation de la Marine avec M. Pélegrin, dans le cadre du développement du système SENIT d'information et de commandement. Par la suite, Desfontaines gardera des contacts avec le CERA (Centre d'études et de recherches en automatique) de M. Pélegrin. Certains étudiants de l'école vont suivre les DEA de la faculté, font des thèses et reviennent enseigner à l'école. L'option Informatique industrielle-Automatique, créée en 1972, attirera le quart des étudiants de l'ISEN, auxquels elle assurera d'excellents débouchés.

Jusqu'au milieu des années soixante, l'enseignement de l'informatique est encore peu de chose, selon le témoignage d'un élève diplômé en 1965 : « À l'ISEN j'avais eu 8 h de calcul numérique, j'avais vu ce qu'est un jeu d'instructions... mais aucun TP ! »¹¹⁴.

Tableau 14. Équipement informatique de l'enseignement supérieur lillois

	Université	IDN (Centrale Lille)	ISEN	IUT
1961	Bull Gamma ET	Mat. mécanographique		
1963	IBM 1620	SEA Nadac 20 analogique ¹¹¹	Ordinateur de Cordonnier	
1967	Bull Gamma M40	Mat. Philips-Honeywell	IBM 1130	
1970	CII 10.070		Intertechnique Multi 8	IBM/360-25
	CII Iris 10		IBM 370-115 à cartes	Philips mini "Bami"
1975	CII-HB Mini 6		IBM 370-148	IBM/360-40
			SEMS Solar	
1980s	Bull DPS 8		IBM 3090 vectoriel	
	Control Data Cyber...			

À l'université, l'IBM 1620 est en libre service en Algol, Fortran et assembleur, pour les étudiants de licence de mathématiques appliquées.

L'université de Lille affirme être « la 1^{ère} en Europe continentale » à introduire l'usage du *time-sharing* dans l'enseignement de l'informatique, avec dix consoles reliées à un ordinateur à Paris¹¹⁶.

Vers 1970, l'université achète aussi un Bull Gamma 30 pour 1 franc symbolique à une banque de la région. Cet ordinateur n'ayant pas de disque, son compilateur Cobol est sur bande magnétique. La compilation d'un « petit » programme Cobol prend environ 20 minutes. Cette machine périmée ne peut être utilisée pour l'enseignement et ne servira pas à grand chose.

La situation change rapidement par la suite, d'autant que l'ISEN est l'un des très rares établissements français d'enseignement supérieur à construire un ordinateur dans les années soixante, et à acquérir ainsi une compétence en architecture informatique. Vincent Cordonnier, élève de la première promotion de l'école, a consacré en 1962 son diplôme d'études supérieures aux mémoires à tores, en utilisant des ferrites IBM produites à Corbeil. Son doctorat porte sur la conception d'un ordinateur proche de l'IBM 1410, sous la direction de J. Arzac, responsable de l'Institut de programmation de Paris. La machine, construite par Cordonnier dans les locaux de l'ISEN (département d'automatique), est dotée d'un compilateur Snobol et servira jusqu'en 1975 comme calculateur pédagogique pour les TP d'informatique. Ce travail coïncide avec la création du département d'informatique de l'ISEN, qui acquiert de petits ordinateurs

¹¹⁴ Entretien avec Christian Ryckeboer, 1997. Celui-ci, qui a passé parallèlement sa licence ès sciences à la faculté, travaillera chez Alcatel, à la CII et chez Digital Equipment.

¹¹⁵ L'IDN possède en 1964 « trois calculatrices dont une numérique » (*Automatisme*, Paris, septembre 1964, p. 353). Outre le matériel des établissements d'enseignement, les étudiants et les professeurs peuvent profiter des ordinateurs de plusieurs entreprises de la région : CAB 500 des Charbonnages, IBM 650 installé à La Redoute depuis 1958, etc.

¹¹⁶ *Informatique et Gestion*, Paris, janvier 1969, n° 4.

IBM, puis Intertechnique. Ces ordinateurs serviront pour les travaux pratiques des autres écoles de la Catho. C'est dans le cadre de l'ISEN que naît l'entreprise Léanord (laboratoire d'électronique et d'automatique du Nord), l'un des plus anciens *start-ups* français dans ce secteur. L'animateur est Bernard Pronier, qui en deviendra PDG en 1972. Ce centralien, licencié ès sciences, passé par le laboratoire de recherches balistiques de l'Armement de Vernon, puis par Philips-Coprim, est appelé par N. Segard à enseigner la physique du magnétisme. Léanord voit le jour en 1960 dans les locaux de l'institut, avec un statut convenant à sa vocation : la recherche sous contrat, appliquée aux problèmes d'asservissement.

Le projet a été mûri à la Catho. On voulait moderniser le tissu industriel, qui en était encore à l'électromécanique, à peine ! Léanord a été d'emblée une entreprise, vouée à résoudre des problèmes que nous poserait l'industrie traditionnelle, dans des domaines où elle n'avait aucune capacité propre ; pour cela, nous avons besoin de rester en contact avec la recherche universitaire¹¹⁷.

298

Léanord se lancera dans la micro-informatique au milieu des années soixante-dix.

Clermont-Ferrand

Clermont-Ferrand est une variante un peu plus tardive de la configuration lilloise. Dans cette faculté, caractérisée par une forte tradition mathématique, apparaît dès 1961 une petite activité en calcul numérique autour d'un maître de conférences arrivé trois ans plus tôt, Paul-Louis Hennequin (ENS 1949). Celui-ci donne un coup d'envoi spectaculaire à cette activité en organisant l'année suivante un colloque international à l'occasion du tricentenaire de la mort de Blaise Pascal¹¹⁸. Il constitue, avec son élève Claude Bonnemoy, une équipe de mathématiciens intéressés par le calcul et l'analyse numérique. Sa démarche est celle d'un probabiliste qui cherche à élaborer des modèles de propagation des erreurs, et aussi à « ne pas rater le développement du calcul »¹¹⁹. Il obtient l'acquisition par la faculté d'un petit calculateur PB 250, tandis que le laboratoire de physique nucléaire s'équipe d'un IBM 1620. Les deux

¹¹⁷ Entretien avec B. Pronier, juin 1993.

¹¹⁸ Le colloque comporte quatre sessions : Logique, Analyse numérique et calcul automatique, Probabilités, Géométrie différentielle et physique mathématique, couvrant les domaines d'activité de B. Pascal. Parmi les conférenciers étrangers, le logicien A. Tarski (Berkeley), et A. Walther (Darmstadt) qui présente « De Pascal et Schickard au calcul électronique ». Les actes sont publiés dans les *Annales de la faculté des sciences de l'université de Clermont*, série Mathématiques, 1962, vol. 7 et 8.

¹¹⁹ Entretien avec P.-L. Hennequin. La faculté des sciences de Clermont est l'un des pôles de la recherche mathématique française, notamment de l'archipel Bourbaki, et publie les *Annales mathématiques Blaise Pascal*. L'équipe est rejointe par Marcel Guillaume, logicien qui a fait sa thèse sous la direction de Pierre Samuel.

mini-ordinateurs sont bientôt rassemblés pour former un centre de calcul, dont les physiciens sont les principaux « clients ». Apparemment, aucune demande de calcul ou de recherche en ce domaine n'émane de l'environnement clermontois, école d'ingénieur ou industrie locale.

Hennequin dirige la réalisation d'un compilateur Algol pour IBM 1620 et de divers programmes mathématiques (fonctions aléatoires, processus de Markov), avec le soutien du CNRS (RCP 30) et de la DGRST (un contrat d'action concertée en 1964). Les relations sont étroites avec l'équipe grenobloise de Kuntzmann. D'autres travaux de mathématiques appliquées sont effectués sous contrat de la DRME pour le traitement du signal.

En 1966 ce groupe, devenu laboratoire de calcul de la faculté de Clermont, demande son association au CNRS, avec un dossier présentant ses moyens humains plus que matériels¹²⁰ :

- Une dizaine d'enseignants chercheurs (3 maîtres de conférences, 8 assistants ou maîtres-assistants), un contractuel DGRST.
- Des crédits d'équipement et de fonctionnement d'environ 60 kF, venant de l'enseignement supérieur, du CNRS et marginalement du CNAM, essentiellement pour les deux calculateurs Packard-Bell et IBM.
- Une dizaine de collaborateurs techniciens, payés presque tous sur contrats CNRS et DGRST.

L'équipe Hennequin obtient l'association au CNRS sous un intitulé résolument mathématique, « Méthodes probabilistes et analyse numérique »¹²¹. Elle hérite en 1967 des anciens IBM 1401 et 7044 de l'IMAG, devenant un centre de calcul universitaire moyen assez bien équipé et encadré pour mener ses recherches en les ouvrant à la théorie de l'information, au codage et aux problèmes d'interfaces systèmes. Et assez attractif pour attirer des renforts. L'IMAG a aidé à former les Clermontois et facilité le transfert et la mise en route du 7044. L'équipe est « encore renforcée par la venue à Clermont de deux maîtres de conférences ayant la pratique de cet appareil »¹²². En 1970 arrive de Grenoble un maître de conférences, Alfred Auslender, qui développera pendant 23 ans les mathématiques appliquées (optimisation), tout en participant à une durable coopération en ce domaine avec le Chili, avant d'être nommé à l'université de Paris. Parallèlement l'IUT de

¹²⁰ IMAG 25 (contrats et RCP 1963-1977).

¹²¹ L'ERA Hennequin relève de la section 2 du CNRS (Physique mathématique, probabilités, statistiques), non de la section 3 (Mathématiques appliquées) où sont inscrits la plupart des « informaticiens » ; celle-ci a elle aussi donné un avis favorable à demande d'association de l'équipe clermontoise : 11 oui, 5 non (PV de la s. 3, 27 octobre 1966).

¹²² Hennequin bénéficie aussi de l'appui des Parisiens, ainsi Arzac le conseille pour monter son dossier de demande d'équipement destiné au Ministère et à la commission des marchés (Arch. Nat. F17 bis, 14258, art. 7).

Clermont constitue un département d'informatique autour d'enseignants venus de Grenoble et de Paris, comme Paul Scioldo-Zurcher, étudiant de physique venu à l'analyse numérique par ses relations avec Jean Kuntzmann et qui fait une thèse sur l'optimisation des transports en commun.



Figure 33. IBM 7044 (1966)

Au milieu des années soixante, les principaux centres universitaires français sont bien équipés avec des ordinateurs de cette classe. Pour rentabiliser ces ressources rares et chères, l'exploitation est centralisée et un contrôle serré s'exerce sur les utilisations comme sur les utilisateurs. Gros équipement, salle climatisée, équipes de techniciens, exploitation planifiée : la « science lourde » a fait irruption dans les mathématiques. Elle coïncide avec la massification de l'enseignement. Elle n'entraîne pas pour autant la disparition des pratiques scientifiques « artisanales », des petites équipes ou des recherches individuelles dont la thèse est l'archétype. D'autant que la diffusion de mini-ordinateurs et bientôt de terminaux distants, véritables ordinateurs personnels avant la lettre, permet la coexistence de plusieurs modes d'utilisation des machines informatiques.

(crédit photo : IMAG. Université de Toulouse et Archives Jean Dieuzaide)

Paris, Lille et Clermont relèvent bien de logiques endogènes, suivant la définition que nous avons proposée plus haut : les trois facultés recrutent des mathématiciens qui développent l'enseignement et la recherche en mathématiques appliquées et acquièrent des ordinateurs. Il en va différemment des universités qui, des années plus tard, feront venir des *informaticiens* pour acclimater la nouvelle discipline.

B. LOGIQUES EXOGÈNES : RATTRAPER LE RETARD

Les pôles précurseurs étant constitués (Grenoble, Toulouse, Nancy, Paris, Lille), ils bénéficient au milieu des années soixante d'un avantage important. Leurs responsables contrôlent le développement de la discipline au sein des instances nationales : ils siègent au Comité consultatif des universités, à la

DRME, au Comité national de la recherche scientifique¹²³, à la DGRST et au Commissariat général du Plan – Jean Kuntzmann préside le comité d'action concertée « Calculateurs » de la DGRST et le groupe « Applications aux machines à calcul » de la Commission permanente de l'électronique du Plan ; Michel Laudet dirige l'Institut de recherche en informatique et automatique (IRIA), créé en 1967 dans le cadre du Plan Calcul. Ils disposent des plus puissants ordinateurs, argument décisif vis-à-vis des chercheurs. Ils ont de surcroît accumulé des fonds documentaires – ouvrages français ou étrangers, collections de revues, nombreuses thèses de leurs propres étudiants – concentrant des ressources cognitives rares. En croissance continue, ils absorbent eux-mêmes les docteurs qu'ils ont formés, rendant difficile l'essor de nouveaux pôles.

Cette centralisation est perpétuée par l'adoption des équipements les plus puissants, jugés plus rentables que des centres de calcul moyens ou petits, selon la « loi de Grosch »¹²⁴. Comme l'indiquera en 1971 un rapport du CIRCÉ (CNRS-Orsay), *benchmarks* à l'appui :

Plus la machine est puissante, plus le prix de revient d'un calcul diminue. [...] Le prix de revient d'un calcul scientifique [...] est de 6 à 10 fois plus élevé sur un 65 [machine moyenne IBM] que sur un 195 [très grosse machine]. [...] L'ensemble [IBM] 360/50-75 du CIRCÉ (malgré les défauts qu'il peut avoir) a permis aux chercheurs français d'être compétitifs dans ces secteurs de pointe [physique théorique, chimie quantique, spectroscopie]. Des théoriciens français, qui avaient pris l'habitude d'aller passer plusieurs mois chaque année aux États-Unis où ils disposaient de calculateurs, sont restés en France et, pour la première fois, ce sont leurs collègues américains de Berkeley et d'Argonne qui sont venus et utilisent le CIRCÉ. Il est inutile d'insister sur le bénéfice qu'en retirent les laboratoires pour la formation des jeunes chercheurs¹²⁵.

Un rééquilibrage s'amorce à partir de la fin des années soixante, lorsque les grands centres pionniers ne peuvent plus intégrer tous leurs jeunes chercheurs. Leur croissance atteint alors un palier, comme l'ensemble de la recherche et de l'enseignement supérieur à l'époque. D'autre part le Plan Calcul favorise la multiplication des centres d'informatique, permettant à diverses universités d'offrir

¹²³ Entre 1963 et 1970, pendant deux mandats du Comité national, l'informatique est représentée dans les commissions du CNRS par sept parisiens (surreprésentation normale à l'époque), quatre grenoblois, trois toulousains, un nancéen et deux « autres » (un bisontin, un rennais).

¹²⁴ Herbert Grosch, un homme à idées d'IBM, a théorisé au milieu des années cinquante le constat que la puissance d'un processeur varie proportionnellement au carré de son prix et qu'il est donc plus rentable, pour l'utilisateur, d'avoir un ordinateur puissant.

¹²⁵ CIRCÉ, *Justification de la demande de crédit du CNRS pour le CIRCÉ*, 1971, p. 10, Arch. nat. 85/0505-140).

des situations attrayantes. Les centres de calcul moyens ou petits fondent leur argumentation sur la nécessité de former des informaticiens sur tout le territoire. Des essaimage commencent, essentiellement à partir de Grenoble et de Paris, à la demande d'universités désirant combler leur retard en la matière ou à l'initiative des « essaimants » eux-mêmes. L'analyse de différents cas permet de saisir, d'une part les logiques qui y ont entravé le développement de la recherche en informatique dans la phase initiale, d'autre part les processus de rattrapage ultérieurs.

a. Des débuts avortés

302 À Strasbourg, dans le bipôle Nantes-Rennes et à Besançon, l'informatique semble se développer d'abord comme dans les pôles précurseurs, mais une rupture à un moment clé du processus fait avorter celui-ci. À Strasbourg, l'arrêt du développement endogène en 1961 provoque une stagnation durable de la recherche en informatique. Nantes prend un bon départ, mais c'est finalement selon une logique exogène que l'informatique connaîtra plus tard un véritable essor, à Rennes. À Besançon, la petite équipe réunie vers 1960 perd son animateur au bout de quelques années.

Strasbourg et les relations franco-allemandes

Le directeur de l'Observatoire astronomique de Strasbourg, Pierre Lacroute, entrevoit à la fin des années cinquante la possibilité d'utiliser les ordinateurs pour effectuer les calculs très ardues exigés en astrométrie – il entreprend une opération importante, le catalogue informatisé stellaire et galactique. Il obtient de Bull la location à prix modéré d'un calculateur Gamma 3. Pour faire fonctionner la machine, Lacroute recrute des collaborateurs techniques ainsi qu'un jeune astronome, Pierre Bacchus, qui se passionne pour le Gamma¹²⁶. La petite équipe est renforcée par Pierre Pouzet, un mathématicien spécialiste du calcul numérique (il achève une thèse sous la direction de Kuntzmann à Grenoble), sollicité par Lacroute pour coordonner les travaux réalisés sur la machine et instaurer un certificat de calcul numérique. Le Centre de calcul électronique de la faculté des sciences est inauguré le 22 novembre 1960.

Ainsi, entre 1959 et 1961, la structure mise en place à Strasbourg est très semblable à celles qui existent depuis peu à Grenoble et à Toulouse : un calculateur géré par une équipe technique au service de la communauté

¹²⁶ « J'avais été immédiatement séduit par ce nouvel engin, et je me suis rapidement mis à y passer mes journées, voire mes nuits, tant pour les travaux astronomiques que pour collaborer avec les uns et les autres – et aussi pour apprendre cette nouvelle discipline. Je n'avais évidemment d'autre formation que ma culture générale scientifique [Bacchus est normalien, agrégé de physique], et j'ai tout appris sur le tas. Pouzet, qui avait suivi je crois un stage de formation à l'ordinateur, m'y a aidé ; les techniciens de Bull, qui étaient en permanence derrière la machine, m'ont été très précieux » (entretien avec P. Bacchus).

scientifique ; des enseignements de mathématiques appliquées ; des travaux de recherche avec la thèse de P. Pouzet. Mais une importante bifurcation se produit quand Bacchus et Pouzet partent, respectivement en 1961 et en 1962. Bacchus obtient une chaire à Lille. Pouzet, qui n'a pu obtenir un poste de professeur à Strasbourg après la soutenance de sa thèse¹²⁷, semble-t-il, décide de rejoindre son collège à Lille où sa venue est sollicitée par les mathématiciens locaux, qui viennent de créer des enseignements de mathématiques appliquées et d'acquérir un ordinateur (voir plus haut)¹²⁸.

Le départ simultané de ces deux chercheurs pose un certain nombre de problèmes. On doit les remplacer, dans le certificat de calcul numérique, par divers enseignants venus d'autres universités ou d'autres disciplines. Ce départ sonne, pour un temps, le glas de la recherche qui aurait nécessité la création d'un poste de professeur de calcul numérique. Strasbourg ne joue donc pas, en informatique, son rôle traditionnel de carrefour entre la science française et la science allemande.

Il est vrai que ce n'est pas l'Allemagne qui est en pointe dans ce nouveau domaine, mais l'Angleterre, et l'on peut se demander si ce facteur négatif n'a pas joué dans le désintérêt strasbourgeois. À l'époque, dans le domaine informatique, on ne rencontre plus de « modèle allemand ». Les recherches allemandes sur le calcul ou l'automatique (Walther, Zuse, Schmidt, etc.) sont loin d'avoir la même visibilité que les réalisations anglo-américaines après la seconde guerre mondiale (elles gardent toutefois leur rayonnement en analyse numérique)¹²⁹. Des spécialistes allemands du calcul et de la mécanique des fluides ont été conduits à s'installer en France dans les années de la reconstruction, mais ils travaillent dans des laboratoires militaires et ont peu de contacts avec le milieu académique. Les chercheurs allemands de l'Institut des recherches techniques de Saint-Louis (ISL), qui acquiert en 1955 le calculateur Z 4 construit par Konrad Zuse en 1944, fréquentent assidûment les réunions scientifiques organisées outre-Rhin par la Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM), non

127 P. Pouzet n'a pu être interrogé, mais il semble que les responsables de la faculté n'étaient pas favorables au recrutement d'un spécialiste des mathématiques appliquées.

128 L'autre discipline qui nécessitait du calcul massif, la physique nucléaire, n'a pas joué à l'époque de rôle moteur dans le démarrage de l'informatique à Strasbourg. Auprès de l'accélérateur Cockroft-Walton qui est à l'origine du Centre de recherches nucléaires, les Allemands n'avaient laissé que deux machines de bureau (une Thalès à manivelle et une Mercedes électrique) et quelques règles à calcul. Il n'y eut pas d'autre machine à calculer à l'IRN tant que celui-ci demeura aux Hospices civils de Strasbourg, jusqu'en 1956 (lettre de T. Muller, 19 novembre 1992). Réinstallé à Cronembourg, le CRN suscitera 10 ans plus tard la création d'un des plus gros centres de calcul université-CNRS (IBM/360, puis Univac 1108), mais sans plus de recherche informatique.

129 À ma connaissance, seul l'ingénieur militaire A. Sestier, dans son livre de 1958 sur *Les Calculateurs numériques automatiques*, cite des livres en Allemand et fait partager son intérêt pour la machine ERMETH de Zurich.

les colloques français ; et, de leur côté, les informaticiens français ont peu de relations avec l'ISL, d'après les témoignages que j'ai pu recueillir. Aucun Français ne participe comme orateur au grand colloque sur les calculateurs électroniques et le traitement de l'information, organisé en 1955 à Darmstadt¹³⁰. Un petit colloque franco-germanique sur la formation mathématique est organisé à Munich en 1957, mais les invités français viennent de Toulouse et de Grenoble (Kuntzmann) – sans doute est-ce là que s'établissent les connexions entre numériciens qui fonderont le groupe Algol (F. Bauer, H. Rutishauser, etc.). Le choix de Strasbourg pour l'organisation des deuxièmes *Journées internationales de calcul analogique*, en 1958, s'explique plus par la position géographique de la ville en Europe que par ses activités dans ce domaine¹³¹.

304

Strasbourg tente un rattrapage en 1967. Les responsables du département de mathématiques demandent la création d'un poste de maître de conférences en informatique, mais n'obtiennent qu'une habilitation à la maîtrise d'informatique qu'ils doivent organiser avec les moyens du bord¹³². La recherche informatique reste marginale au début des années 1970, avec un peu de théorie des langages et d'algorithmique, encore très liée à l'analyse numérique.

Toutefois l'université de Strasbourg, qui « comporte la plus grande concentration de laboratoires de Province et plus de 1 200 chercheurs [et], de ce point de vue ainsi que par le nombre de thèses actuelles, [...] se situe immédiatement après Paris¹³³ », est une grande utilisatrice d'ordinateurs. Le centre de calcul CNRS de l'Esplanade, situé à l'Institut de mathématiques, travaille à la fois pour les nombreux laboratoires qui l'entourent et pour l'enseignement (certificat d'analyse numérique en 1^{er} cycle, cours de logique du traitement en licence). Son Univac 1108 sert notamment les

130 *Fachtagung Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung*, Darmstadt, 25-27 octobre 1955. Organisé par Alwin Walther, le patron de « l'Institut pour les mathématiques pratiques » de cette université technique, cet important colloque international (65 conférenciers, 500 auditeurs) couvre tous les aspects de la construction et de l'emploi scientifique des ordinateurs. Les invités de France sont : P. Gloess (SEA), J. Kuntzmann, G. Outhier, R. Pouget (mathématicien, Paris), ainsi que deux Allemands travaillant au Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques de Vernon, E. A. Deuker et H. Habermann. Dans la foulée, la GAMM constitue un groupe de travail sur les langages de programmation, qui se donne pour tâche de définir un langage algorithmique universel et rencontre bientôt un intérêt similaire dans l'Association for Computing Machinery américaine. Un étudiant de Walther, G. Neidhofer, passera son doctorat en analyse numérique à Grenoble en 1958.

131 *Actes des 2^e Journées internationales de calcul analogique*, (Strasbourg, 1-6 septembre 1958), Paris, Masson / Bruxelles, Presses académiques européennes, 1959, 501 p.

132 La demande semble avoir été mal formulée ou mal comprise : « Le département de mathématiques a décidé que [...] ce serait bien d'avoir une maîtrise de conférence d'informatique [...]. L'ennui c'est qu'ils ont demandé une maîtrise d'informatique [...] la demande est partie avec "maîtrise d'informatique" et nous est revenue » (témoignage de R. Strosser, qui a pris la suite de Pouzet en analyse numérique et enseigne ensuite l'informatique).

133 Dossier Centres de calcul de Strasbourg et de Cronenbourg, Ministère de l'Éducation Nationale, Arch. Nat. 19771326, art. 12/F17 bis, 14263, art. 10.

trois universités de Strasbourg, huit écoles d'ingénieurs et le centre universitaire du Haut-Rhin (Mulhouse). Le département de mathématiques (1 50 étudiants de maîtrises d'informatique et de mathématiques appliquées) initie en 1973 1 400 étudiants de toutes disciplines à la programmation et au calcul scientifique; l'École nationale supérieure des arts et industries utilise elle aussi le centre de calcul pour son enseignement d'informatique (400 élèves, dont 50 consacrent leurs projets de fin d'études à l'informatique); l'IUT de Mulhouse initie 800 étudiants à la programmation en 1973.

Le troisième cycle démarrera seulement dans les années quatre-vingt avec l'arrivée d'un ancien de l'IMAG, J.-C. Laffon; des enseignants locaux fonderont en 1985 le Centre de recherches en informatique, reconnu comme jeune équipe CNRS en 1990.

Nantes et Rennes

Au milieu des années cinquante, *Nantes* n'a pas d'université mais une école d'ingénieurs, l'École nationale supérieure de mécanique (ENSM), dépendant de la faculté des sciences de Rennes. L'un des deux professeurs de mathématiques de l'ENSM, Georges Brillouët (ENS 1940, thèse au laboratoire Pères-Malavard), s'intéresse au calcul numérique, en partie pour répondre aux besoins de la formation d'ingénieurs. G. Brillouët est nommé professeur d'analyse numérique à la faculté de Rennes en 1959 et obtient la création d'un certificat d'analyse numérique en 1960. Des thèses d'ingénieurs-docteurs sont préparées, et même une thèse d'État. L'ENSM fonde un centre de calcul scientifique nantais et reçoit en 1960 des crédits pour acheter un IBM 650 – un temps le seul ordinateur dans tout l'Ouest, avec celui des Mutuelles du Mans. Sous la direction de G. Brillouët, il effectue les calculs de stabilité du paquebot France.

Paradoxalement, c'est l'ouverture d'une faculté des sciences à Nantes, en 1961, qui porte un coup d'arrêt au développement de l'informatique locale, car Brillouët en est nommé doyen :

Mes fonctions de Doyen d'une faculté nouvelle ont alors pris le pas sur mes activités informatiques. Il fallait assurer les enseignements fondamentaux et, ce qui compliquait les choses, il y avait à l'époque une sérieuse crise du recrutement : listes d'aptitudes presque vides, peu d'enthousiasme à venir jouer les pionniers, etc. J'ai toutefois maintenu un enseignement d'analyse numérique, aux niveaux 1^{er} et 2^e cycles seulement¹³⁴.

¹³⁴ Lettre de G. Brillouët, 12 juillet 1991. Brillouët a rédigé un manuel, *Introduction à l'étude des machines à traiter l'information. Exemple de l'ordinateur IBM 650*, brochure ENSM Nantes, 1960, 60 p. Une partie des cours est assurée, dans les années 1960, par Yves Harrand, directeur des études de la SETI qui développe la machine-langage Pallas.

La comparaison avec Toulouse s'impose : dans les deux cas, le professeur d'analyse numérique est bientôt aspiré par des fonctions administratives. Mais la faculté toulousaine, forte de sa tradition scientifique, lui a rapidement fourni des assistants qui ont pris la relève et l'accession du professeur au décanat a simplement renforcé la configuration. En Bretagne, où le potentiel scientifique était beaucoup plus faible et le démarrage plus tardif, l'évolution de carrière d'un seul individu a bouleversé la situation.

À la suite de ce changement, c'est plutôt à Rennes que se développent le calcul et, nettement plus tard, l'informatique.

306 Après le retour de Brillouët à Nantes, l'enseignement de calcul automatique et d'analyse numérique est poursuivi par un jeune agrégé de mathématiques, Christian Coatmelec. Comme il s'avère fastidieux de faire le voyage de Nantes pour les travaux pratiques sur l'IBM 650, et que les physiciens commencent à demander du calcul, le doyen effectue une étude de marché et choisit une IBM 1620, installée en 1962. Une trentaine d'étudiants, bientôt une soixantaine, se forment au calcul et à Fortran. La direction du centre de calcul est assurée alternativement par Coatmelec et par un brillant statisticien arrivé en 1960 de Princeton et du séminaire Cartan, Jean-Paul Benzécéri, spécialiste de l'analyse des données, qui renforce les mathématiques rennaises. On y fait du calcul à façon pour les divers laboratoires, de l'analyse factorielle (Benzécéri) et des travaux d'analyse numérique, effectués en 1965 avec le soutien de la DGRST par un professeur, Georges Glaeser (ancien élève de Laurent Schwartz et patron de thèse de Coatmelec). Mais celui-ci part ensuite diriger l'Institut de recherche et d'enseignement mathématiques de Strasbourg. Des *Journées d'informatique-mathématiques* sont organisées à Paimpol en 1967, mais il s'agit essentiellement d'analyse numérique. Pas de recherche informatique proprement dite, notamment sur la compilation qui en est généralement la porte d'entrée à l'époque. Cela s'explique à la fois par la rotation fréquente des personnels et par l'orientation essentiellement mathématique des recherches. Il n'y a d'ailleurs pas d'industrie informatique en Bretagne, où le seul interlocuteur local intéressé par les applications sera longtemps le CNET.

On ne voit d'enseignement informatique apparaître qu'après 1966 quand arrivent successivement Maurice Nivat, venu de l'Institut Blaise Pascal et de l'IMAG, et Jean Césaire, jeune professeur de mathématiques venu de Nancy et de l'IBP, tandis que le directeur du département (UER) de mathématiques, Michel Métivier, crée une licence d'informatique¹³⁵. Entre temps, la filière

¹³⁵ Jean Césaire venait de Nancy où il était le premier élève et l'assistant de J.-L. Lions, qui lui avait confié des tâches considérables de simulation numérique à effectuer sur l'IBM 704 de l'IBP.

informatique de l'INSA rennais naît en 1967, dirigée par Coatmelec parti de la faculté¹³⁶ ; les élèves-ingénieurs de l'option informatique viennent suivre les cours de licence à l'université.

Dès lors, dans la dynamique du Plan Calcul, l'informatique connaît un essor rapide à Rennes qui bénéficie par ailleurs de la décentralisation en Bretagne d'activités du CNET, puis de l'IRIA. L'université reçoit en 1970 un puissant CII 10.070, complétant celui qui équipait déjà son voisin le Centre électronique de l'Armement, dont les spécialistes viennent former les universitaires à cette machine. Du coup, Métivier et Céa saisissent la possibilité d'avoir non plus des programmeurs Fortran, mais des informaticiens, et réussissent à faire créer une dizaine de postes pour leur centre. Jean Céa sait habilement jouer sur la dialectique : « On a un ordinateur, donnez-nous des postes ! » et « On a des chercheurs, donnez-nous du matériel ! » Soulignons l'exploit consistant, dans une université, à obtenir d'un coup trois postes de professeurs dans une discipline, face aux demandes des chimistes ou des physiciens.

En 1970 s'ouvre une maîtrise d'informatique ; la petite équipe rennais bénéficie de l'arrivée de huit informaticiens dont six grenoblois (J.-P. Verjus, etc.) sur des postes d'enseignants ou d'ingénieurs du centre de calcul. Elle est donc assez solide pour survivre au départ de Céa pour Nice un an plus tard. Son projet central est le développement d'un système d'exploitation « SAR » en Algol 68, qui résulte lui aussi de la diffusion de la « culture informatique » grenobloise. L'effort aboutira en 1975 à la création conjointe, par l'IRIA, le CNRS et l'université de Rennes, de l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (IRISA), dans le cadre de la décentralisation. L'informatique Rennais résulte ainsi à la fois d'un essaimage de jeunes universitaires venus des pôles pionniers (Grenoble, Paris, Nancy), d'initiatives de mathématiciens et d'une politique volontariste d'aménagement du territoire¹³⁷.

Nantes se spécialise plutôt en Automatique (renouvellement assez naturel de l'École de mécanique), autour de René Menzecev dont l'équipe « Identification et optimisation par voie hybride » est associée au CNRS en 1968. Brillouët

De Nancy arrive aussi Jean Villard, qui devient directeur du centre de calcul rennais. De Grenoble via Montréal, Laurent Trilling et Jean-Pierre Verjus qui accepte de venir à condition de pouvoir monter une véritable équipe.

¹³⁶ Parmi les enseignants-chercheurs à l'Institut national des sciences appliquées (INSA) se trouve Yves Cochet, ardent militant écologiste breton qui participera plus tard à la fondation du parti Vert et deviendra député de Paris et ministre de l'environnement.

¹³⁷ J. André, « Préhistoire de l'informatique à l'université de Rennes. Des origines au Général de Gaulle », et V. Schafer, « De l'université de Rennes à l'IRISA : les dix premières années du développement de la recherche informatique à Rennes (1970-1980) », 7^e colloque international *Histoire de l'informatique et des télécommunications*, musée des Transmissions, ESAT, Cesson-Rennes, 2004.

continue à enseigner un peu de programmation, fonde un laboratoire d'informatique et d'analyse numérique appliquée (LIANA) et prend la direction du centre de calcul de l'Université de Nantes, inauguré en 1973, tandis que le nouvel IUT se dote d'un département qui enseigne les méthodes d'analyse et de programmation¹³⁸. Mais la recherche en informatique ne se développera vraiment qu'à partir des années 1980 autour de Jean Dhombres, de Jean Bézivin et de Michael Griffiths – autre « Grenoblois » d'origine.

Besançon

Besançon est une variante un peu plus durable du type nantais ou strasbourgeois, fondée sur une initiative purement locale du principal acteur. Jean-Louis Rigal (ENS 1947) est agrégé et docteur en mathématiques (thèses sur les statistiques stellaires et sur la propagation des erreurs d'arrondi en calcul matriciel). Ces travaux l'amènent à s'initier à la programmation en 1956, alors qu'il est encore chercheur à l'Observatoire de Paris :

308

Nous étions quatre autour de l'IBM 650 de la place Vendôme : Vauquois, Cayrel (qui est resté astronome), Arzac (que la corvée du codage machine ennuyait tellement qu'il a inventé tout seul un langage symbolique) et moi¹³⁹.

Rigal est nommé en 1958 professeur d'astronomie à la faculté des sciences de Besançon, où il assure un cours de techniques mathématiques de la physique. Il suit Jean Delhaye, qui vient d'être chargé par André Danjon de prendre la direction de l'observatoire de Besançon et de donner une vigueur nouvelle à cet établissement en y constituant une équipe de jeunes chercheurs. Trois ans après, Rigal fonde un centre de calcul en acquérant une SEA CAB 500, « très pédagogique mais lente et non susceptible d'extension ». En 1964, l'association de quatre laboratoires (astronomie, optique, faculté voisine) permet de réunir 1 MF, destiné à l'achat d'une SETI Pallas en transformant le centre de calcul en service commun interuniversitaire. On s'efforce d'attirer des clients locaux, telle la municipalité de Besançon pour l'étude scientifique du trafic automobile urbain. L'effectif atteint une douzaine de personnes. Un colloque international de mathématiques appliquées se réunit en septembre 1966 à la nouvelle faculté des sciences de La Bouloie.

L'enseignement et la recherche en analyse numérique, en logique des machines et en programmation commencent à se développer dans une petite équipe de trois ou quatre chercheurs, soutenus par des contrats de la DGRST (action

¹³⁸ Sur les débuts de l'informatique à l'IUT de Nantes, voir les souvenirs d'Henri Habrias : <http://lefenetrou.blogspot.com>, assortis de commentaires sur les méthodes d'analyse.

¹³⁹ Entretien avec Jean-Louis Rigal, 1986.

concertée Calculateurs), du CNRS (RCP 30 « Langages de programmation », c'est-à-dire essentiellement Algol) et du Centre international de calcul de l'Unesco. « On peut espérer que l'équipe atteindra 8 ou 10 personnes et sortira de cette zone sous-critique actuelle où il est difficile de faire un travail suivi » conclut un rapport en 1966¹⁴⁰. Malheureusement cette équipe, qui tend à disperser ses efforts (on est bien obligé de tout faire dans une petite faculté), est troublée par des difficultés de toutes sortes : pannes de machine, blocage de crédits, incertitude sur l'avenir du centre. De plus, n'ayant pas une chaire de *mathématiques*, Rigal ne peut créer un DEA (ou DES), ni encadrer des thèses en mathématiques appliquées. La faculté ne semble d'ailleurs pas en avoir grand besoin. Un laboratoire d'analyse lexicologique, créé en 1959 au Centre d'étude du vocabulaire français de l'université de Besançon sous la direction de B. Quemada, qui utilisait des machines mécanographiques Bull adaptées au traitement des textes, était un partenaire potentiel pour le développement de l'informatique non-numérique, mais les interactions restent faibles.

En juin 1967, découragé par les difficultés à obtenir le nouvel ordinateur, Rigal démissionne et retourne à Paris. Sollicité par le directeur général des Enseignements supérieurs, Pierre Aigrain, il prend quelque temps la direction du centre de calcul de l'ONERA. Il orientera ensuite ses activités vers l'informatique de gestion à l'université de Paris IX-Dauphine. Son successeur, Jean-Claude Miellou, maître de conférence en analyse numérique, regrette

qu'une équipe aussi spécialisée et réputée que celle formée péniblement à Besançon entre 1962 et 1966 (grâce au CNRS, DGRST, DRME) ait dû se dissoudre (transfert du directeur à l'ONERA), faute d'ordinateur sur place, et compte tenu d'un défaut par rapport à la masse critique et à l'isolement, le mois suivant le colloque CNRS qui témoignait de son importance internationale dans son domaine. L'équipe est dispersée entre Besançon, l'étranger, Grenoble et Paris, et cela est encore une fois très dommageable à tous, car les élèves ont dû être abandonnés ou retardés d'un an ou deux. Souhaitons un meilleur sort à la nouvelle équipe, encore que ses chercheurs risquent aussi l'isolement¹⁴¹.

On s'efforce de recoller les morceaux sous forme d'un petit Laboratoire d'analyse numérique et d'informatique (LANI), en informatique (description formelle du langage Algol 68) et surtout en analyse numérique : études sur le contrôle optimal, algorithmes de décomposition, dérivant de travaux commencés sous la direction de Gastinel à l'IMAG et proches des travaux de

¹⁴⁰ Rapport Kuntzmann « Exécution des conventions DGRST/équipe Rigal (1963-1966) », 29 novembre 1966, IMAG 14.

¹⁴¹ DGRST, Enquête relative aux laboratoires et centres scientifiques universitaires en Franche-Comté, 1967, laboratoire d'informatique, Arch. Dép. Doubs, 1242 W 143.

l'équipe Lions-Glowinski-Bensoussan à l'IRIA. Parallèlement le Laboratoire d'automatique de l'ENSCM s'équipe d'un mini-ordinateur Télémécanique et développe le calcul hybride pour simuler des processus et mettre au point des algorithmes de contrôle optimal.

b. Des ordinateurs ou des enseignements sans équipe de recherche

À Bordeaux, à Montpellier et à Poitiers, des utilisateurs non mathématiciens de moyens de calcul – astronomes, cristallographes, physiciens – acquièrent des ordinateurs. Mais l'absence d'enseignant titulaire en calcul numérique (professeur ou maître de conférence) retarde le développement de la recherche et parfois des enseignements en informatique. Notons que cette typologie se trouve confirmée par un célèbre cas outre-Atlantique : à la Moore School of Electrical Engineering de l'université de Pennsylvanie, où fut construit l'ENIAC et inventé le concept d'ordinateur, la faiblesse des mathématiques explique en grande partie l'effacement temporaire de cette école dans les *computing sciences* après le départ de l'équipe Eckert, Mauchly et Goldstine en 1946.

310

Bordeaux

À Bordeaux, l'École supérieure d'électricité et d'électronique, ancienne École de radioélectricité fondée en 1920 par Guinchant, est un institut de faculté, comparable à son homologue de Lille. Elle est dirigée de 1942 à 1966 par un physicien, Marcel Cau (ENS 1914), élève d'H. Abraham et d'A. Cotton, qui a consacré sa thèse aux effets du champ magnétique sur la lumière¹⁴². Cau participe en même temps au conseil de la faculté des sciences de Bordeaux. Pourquoi cette école n'a-t-elle pas suscité la création d'enseignements et de recherches en calcul numérique, comme à Grenoble ou à Nancy ? Nous n'avons que des réponses partielles : l'ESEE bordelaise est nettement plus récente que les instituts grenoblois et nancéens, ses effectifs sont moins nombreux ; elle n'a donc pas pesé, à la faculté, pour susciter la création d'une chaire de mathématiques appliquées.

L'impulsion vient des cristallographes bordelais qui ont grand besoin de calcul. Ils s'associent avec les mathématiciens en 1961 pour acquérir un IBM 1620, installé en physique. Parmi ceux-ci, seul un jeune assistant, Jean Hardouin-Duparc, s'y intéresse et commence à programmer. D'autres disciplines

142 « Cau formait des ingénieurs connaissant les théories de l'électro-magnétisme et sachant réaliser, voire inventer, des montages fonctionnant efficacement ; ces ingénieurs trouvaient tous des places en fin d'études, dans les meilleures sociétés françaises ; Maurice Ponte, ancien élève de Cau à l'ENS de 1920 à 1924, en engageait chaque année à lui seul cinq ou six pour sa maison (CSF) » (L. Genevois, « Notice nécrologique de Marcel Cau », *Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, 1975).

en devenant clientes, un service de calcul de la faculté est officiellement fondé en 1967, équipé par la SETI d'un PB 250 puis d'un Pallas. L'IBM 1620 est en effet vite « sursaturée et, située dans le laboratoire de cristallographie de M. Gay, ne peut nullement servir à l'enseignement de calcul numérique (qui existe sous forme de certificat de 2^e cycle), ni à l'entraînement de techniciens, ni aux recherches du département de Mathématiques ; nombre de services sont intéressés par l'acquisition d'une machine »¹⁴³. Le IV^e Plan prévoit l'installation d'une machine moyenne, « la Faculté des Sciences devant s'appuyer, pour les calculs les plus difficiles, sur le centre de calcul de Toulouse ». Des cours de programmation sont organisés pour les utilisateurs. Ils sont dispensés par deux ingénieurs militaires du Centre d'essais des Landes, non par des universitaires. Le service de calcul accédera en 1973 au statut de centre inter-universitaire. L'enseignement du calcul numérique se développe peu malgré le recrutement d'un spécialiste, J.-M. Blondel, affecté uniquement à des cours de premier cycle. Un certificat de calcul numérique, créé en 1963, est assuré par un intervenant extérieur et ne comporte pas initialement de travaux pratiques.

Les autorités politiques locales prennent conscience à la fin des années soixante du retard de leur université en informatique et effectuent diverses démarches qui aboutissent à la création d'une chaire dans cette discipline en 1970. Les mathématiciens locaux étant en relation avec l'équipe parisienne qu'animent M.-P. Schützenberger et J.-L. Lions, c'est finalement un élève de ce dernier, Yves Haugazeau (ENS 1958), alors maître de conférences à Lyon, qui est nommé sur ce poste. À son arrivée il partage avec J.-M. Blondel les enseignements de mathématiques appliquées, crée la licence d'informatique et participe à la mise en place du groupe d'analyse appliquée et d'informatique. La première préoccupation d'Y. Haugazeau est de recruter de « vrais » spécialistes de l'informatique, mais cela ne se révèle guère aisé : « Dans les trois centres principaux, Paris, Grenoble et Toulouse, les gens n'avaient guère envie de partir. Quand j'ai voulu recruter, j'ai joué les voyageurs de commerce ».

Finalement deux grenoblois, J.-L. Joly et A. Bouchet, ainsi qu'un enseignant de l'INSA de Lyon, P. Morel, sont recrutés comme maîtres de conférences, J. Hardouin-Duparc assurant les travaux pratiques. Un chercheur CNRS qui a fait une thèse à l'IBP avec M.-P. Schützenberger sur les graphes et la théorie des automates, Robert Cori, est chargé de cours à partir de 1973, puis attire son condisciple Bruno Courcelle. En deux ans, une équipe d'informaticiens se constitue pendant que les mathématiques appliquées se renforcent.

¹⁴³ J. Hardouin-Duparc *et al.*, « Rapport sur l'installation au département de Mathématiques de la Faculté des Sciences de Bordeaux d'une machine à calculer de moyenne puissance », 7 avril 1965 (Arch. Nat. F17 bis, 14258, art. 8).

L'informatique se développera ensuite rapidement : mise en place d'une maîtrise d'informatique appliquée à la gestion (MIAGE) en 1982, d'une formation d'ingénieurs en 1986, la recherche et l'enseignement progressant de concert¹⁴⁴. Les informaticiens feront longtemps partie du laboratoire de mathématiques et d'informatique avant de prendre leur autonomie en 1986 pour créer un DEA autonome et former le laboratoire bordelais de recherche en informatique (LABRI), reconnu par le CNRS en 1988. Le nombre des informaticiens augmente graduellement jusqu'en 1982 avant de connaître une croissance soutenue pour atteindre une cinquantaine de titulaires.

Montpellier

312

À Montpellier, c'est aussi des cristallographes que vient l'initiative d'acquérir un ordinateur. Ne pouvant accéder facilement aux calculateurs de Grenoble et Toulouse, souvent saturés, l'un d'entre eux, Jean Falgueirettes, se bat pour obtenir la fondation d'un centre de calcul à Montpellier. Le changement d'équipe dirigeante de la faculté des sciences lui permet d'obtenir les appuis nécessaires. Un IBM 1620 est installé en 1961.

La création d'un département d'informatique à l'IUT en 1966 marque le début d'un enseignement dans ce domaine ; le directeur de l'IUT n'est autre que Jean Falgueirettes. Ces choix favorisent le contact avec le secteur privé, notamment avec IBM qui dispose d'une usine à Montpellier. C'est sur les conseils des ingénieurs d'IBM que les enseignants élaborent un projet de formation à l'informatique de gestion, qui sera accepté par le ministère en 1968 et donnera naissance à l'Institut des sciences de l'ingénieur de Montpellier (ISIM). Le développement de ces enseignements s'effectue en recourant à des intervenants extérieurs, notamment d'IBM, ou à des universitaires de disciplines proches de l'informatique (statisticiens par exemple).

Mais il s'agit d'enseignements professionnels répondant aux besoins de l'économie. La recherche en calcul numérique ne se développe donc pas, malgré les tentatives de J. Falgueirettes : s'il a obtenu dès 1962 des heures complémentaires pour assurer des cours plus théoriques, il ne trouve pas de candidats pour venir occuper un poste de maître de conférence ou de professeur. Les jeunes docteurs de Grenoble et de Toulouse sont très réticents à s'installer dans un contexte où tout est à créer et où les moyens de calcul sont relativement faibles. Seul Jean Bosmorin, alors maître de conférence à Lille, rejoint en 1968 l'IUT où il fera le reste de sa carrière. Il faudra attendre le début des années 1980 pour voir arriver de Paris VI une partie du Groupe de recherche 22, qui décide

¹⁴⁴ Un IUT d'informatique a été créé en 1970 à l'initiative d'enseignants de gestion ; ses informaticiens participent aux séminaires de l'université scientifique.

unilatéralement de chercher une implantation en province. Les Parisiens ainsi transplantés, auxquels se joignent quelques enseignants de l'IUT, forment le noyau de la première véritable équipe de recherche en informatique, le Centre de recherche en informatique de Montpellier (CRIM), qui s'associera à une équipe de robotique pour former en 1992 le LIRM (laboratoire d'informatique et de robotique de Montpellier). Cette même équipe donnera naissance à la filière d'enseignement d'informatique (licence, maîtrise, DEA) en 1983.

Poitiers

Le cas de Poitiers est paradoxal. C'est une grande université, avec un Institut de mécanique des fluides bien établi depuis les années 1930 et une école d'ingénieurs réputée, l'École nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique, fondée en 1946.

À la faculté des sciences, les enseignements canoniques (méthodes mathématiques de la physique, mathématiques générales) incluent des cours hebdomadaires et des TP de Calcul numérique : approximations dans les mesures et les calculs, tables numériques, calculs logarithmiques, règles à calcul, résolution des équations, calcul numérique des séries et des intégrales, notions de calcul graphique. On trouve même enseignées, au milieu des années cinquante, des « techniques de calcul » : usage des tables, machines à calculer, méthodes d'approximations, appareils graphomécaniques, appareils analogiques – un programme qui date quelque peu, mais reflète assez fidèlement celui de la plupart des autres universités ou écoles d'ingénieurs françaises d'alors (enseignants : Moreau, Lesieur, Rabaté). Il y a de bons algébristes, Jean Arbault, Marie-Louise Dubreil-Jacotin qui enseignera 15 ans plus tard l'algèbre appliquée à l'informatique avec l'équipe parisienne Arzac, Nivat, Schützenberger.

La faculté des sciences accueille de sérieux « mathématiciens appliqués ». D'abord Mazet, qui dirigeait à l'ONERA la division Résistance des matériaux et s'intéresse au développement des moyens de calcul, a choisi en 1947 un poste de professeur à Poitiers plutôt qu'à Nancy. Jean Ville, pionnier de la théorie de l'information qu'on a évoqué plus haut, est chargé de cours depuis 1942. Quand Ville part en 1956 enseigner le « calcul automatique » à l'IHP à Paris, arrive un autre homme de génie : M.-P. Schützenberger, statisticien considéré aujourd'hui comme l'un des fondateurs de l'informatique théorique sur le plan mondial.

Or ça ne prend pas. Conflits de personnes ? Mécanique des fluides trop exclusivement expérimentale, centrée sur ses magnifiques souffleries ? Demande de calcul encore faible ? Certes, Ville travaille aussi à Lyon et à Paris et Schützenberger s'intéresse plus à ses séjours scientifiques au MIT. Tous deux ne sont à Poitiers que des « turbo-profs » avant la lettre. Et de toute manière, ces deux savants pleins

d'idées ne sont ni des entrepreneurs de science, ni des hommes de pouvoir, ils n'ont pas de stratégie institutionnelle et ne cherchent pas à organiser un laboratoire : leur apport est d'une autre substance. Mon hypothèse est que, faute d'un centre de calcul préexistant, personne sur place n'est préparé à comprendre l'intérêt nouveau de leurs approches. Et ce n'est pas autour de la théorie de l'information qu'on crée un service de calcul. Quand en 1963 Schützenberger part pour Paris, il ne semble laisser derrière lui aucune trace de son passage.

Dans les années soixante, on trouve un professeur, Jacques Ezra, numéricien et membre de l'AFCALTI. Et plusieurs ordinateurs. Fin 1967, la revue *o.i. Informatique* recense à Poitiers un service de calcul numérique autour d'un petit IBM 1620, pour la recherche en physique et en chimie, et un Institut de programmation doté d'un Elliott 4100, bon ordinateur moyen qui vient d'être installé¹⁴⁵.

314

Donc du calcul à façon pour les scientifiques et de la formation professionnelle pour le marché régional. Les minuscules calculateurs Olivetti ou EMD installés à la faculté de droit et à l'Institut de mécanique des fluides confirment l'impression de saupoudrage des moyens matériels. L'ENSMA possède un calculateur analogique Analac, comme toutes ses homologues¹⁴⁶. Apparemment aucune recherche en informatique. Plus curieusement encore, on n'observe pas à cette époque un développement de l'Automatique comparable à ce qui se fait à Lille ou à Grenoble¹⁴⁷.

Mazet est membre de la section 3 du CNRS et en reçoit régulièrement de petits crédits – en fait lui aussi reste domicilié en région parisienne. Ce n'est qu'au cours des années 1970, et en synergie avec la recherche en automatique, que l'informatique se développera à Poitiers. Voilà l'esquisse d'une histoire qui mériterait d'être creusée¹⁴⁸.

c. Le démarrage tardif de l'informatique

Certaines facultés, n'ayant pas acquis d'ordinateurs au début des années soixante, tentent de rattraper leur retard, de leur propre initiative ou à la suite d'incitations du ministère, après que l'informatique a conquis une légitimité.

¹⁴⁵ *o.i. Scope* 1968 ; G. Cristini et A. de Lamazière, « Le parc français », *o.i. Informatique*, Paris, septembre 1970.

¹⁴⁶ R. Benizeau, *Calculateur analogique Analac A101-A110. Manuel pédagogique*, ENSMA de Poitiers, 1974. Il s'agit du prototype de cette machine, donné à la fac lorsque ce constructeur disparaît.

¹⁴⁷ Rien n'est mentionné à cet égard dans P. Remaud, *Une histoire de la genèse de l'automatique en France 1850-1950. De l'école de la régulation française au début du ^{xx}e siècle à l'émergence de l'automatique en France après la seconde guerre mondiale*, thèse sous la dir. de A. Guillerme et de J.-Cl. Trigeassou, Paris, CNAM, 2004.

¹⁴⁸ L'ENSMA et l'université de Poitiers n'ont rien versé aux Archives départementales, sauf des dossiers de personnel non communicables et des *Livrets de l'étudiant*, exploités ici.

Les responsables de facultés invitent des spécialistes parisiens ou grenoblois à y construire enseignements, recherche et centre de calcul à la fois. C'est notamment le cas de Lyon, Marseille et Nice.

Lyon

Le démarrage tardif de l'informatique à Lyon s'explique en grande partie par la proximité du pôle grenoblois qui attire ou retient les compétences¹⁴⁹. La faculté des sciences de Lyon ne dispose en 1963 que d'un petit « laboratoire d'analyse numérique et de calcul scientifique » et tente une première fois de le développer : le responsable du département de mathématiques, J. Braconnier, considéré comme « un bourbakiste, mais ouvert aux maths appli », fait venir de Paris un ingénieur, Claude-François Picard. Celui-ci a dirigé plusieurs centres de calcul et passé un doctorat à l'Institut Blaise Pascal. Picard institue à Lyon un certificat d'informatique appliquée et commence à rassembler un petit groupe de recherche autour d'un « mini » IBM 1620. Il donne aussi des cours à Centrale Lyon¹⁵⁰, en 2^e année, avec un professeur de mathématiques, Maurice Glaymann, et entraîne ses élèves aux journées d'initiation à l'informatique qu'il organise à Lyon¹⁵¹. Père de six enfants, C.-F. Picard ne parvient pas à faire suivre sa famille, et repart pour Paris en 1967 avec la plupart des membres de l'équipe. Ses quelques thésards sont transmis à Kuntzmann, à Grenoble. Tout est à recommencer.

Un autre parisien, Yves Haugazeau, lui succède mais quitte Lyon en 1969 pour occuper une chaire à Bordeaux (voir plus haut). Entre temps, Roland Fraïssé, l'un des premiers spécialistes français de logique mathématique, est parti pour Marseille. La Délégation à l'informatique va jusqu'à qualifier la région lyonnaise de « désert informatique », par contraste avec Grenoble¹⁵². L'arrivée en 1970 d'un grenoblois, Michel Terrenoire, permet enfin à l'informatique de se développer : organisation d'un centre inter-universitaire de calcul et d'une maîtrise d'informatique appliquée à la gestion en 1972 (Yves Michel), puis mise en place progressive d'une filière complète, tandis que sont lancées des

149 Il aurait d'ailleurs été très mal vu qu'un Grenoblois parte enseigner à Lyon ! L'*Annuaire 1963* de l'AFCALTI ne recense qu'un seul adhérent universitaire lyonnais, Hugues Neyrand, probabiliste, assistant à la faculté des sciences.

150 Ce cours d'initiation offre à la fois des bases scientifiques solides (analyse numérique, algèbre de Boole, treillis, des photocopies sur « Ordinateurs et programmes » ou « Langage symbolique », avec références aux ouvrages de Korganoff, Hamming, Kuntzmann...) et un apprentissage pratique de la programmation (cours et TP de Fortran sur IBM 1620 du Centre de calcul de la rue Raulin), ainsi que des présentations de cas : études de simulation chez Esso, de gestion à la SEITA sur Gamma 30, présentation de la M40 Bull (témoignage de Claude Ducarouge, qui continue ensuite des études d'informatique à Nancy puis entrera chez Bull).

151 Journées Rhôdaniennes de l'informatique, mars 1965. Compte-rendu dans *RFTI*, 1965.

152 Dossier sur l'informatique en Rhône-Alpes, *Informatique et Gestion*, 1970, n° 22. L'expression désigne le paysage académique à l'époque, non la situation industrielle, Lyon étant le siège de SSII prospères et d'importantes agences IBM et Bull.

recherches sur les modèles et les mesures de performance, les systèmes interactifs, les fichiers et les bases de données. Cette mise à niveau est favorisée, au plan régional par l'ADIRA (Association pour le développement et la promotion de l'informatique en Rhône-Alpes) créée en 1969 par la Chambre de commerce et d'industrie, au plan national par le Plan Calcul avec l'installation d'un gros ordinateur Iris 80 en 1973 au CICL.

Parallèlement, l'Institut de physique nucléaire de Lyon s'est doté de calculateurs analogiques Gould, puis d'un IBM 1630 pour acquisition de données en temps réel. Les cours se limitent, comme il est normal dans un centre de calcul, aux aspects pratiques de la programmation. Mais des transfuges de ce centre (Richard Bouché, Armand Sarrazin) constituent le noyau fondateur de l'IUT de Lyon, y créant un enseignement d'informatique en 1968¹⁵³.

316

Le rattrapage le plus spectaculaire est effectué par les grandes écoles d'ingénieurs lyonnaises actives en électronique et en mathématiques.

L'Institut national des sciences appliquées de Lyon, premier INSA créé (1957), a servi de modèle à ceux de Toulouse, de Rennes et de Rouen. Construit à La Douâ sur le site d'un terrain militaire et d'un des premiers émetteurs de TSF, c'est un très grand ensemble visiblement inspiré des campus à l'américaine. Le voisinage immédiat de la faculté des sciences favorise les coopérations et l'intégration de la recherche à la formation des ingénieurs. Au département d'électronique un physicien, Robert Arnal, travaille sur les micro-décharges dans le vide et développe des appareils d'analyse ou de traitement des données d'expérience¹⁵⁴. Un contrat CNRS de recherche en instrumentation lui permet d'acquérir en 1966 un mini-ordinateur PDP8S, mis à la disposition des élèves ingénieurs le jour et des thésards la nuit. Trois promotions d'ingénieurs électroniciens sont ainsi formés à l'informatique industrielle à partir de 1968. Des recherches en instrumentation et en informatique médicales démarrent parallèlement.

Véritable entrepreneur de science, Arnal forme des docteurs et recrute des assistants, dirigeant une dizaine de thèses soutenues entre 1969 et 1971. Le passage

¹⁵³ Entretien avec J.-L. Léonhardt, 22 novembre 1995.

¹⁵⁴ R. Arnal est issu du labo d'électronique de P. Grivet. Nos informations sur l'INSA proviennent principalement d'entretiens avec les anciens assistants de R. Arnal (R. Aubry, A. Duchaussoy, J. Favere, L. Frécon, P. Rubel, etc.), de ses cours photocopiés et de ses éditoriaux dans *INSA Magazine - Département informatique*, 1986. Au milieu des années 1970, Arnal enseigne la programmation linéaire (mathématiques de la décision et de l'organisation), les structures de calculateurs (logique des circuits, notions sur les automates à états finis, etc.) et leur emploi. Le PDP8S acheté en 1966 est aujourd'hui conservé dans la salle de réunion du département Informatique de l'INSA.

de la scolarité à 5 ans en 1969 lui donne l'occasion de fonder un département informatique, qu'il diversifie rapidement en trois grands axes : informatique industrielle (dérivant directement de l'instrumentation), systèmes (notamment téléinformatique), informatique de gestion (domaine où les Lyonnais voient la possibilité de dépasser les Grenoblois). Le but est de former des ingénieurs informaticiens pour les services et les utilisateurs, destinés à devenir DSI ou à fonder leur entreprise ; et de mener des recherches sur les applications. La première promotion d'informaticiens sort en 1972, les suivantes dépassent la centaine d'élèves. Les élèves doivent obligatoirement faire un stage de trois mois en entreprise, en 3^e année comme programmeur, en 4^e année comme analyste. Les études débouchent de plus en plus sur la réalisation de projets. Le directeur de l'INSA, M. Hamelin, siège au Comité consultatif de la recherche en informatique. L'INSA offre un cas rare de formation complète en informatique issue de la filière EEA (électrotechnique, électronique, automatique). Comme à l'ONERA quinze ans plus tôt, évoqué dans la partie précédente, l'instrumentation et la mesure mènent au calcul et au traitement des données.

L'École Centrale de Lyon (créée en 1857 indépendamment de son homonyme parisienne) est dirigée par un modernisateur, Paul Comparat, qui développe notamment la recherche en mécanique des fluides et consacre une notable partie de ses efforts à la grande affaire de l'école : construire hors de la ville, où ses murs craquent, de vastes locaux qui permettront son expansion¹⁵⁵. L'ECL n'offre jusqu'en 1965 que de classiques cours de calcul pour ingénieurs. Elle inaugure à cette date, en 3^e année, des cours optionnels de « traitement de l'information », assurés par des enseignants de la faculté des sciences dont l'ordinateur sert aux travaux pratiques ; mais les départs successifs de ces enseignants ne favorisent pas un approfondissement.

C'est seulement lorsque l'ECL déménage sur le vaste campus d'Écully, en 1967, qu'elle peut créer un cours obligatoire pour l'ensemble de la première année, puis fonder un département d'informatique autour d'un mini-ordinateur CII 10.020 acquis en 1969. La matrice est ici non l'électronique mais plus classiquement les mathématiques appliquées ; les cours sont assurés à la fois par des enseignants de l'ECL et par des universitaires de Lyon 1 engagés eux-mêmes dans le démarrage de l'informatique. L'ECL bénéficie parallèlement de l'arrivée en 1968 de Pawel Szulkin, professeur polonais réfugié politique en France, spécialiste des signaux aléatoires dans les circuits de régulation et des théories de

¹⁵⁵ Nos informations sur l'ECL proviennent principalement d'entretiens avec J.-F. Maitre, de l'« Histoire du département Mathématique-Informatique » (<<http://histoire.ec-lyon.fr>>), qu'il a publiée avec C. Vial, et des archives de l'école, aimablement ouvertes à la consultation par le directeur de la bibliothèque de l'ECL.

l'information, des systèmes et de l'électromagnétisme. Il crée pour les élèves de deuxième année un cours de « théorie mathématique des systèmes », formalisant les bases des cours d'automatique enseignés depuis une décennie, et fonde un laboratoire dans ce domaine.

Le département assume la lourde charge d'enseigner l'informatique en « tronçon commun » à l'ensemble de chaque promotion d'ingénieurs. Un laboratoire d'informatique se constitue progressivement à partir de 1970 et du recrutement comme professeur de Jean-François Maitre, venu de Grenoble après un début de carrière à Besançon et à la Technische Hochschule de Munich. L'accueil sur postes de chercheurs de deux assistants de l'IUT de Lyon permet d'initier une recherche autour d'un système de connexion d'ordinateurs : le CII 10.020, son successeur Mitra 15 et l'Iris 80 du centre de calcul inter-universitaire. Ce projet financé par le ministère, en partenariat avec l'INSA et la CII, conduit à la soutenance d'une thèse de groupe en 1974. Simultanément, un DEA d'analyse numérique, nettement situé dans « l'école » de J.-L. Lions, est créé avec les universités de Lyon 1 et de Saint-Étienne ; l'équipe d'analyse numérique sera associée au CNRS en 1983.

318

Hewlett-Packard s'implante en 1974 à côté de l'École Centrale de Lyon, instaurant un partenariat durable, avec échanges de personnes et de compétences entre l'école et les laboratoires d'HP en Californie. La recherche et l'enseignement monteront ensuite rapidement en puissance, notamment dans un cadre fédératif autour de l'INSA soutenu par le CNRS, avec des travaux axés sur les bases de données et les systèmes d'information.

Marseille

Marseille offre une situation paradoxale analogue à celle de Poitiers : un grand pôle de recherches fondamentales et appliquées, collaborant avec la défense et l'industrie, où tous les ingrédients paraissent réunis au milieu des années cinquante pour que s'amorce un développement du calcul électronique, mais qui choisit d'autres orientations scientifiques.

La cité phocéenne a abrité, d'une certaine façon, le plus ancien laboratoire français de calcul, puisque, dès les années 1930, Joseph Pérès et Lucien Malavard y avaient réalisé leur première cuve rhéographique. Un petit centre de calcul existe dans les années cinquante sous la direction de Jacques Valensi, professeur de mécanique des fluides¹⁵⁶.

L'élément central est le Centre de recherches scientifiques, industrielles et maritimes de Marseille (CRSIM), ex-centre d'études de la Marine de Toulon, transféré en 1940 au CNRS et converti en laboratoire civil, rue

¹⁵⁶ Arch. nat. 81-0428-1, chemise « centre de calcul de Marseille ».

Saint-Sébastien¹⁵⁷. Par la variété de ses activités et l'importance qu'y tient l'instrumentation, il est comparable au groupe de laboratoires du CNRS à Meudon ou à l'Institut polytechnique de Grenoble ; il emploie une cinquantaine de personnes¹⁵⁸.

Un laboratoire de calcul numérique appliqué à des problèmes de mécanique et de physique est créé conjointement, en 1948, par la faculté des sciences de Marseille et le CRSIM. Dans le cadre des colloques internationaux du CNRS, le patron du CRSIM, l'acousticien F. Canac, organise au printemps 1948, avec Valensi et Pérès, des journées de mathématiques appliquées sur les méthodes de calcul en mécanique.

Le petit labo de calcul est animé par un électrophysicien, Théodore Vogel, qui publie une note sur l'« Étude d'un système d'équations différentielles » (février 1948) et correspond en 1956 avec les centres de calcul de Bull et d'IBM France à propos de problèmes d'analyse harmonique, d'équation de Laplace et de méthodes de relaxation¹⁵⁹. Licencié ès sciences et ingénieur Supélec, Vogel a participé à l'électrification de la Palestine, est devenu ingénieur de recherche à la Compagnie des Compteurs et a complété ses études en suivant à la Sorbonne et au Collège de France les cours de L. de Broglie et de L. Brillouin. Après sa thèse en acoustique sous F. Canac, Vogel centre dès 1950 ses recherches sur la dynamique théorique. Continuant l'œuvre de Poincaré dont il applique les cycles à l'interprétation du fonctionnement des oscillateurs électroniques, il publie divers ouvrages de physique mathématique.

Un autre numéricien arrive à Marseille en 1952, J.-M. Souriau, qui a conçu à l'ONERA des méthodes de calcul matriciel et publiera un cours de calcul linéaire, mais se consacre lui aussi principalement à la physique mathématique.

Vogel succède à F. Canac en 1962 à la direction du CRSIM. Sans doute est-il trop accaparé par ses recherches pour développer le laboratoire de calcul au-delà de ce qui est demandé par les chercheurs de mécanique et de physique et pour créer un enseignement d'analyse numérique ? Il ne s'en désintéresse pas, puisqu'il devient membre du conseil de rédaction de la revue *Chiffres*. Le laboratoire de calcul s'équipe d'un petit ordinateur CAB 500 et d'une machine

157 Cl. Gazanhes, « Du laboratoire de la guerre sous-marine de Toulon au laboratoire de mécanique et d'acoustique de Marseille », *Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2000, n° 2.

158 Brochure *CRSIM*, Marseille, CNRS, 1957, 117 p. Ce descriptif détaillé, abondamment illustré, ne mentionne aucune activité de calcul.

159 Le CRSIM (Pr. Canac) demande deux calculatrices de bureau Peerless ; on lui en accorde une en 1949, ainsi qu'une trentaine de règles à calcul ; l'Observatoire de Marseille et l'Institut de mécanique des fluides (Valensi) sont pareillement dotés (Arch. nat. 80/0284/118 et 122, CNRS, Dossier Achat de matériel à l'étranger 1945-1950, Inventaire du matériel acheté ou récupéré en Allemagne).

analogique Analac, exploités pour les recherches « des autres services du Centre, de l'Institut de neurophysiologie, des facultés des sciences et des lettres »¹⁶⁰. Le calcul reste donc un simple service dans l'ombre des sciences physiques.

Ses moyens restent d'ailleurs modestes. L'une des équipes les plus avancées en informatique non numérique, la Section d'automatique documentaire de J.-C. Gardin, installe à Marseille son bureau de dépouillement des données, lié au Centre d'analyse documentaire pour l'archéologie, mais toute la programmation se fait à Paris sur les gros ordinateurs de l'Institut Blaise Pascal, de la Maison des sciences de l'Homme, d'IBM ou de Bull, « la région de Marseille ne possédant encore aucun centre de calcul universitaire »¹⁶¹.

320

C'est seulement au milieu des années soixante que les mathématiciens marseillais créent un certificat de calcul numérique, confié à un ancien élève parisien de J.-L. Lions, Henri Morel, recruté en 1962 ; parallèlement, D. Starynkevitch, ingénieur de la SEA, est chargé de cours d'informatique à Aix-en-Provence. La faculté reçoit des crédits pour fonder en 1966 un centre de calcul autour d'un ordinateur SETI Pallas, sur lequel les mathématiciens font des travaux pour la Marine nationale et pour divers laboratoires locaux ; le principal client reste la mécanique des fluides. Outre Morel, professeur titulaire de mathématiques qui en prend la direction et ne semble plus faire beaucoup de recherche, ce sont André Aragnol, professeur de mathématiques, M. Sourniau et P. Billard, maître de conférences en programmation. Tous trois initient des recherches dans leurs domaines : mathématiques appliquées (*dynamic programming*, équations aux dérivées partielles non linéaires...) et programmation (compilateur Pallas et bibliothèque de programmes Loup)¹⁶². Une demande d'association au CNRS est présentée en 1966, mais refusée : bien que « la commission apprécie grandement le travail de l'équipe formée », elle la juge trop peu nombreuse pour constituer un laboratoire associé¹⁶³.

¹⁶⁰ CNRS, Rapport d'activité 1964-1965, section 3, p. 170. Le CRSIM développe par ailleurs un système de commande numérique de machine-outil. Ainsi, le laboratoire de neurophysiologie de Marseille bénéficie d'heures de calcul sur un ordinateur du CEA à Cadarache. Il y a aussi un institut de mécanique statistique des fluides (Fabre) et des laboratoires du CNRS situés à Sainte Marguerite. Ces instituts n'ont de rapports avec la Faculté des Sciences que par le fait que certains de leurs membres sont aussi enseignants.

¹⁶¹ CNRS, Rapport d'activité 1964-1965, IBP, p. 106. Une étude plus approfondie de cette situation devrait tenir compte de l'existence de gros moyens de calcul dans la région, notamment au CEA (Cadarache), au Centre d'essais en vol de l'Armée de l'air (Istres) ou dans la Marine (Toulon). Il y a aussi un Institut de mécanique statistique des fluides (Fabre) et des laboratoires du CNRS situés à Sainte Marguerite. Ces instituts n'ont de rapports avec la faculté des sciences que par le fait que certains de leurs membres sont aussi enseignants.

¹⁶² IMAG 25 (contrats et RCP 1963-1977).

¹⁶³ CNRS, section 3, PV 27 octobre 1966, p. 6. La demande du labo Morel recueille 4 oui, 13 non : la priorité cette année-là va évidemment au principal candidat, le labo toulousain de Laudet.

Des secousses de 1968 naît l'université de Marseille-Luminy où se met en place un département de mathématiques et d'informatique avec un service de calcul du CNRS, ainsi qu'un centre de recherches international à l'architecture accueillante – chose rare dans la construction universitaire de l'époque. Le ministère incite le responsable de ce département à recruter un chercheur informaticien. Alain Colmerauer, ingénieur ENSIMAG qui a étudié la compilation d'Algol et soutenu sa thèse à Grenoble sur l'analyse syntaxique et les langages de programmation, travaille alors à Montréal comme chargé de recherches CNRS sur le traitement automatique des langues. Il est nommé maître de conférence à Luminy en 1971 et forme une petite équipe marseillaise avec de jeunes chercheurs locaux, vite associée au CNRS (ERA 363, « Dialogue homme-machine en langue naturelle »). Cette équipe se distinguera bientôt en concevant le langage Prolog, mondialement utilisé en intelligence artificielle, et en renouvelant profondément l'algorithmique dans le cadre d'une recherche sur les systèmes experts. Elle sera longtemps la seule de l'université de Marseille à être associée au CNRS en informatique.

Nice

Un peu plus tard, c'est à Nice qu'un autre Grenoblois issu de l'IMAG, Jean-Claude Boussard, rejoint par Olivier Lecarme, Grenoblois passé par Montréal, et par Roger Rousseau, de Paris, ira en 1972 former une équipe, attiré par Jean Céa qui, lui, a été formé par J.-L. Lions : à partir d'un sujet de thèse bien défini par Lions à Nancy, Céa a développé des méthodes en mathématiques appliquées et des tests par simulation numérique qui font de son travail une référence et contribuent à bousculer les frontières entre sous-disciplines. Signe des temps, élu à l'université niçoise, Céa succède à Dieudonné, figure éminente de Bourbaki !

Ce petit groupe a donc des origines à la fois mathématiciennes, axées sur l'analyse numérique, et informaticiennes avec Boussard et Lecarme, spécialistes des langages de programmation. Il instituera le premier cursus complet d'informatique dans les Alpes-Maritimes (licence, maîtrise, MIAGE, DEA). L'équipe de recherche obtiendra son association au CNRS dès 1970 (LA 168 « J.-A. Dieudonné ») et se diversifiera ensuite vers le génie logiciel. Pour les travaux pratiques, on utilise une imprimante et un lecteur de cartes perforées reliés par ligne téléphonique au petit ordinateur de l'IUT. Ici comme ailleurs, la dynamique initiale liée au Plan Calcul retombe ensuite, faute de moyens – le nombre d'enseignants stagne tandis que les étudiants croissent et multiplient – au point qu'on supprime pendant plusieurs années la licence-maîtrise d'informatique. L'expansion reprendra à partir de 1981, notamment avec la création par J.

Un mathématicien, Martin Zerner, qui avait initié une recherche sur la complexité, part à ce moment pour l'université de Nice.

Céa et J. Pouget de la première école d'ingénieurs en informatique (ESSI) à Sophia-Antipolis, avec une antenne à Tunis l'année suivante.

Déterminants et effet de seuil

L'analyse des différents cas montre donc qu'un développement endogène et précoce de la recherche en informatique est toujours lié à la présence d'équipes de recherche en calcul numérique. De telles équipes se trouvent dans les cinq pôles précurseurs (Grenoble, Toulouse, Nancy, Lille et Paris) pour deux types de raisons :

- soit le calcul numérique et l'informatique sont développés de façon volontariste dans le cadre d'une réorganisation des mathématiques (Lille, Clermont, Besançon) ou à cause de « l'effet capitale » (Paris),
- soit la présence d'écoles d'ingénieurs dans les facultés des sciences impose le recrutement de spécialistes du calcul (cas de Grenoble, Toulouse et Nancy).

322

Dans le premier cas (Lille, Clermont, Besançon, Paris), on se trouve face à une situation spécifique, en grande partie contingente, alors que dans le second c'est une configuration institutionnelle qui explique le développement des disciplines appliquées et la différenciation géographique observée : à Grenoble, Toulouse et Nancy, la présence des écoles explique à la fois les initiatives visant à développer le calcul et l'aboutissement de ces initiatives, rendu possible par le poids des écoles dans la configuration interne des facultés. Le pôle Rennes-Nantes aurait pu suivre cette logique puisque c'est d'une école d'ingénieurs que sont venues les initiatives en faveur du calcul et de l'informatique ; mais la création de la faculté de Nantes, assortie de la nomination du spécialiste du calcul à une responsabilité administrative, a fait basculer le processus vers une autre logique. La présence des écoles d'ingénieurs en électricité est le principal stimulant du développement des mathématiques appliquées, puis de l'informatique, dans les trois facultés citées. Comme cette configuration n'existe nulle part ailleurs à cette époque, elle apparaît comme une condition suffisante du développement de l'informatique. Les cas de grandes universités où l'informatique ne démarre que tardivement, telles Marseille et Poitiers où sont concentrées des écoles d'ingénieurs et des compétences numériques, mais sans ce catalyseur qu'est une forte demande émanant de l'électrotechnique, achève de confirmer l'hypothèse.

En étudiant cet ensemble de cas, la notion d'effet de seuil vient spontanément à l'esprit. Elle apparaît explicitement dans les rapports concernant Besançon : l'arrivée d'un enseignant en analyse numérique dans cette petite université a déclenché le processus de développement d'une équipe locale qui se démène pour atteindre une « masse critique », mais il suffit d'un ou deux accidents

conjoncturels (blocage des crédits, fin du contrat DGRST) pour que l'effort retombe ; à Nantes le processus est similaire. À Marseille, c'est l'inverse : le potentiel est considérable, comparable à celui de Toulouse ou de Grenoble (sciences appliquées, recherche fondamentale, moyens de calcul bien supérieurs à ceux de Besançon), mais l'itinéraire scientifique personnel du principal spécialiste du calcul s'oriente dans une autre voie ; l'informatique finit toutefois par y être développée car il ne saurait en être autrement dans la troisième ville de France (« effet capitale »). Poitiers est une variante de cette configuration : s'y trouvent presque tous les facteurs de développement, sauf un « entrepreneur de science » en informatique qui les compléterait et les mettrait en synergie.

On est devant trois types de situations :

- soit le calcul numérique et la recherche informatique se développent parce que tous les facteurs sont réunis et pèsent suffisamment pour enclencher un processus cumulatif (à Grenoble, le « seuil » a été franchi dès 1950-1952 grâce à l'activisme d'Esclangon et de Kuntzmann),
- soit il manque un facteur décisif (qui, à ce stade embryonnaire d'une technique naissante, peut être une volonté individuelle), donc le calcul reste un service et, comme tel, suit une croissance comparable à celle des centres de traitement des entreprises ou des autres administrations,
- soit on est « au seuil », à la limite entre deux pentes, il suffit de peu pour faire basculer un pôle académique vers le développement ou le faire retomber en arrière, et ces métaphores mécaniques viennent aussi naturellement à l'esprit des intéressés – ainsi l'équipe bisontine évoque sa « taille sous-critique ».

Les notions d'effet de seuil, de basculement entre deux possibles processus cumulatifs (cercles vertueux / cercles vicieux), se retrouvent dans d'autres chapitres de l'histoire de l'informatique, de la création de Bull jusqu'au réseau Cyclades et aux micro-ordinateurs – notons qu'elles sont familières depuis longtemps aux spécialistes de stratégie militaire, Clausewitz en est rempli et la bataille de la Marne en est un exemple achevé. Un basculement peut avoir deux causes, externe ou interne :

- La réorientation d'une trajectoire sous le coup d'un événement extérieur, déterminant une bifurcation au sens strict (exemple extrême : effacement de la logique mathématique de la scène française en 1931 parce qu'Herbrand a été victime d'un accident de montagne),
- L'accumulation d'un potentiel, d'une « masse critique » suffisante pour déclencher un processus (*cf.* le poncif hégélien de la « quantité qui se transforme en qualité »)... jusqu'à ce que l'on rencontre un nouveau seuil : à Besançon, l'informatique se développe, puis se débande ; à Paris, l'IBP porte en 1946-1950 les espoirs français en calcul électronique, puis l'échec de

Couffignal le rétracte, puis il se développe sous de Possel, qui ambitionne de le transformer en un IRIA avant la lettre mais n'en a pas l'aptitude managériale ; l'IRIA connaît à son tour un cycle comparable. Les divers facteurs préexistent indépendamment, jusqu'à ce qu'ils soient mobilisés et souvent reconfigurés par un « entrepreneur » (Schumpeter), un « entrepreneur de science » (Pestre), un « acteur-réseau » (Latour & Callon).

La distinction entre les deux processus de basculement est variable, selon l'échelle d'observation qu'on adopte : dans quelle mesure un événement perturbant est-il « extérieur » ? Un potentiel insuffisant (petite équipe, projet technique insuffisamment géré) est vulnérable à de très petites perturbations – c'est sa vulnérabilité même qui fait de ces perturbations des « événements ».

324 Revenons à notre histoire institutionnelle. L'interaction forte et fructueuse de ces écoles et de ces facultés apporte une sérieuse nuance à l'image habituellement présentée de l'enseignement supérieur français, qui se caractériserait par un fossé entre les universités et les écoles d'ingénieurs. Cette image n'est fidèle qu'à Paris, où sont concentrées les Grandes Écoles.

LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS PARISIENNES

Comparées aux universités pionnières, les Grandes Écoles d'ingénieurs sont généralement plus lentes à prendre le virage de l'informatique¹. Cependant, l'étude de l'Automatique y ouvre la voie dès les années cinquante, et plusieurs d'entre elles organisent des enseignements optionnels de calcul². Ces enseignements se transformeront ensuite en options « Informatique » ou en cours obligatoires, généralement au moment du Plan Calcul.

A. LES « GRANDES ÉCOLES »

« Quant aux Grandes Écoles, à quelques exceptions près, elles ne semblent pas avoir encore découvert ce que pourraient signifier pour elles les machines à calculer » signale en 1963 la Commission permanente de l'électronique du Plan, dont les membres ne peuvent pourtant être suspects d'hostilité de principe à ces écoles dont ils sont issus en majorité³.

Supaéro : une pionnière du calcul et de l'Automatique

L'École nationale supérieure de l'aéronautique, « Supaéro », fait exception. Elle a, dès l'après-guerre, envoyé régulièrement ses diplômés compléter leur

- 1 Sur l'histoire des écoles d'ingénieurs, voir notamment B. Belhoste, « Les origines de l'École polytechnique. Des anciennes écoles d'ingénieurs à l'école centrale des Travaux Publics », *Histoire de l'éducation*, n° 42, 1989, p. 13-53. A. Drouard, *Analyse comparative des processus de changement et mouvements de réforme dans l'enseignement supérieur français*, CNRS, ATP 25, 1978. R. Fox et C. Weisz (dir.), *The Organization of Science and Technology in France 1808-1914*, op. cit. A. Grelon et A. Ternier, « Chronologie des ingénieurs (1744-1985) », dans A. Grelon (dir.), *Les Ingénieurs de la crise*, Paris, EHESS, 1986. A. Prost, *Histoire de l'enseignement en France, 1800-1967*, Paris, A. Colin, 1968. T. Shinn, « Des sciences industrielles aux sciences fondamentales. La mutation de l'École supérieure de physique et de chimie (1882-1970) », *Revue française de sociologie*, XXII, 1981, p. 167-182. T. Shinn, « The French Science Faculty System, 1808-1914: Institutional Change and Research Potential in Mathematics and the Physical Sciences », *Historical Studies in the Physical Sciences*, Baltimore, John Hopkins University Press, 1979, p. 271-332. A. Thépot, « Les institutions scientifiques et techniques au XIX^e siècle », *Histoire de l'éducation*, n° 18, avril 1983. C. Zwerling, « The Emergence of the École normale supérieure as a Centre of Scientific Education in the XIXth Century », dans R. Fox et C. Weisz (dir.), *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914*, op. cit.
- 2 Il faudrait aussi pouvoir étudier les stages effectués par les élèves dans les entreprises (d'informatique notamment), qui jouent dans leur formation un rôle aussi important que les options suivies à l'école. Une telle enquête, faite d'archives détaillées, devrait commencer par une longue série d'entretiens.
- 3 COPEP, *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, septembre 1963, p. 17.

formation par un Master's aux États-Unis (MIT et Stanford), notamment dans les domaines des hyperfréquences et des asservissements. Les besoins de calcul s'y sont fait sentir assez tôt, que ce soit pour la conception des avions (mécanique des fluides, résistance des structures) ou pour leur simulation avant les essais en vol, dans un souci d'économie et de sécurité.

C'est ainsi qu'un ingénieur Supaéro, Jean-Charles Gille (X 1943), effectue un stage de longue durée au MIT en 1949-1950. Gille est un surdoué qui assimile et comprend avec une exceptionnelle facilité ; les mois qu'il consacre à visiter le Servomechanism Lab, le Computation Lab et d'autres centres, à lire les publications américaines, à suivre des cours et à s'intégrer au petit monde de la recherche bostonienne, sont extrêmement profitables. Rentré à Supaéro, Gille lance une dynamique, nouvelle à tous points de vue. Il crée un cours sur les asservissements, constitue une équipe d'enseignement et de recherche, envoie ses élèves compléter leur formation aux États-Unis. C'est sans doute le premier cours régulier en la matière qui ait été professé en France, faisant de Supaéro un pionnier de cette discipline qui s'appellera plus tard l'Automatique.

326

Gille a vraiment créé la science des servomécanismes en France. C'était un pédagogue hors pair, ses cours et ses livres étaient d'une limpidité extraordinaire. Contrairement aux autres professeurs, qui évitaient tout contact avec leurs élèves, il nous faisait participer à ses recherches, relire ses bouquins... on discutait beaucoup. J'ai beaucoup regretté qu'il ait quitté la France⁴.

Un camarade de promotion de Gille, Marc Pélegrin (X 1943), suit le même processus initiatique et passe deux années outre-Atlantique – à l'université de Rochester et aux laboratoires de la Houdry Process Corp., puis au MIT où il commence une thèse sur le « Calcul statistique des asservissements », thèse terminée en France en 1952. Dès son retour, il est associé au cours de Gille sur les asservissements et publie sur ce sujet. Pélegrin participe aussi aux enseignements de mathématiques appliquées, où les élèves s'initient à l'utilisation des calculateurs analogiques mécaniques : analyseurs harmoniques, intégrateurs à roulettes ou à sphère Coradi et Amsler⁵. Le programme traite

4 Entretien avec Jacques Stern, que Gille a envoyé apprendre « les technologies digitales » au Computation Laboratory d'Aiken (Harvard) en 1956. Hors de ses activités à Supaéro, Gille est un pianiste acharné et suit des études médicales qui le conduisent à l'internat en 1957. C'est aussi un catholique traditionaliste imprégné d'une profonde culture théologique. Choqué par la façon dont le régime gaulliste se débarrasse du problème algérien, il vient témoigner au procès de Jean Bastien-Thiry et annonce que, au cas où celui-ci serait condamné à mort, lui-même quitterait la France. Il tient parole et émigre au Québec ; il enseignera à l'université de Laval jusqu'à sa mort solitaire en 1992.

5 Ces techniques sont traitées dans le cours de *Mathématiques* de Bass. Ce classique, plusieurs fois réédité (Masson, 1956, 1961, 1968), continue à présenter jusqu'à la fin des années soixante les remarquables appareils de ces deux constructeurs suisses.

également des cuves rhéologiques construites par Malavard, ancien élève de l'école, pour le laboratoire d'aérodynamique de Supaéro.

Sans doute à la demande des industriels qui siègent au conseil de perfectionnement, l'école instaure en 1954 un cours de machines à calculer, confié à Pélegrin et couvrant tous les domaines du calcul pour ingénieur⁶. Celui-ci est déjà assez vaste pour se subdiviser : le professeur suppléant de M. Pélegrin, Maurice Danloux-Dumesnils, se spécialise dans l'analogique⁷. Supaéro se dote d'une machine analogique SEA en 1955, puis d'ordinateurs SEA CAB 500 et CAE 510 installés au laboratoire de calcul de l'école vers 1964.

De plus, le Centre d'études et de recherches en automatisme de Supaéro (CERA), fondé en 1956 par Gille et Pélegrin, met ses propres équipements SEA, Analac et IBM à la disposition des élèves effectuant une quatrième année d'études et des chercheurs stagiaires ; le CERA travaille notamment pour l'Armement, pour divers services publics et pour l'industrie. Supaéro est ainsi l'une des premières écoles d'ingénieurs à se lancer dans la recherche.

L'informatique des systèmes temps réel finit par représenter 40 % des cours d'électronique de l'École au niveau des enseignements de spécialisation en 1967 – cours assuré notamment par Jacques Stern, un élève de Gille, qui a dirigé le développement du réseau radar informatisé de l'Armée de l'air. En 1967, le responsable du groupe informatique du CERA, Vincent Tixier, se lance avec son équipe (une dizaine de personnes) dans la conception d'un système d'exploitation en *time sharing*, notion encore expérimentale à l'époque, en collaboration avec la CII qui fournit un gros ordinateur 10.070. Ce « Système à accès multiple » (SAM) sera mis en service opérationnel en 1971, fonctionnant avec 35 terminaux simultanément. Cela bien que la CII ait retiré sa participation un an avant, pour développer son propre système Siris.

Suivant la décentralisation de l'ENSA, une partie du CERA sera transférée en 1970 à Toulouse, renforçant le potentiel de cette ville en matière d'automatisme. Le nouveau CERT (Centre d'études et de recherches en automatisme de Toulouse) sera dirigé par Marc Pélegrin.

Supélec : des électroniciens aux informaticiens

L'École supérieure d'électricité (ESE ou « Supélec »), jadis prompte à intégrer les nouvelles disciplines (radio-électricité), peine à s'adapter à l'environnement

6 M. Pélegrin, *Machines à calculer électroniques arithmétiques et analogiques*, Paris, Dunod, 1959. Pélegrin participe aussi à la rédaction d'un grand classique de l'Automatique : M. Pélegrin, J.-C. Gille, P. Decaulne, *Méthodes modernes d'études des systèmes asservis*, Paris, Dunod, 1960.

7 M. Danloux-Dumesnils, *Le Calcul analogique par courants continus*, Paris, Dunod, 1958.

façonné par la nationalisation de l'électricité et traverse dans les années cinquante une crise d'image et d'identité.

Cependant, le recrutement Supélec domine dans les premières équipes construisant des calculateurs numériques : SEA, Bull, CAE, etc. Ces firmes ont besoin d'ingénieurs compétents en électronique générale, capables de concevoir et de réaliser des circuits ou des modules d'entrée-sortie. Or cette compétence se trouve à Supélec, qui a introduit des cours sur les transistors avant les autres écoles. Par ailleurs – c'est un rôle latéral de l'enseignement supérieur – s'y révèlent des tournures d'esprit individuelles qui ne correspondent pas nécessairement à des matières du programme, mais à ces besoins nouveaux de la technique.

On n'apprenait rien en calcul à Supélec [vers 1955] ! D'ailleurs je n'étais pas une bonne élève : j'apprenais mes cours dans le bus, et je les oubliais dès que l'examen était passé. Mais, presque par hasard, je me suis découvert un don pour résoudre les problèmes "cybernétiques" : les problèmes de feed-back, d'interactions, bref les problèmes logiques. Quand on travaillait en groupe, mes camarades calaient là-dessus, et pour moi la solution était évidente⁸.

328

L'école commence au milieu des années cinquante à dispenser des enseignements de servomécanismes et de calcul, sous l'impulsion de F.-H. Raymond (ESE 1937), de François Cahen et de Jean Carteron (EDF). En 1957, une vague de créations de cours instaure, en seconde année, cinq, puis huit conférences annuelles de « calcul électronique » confiées à J. Carteron. Dans un cadre aussi limité, il ne peut s'agir que d'un survol destiné à initier de futurs utilisateurs.

Supélec connaît une véritable renaissance à partir de 1961 lorsqu'un normalien, Philippe Olmer, en prend la direction, rétablit des contacts étroits avec l'université, modernise la pédagogie : classes en petits groupes remplaçant les amphi magistraux, corps permanent de professeurs qui font de la recherche et encadrent les élèves. Pour s'adapter aux demandes et se remettre dans le mouvement des sciences, l'École diversifie sa formation et institue des options : physique atomique, physique des solides, etc. Dès 1961, l'option « Calcul automatique » – cinquante conférences en 3^e année – attire une trentaine d'élèves et leur offre un début de spécialisation. Elle est animée par J. Carteron (EDF, structure générale et programmation des calculateurs), A. Amouyal (CEA, analyse numérique), J. Neveu (ESE, probabilités), A. Profit (CNET, électronique appliquée aux calculateurs), J. Hebenstreit (travaux pratiques). Le but est de « susciter l'enthousiasme des élèves » dans une « ambiance libérée des contingences d'examen et de contrôle scolaire », voire de laisser « une

8 Entretien avec Evelyne Andreevsky, novembre 1994. Le fait qu'on « n'apprenait rien en calcul à Supélec » vers 1955 confirme que la tentative de Roth à Supélec, avant guerre, n'a pas eu plus de lendemain que celle de Le Corbeiller à Sup'Télécom.

place convenable à l'imagination et aux tentatives téméraires⁹ ». L'ambition est désormais de former non seulement des utilisateurs, mais des spécialistes pour l'industrie informatique.

La participation d'ingénieurs des télécom atteste l'avance de Supélec sur les autres Grandes Écoles. Alain Profit, qui développe l'ordinateur Ramsès au CNET, s'est documenté en lisant les livres des pionniers (Wilkes, Boucher, etc.) et a appris beaucoup en enseignant.

Le destin des ingénieurs des télécom était d'enseigner à l'École des Télécom ; je n'ai pas eu cette chance car l'École n'avait pas encore découvert l'informatique, donc je suis allé enseigner l'informatique, la technologie, à Supélec pendant une dizaine d'années à partir de 1960-1962. [...] Supélec cherchait des profs, ils avaient sollicité Dayonnet qui, partant à la Cie des Compteurs, m'a laissé sa place. Supélec a eu besoin de profs parce qu'ils ont décidé de faire une option informatique, qui durait un an. Donc j'ai fait partie de cette équipe initiale. [...] Carteron y était également, il faisait le cours de logiciel. C'est sans doute par Carteron que Dayonnet avait été sollicité, car ils se connaissaient.

Supélec se dote en juin 1962 d'un centre de calcul (CAB 500 SEA et machines analogiques) dirigé par Jacques Hebenstreit. Celui-ci réunit bientôt une équipe de recherche et crée dès 1963 un cours d'informatique – sous ce nom. L'action pédagogique se matérialise sous la forme de petits appareils électroniques destinés à initier à la logique des circuits digitaux : calculateur simplifié construit en circuits intégrés par la CAE en 1966, « Synémath » construit par la société toulousaine Synélec.

Le passage de la scolarité de deux à trois ans permet une spécialisation plus sérieuse. Une section *Informatique* voit le jour en 1966 ; elle attire une vingtaine d'élèves de troisième année, bientôt une quarantaine, qui suivent cours théoriques et travaux pratiques et réalisent des projets confiés par des entreprises. En 1967 l'équipement est modernisé avec un IBM 1130 et un HP 2116 sur lequel on développe un système en *time sharing* à 13 consoles¹⁰. Un enseignement plus théorique apparaît avec le cours de théorie de l'information de Cl. Kaiser

9 Discours de J. Carteron et de F.-H. Raymond à l'inauguration du centre de calcul de l'ESE, 20 juin 1962. Le patron de la SEA renchérit sur le discours de Ph. Olmer. Celui de J. Carteron rappelle les balbutiements de l'enseignement du traitement de l'information en France depuis 1955 et prévoit que celui de l'ESE prendra bientôt encore plus d'ampleur et de cohérence, pour accompagner la forte croissance du calcul électronique.

10 Y. Noyelle, « La saga du LSE (et de ses cousins LSD/LSG/LST) », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.* G. Ramunni et M. Savio 1894-1994, *Cent ans d'histoire de l'École supérieure d'Électricité*, Paris, Supélec, 1995. Un autre enseignant, Pierre Henry, diffuse un polycopié d'*Informatique-Programmation* (ESE, 1964, 108 p.). Toujours installé à Supélec Malakoff, le centre de calcul est passé entre temps, vers 1966, d'une machine à bandes perforées CAE 510 à une machine à bandes magnétiques SDS 90-*

(Centre de programmation de la Marine). Les cours d'informatique deviennent obligatoires en 1968. Hebenstreit définira en 1968-1971 un « Langage symbolique d'enseignement » (LSE), à partir de PAF et d'Algol, sous contrat avec la Délégation à l'informatique. Bien adapté aux mini-ordinateurs, ce langage pédagogique de haut niveau (procédures, récursivité, nombreuses fonctions chaînes, mode machine de bureau, conversationnel, en temps partagé...), sera largement diffusé dans l'enseignement secondaire et technique.

330 J. Hebenstreit décrit en 1968 le programme de son cours d'un an à Supélec comme un modèle possible d'enseignement de l'informatique dans une école d'ingénieurs : l'objet fondamental de l'informatique est moins l'information que sa structure – la définition même de l'information selon Shannon implique la notion de structure, et les ordinateurs sont des dispositifs de manipulation des relations entre symboles. Cela n'implique pas que l'informatique soit une partie des mathématiques, celles-ci ayant, selon Brillouin, un contenu informationnel nul. L'informatique n'est pas davantage une partie de l'automatique : l'automatique ayant pour objet principal le contrôle de l'énergie et son principal problème étant celui de la stabilité, elle utilise seulement certaines parties de l'informatique.

Cette philosophie de l'informatique conduit à un programme d'enseignement orienté vers la construction des machines : circuits de logique combinatoire et de logique séquentielle, automates d'état fini et langages réguliers, automates à pile et langages CF, machines de Turing et fonctions calculables, problèmes de décidabilité et théorie des algorithmes. Le cours explicite l'approche spécifique de l'informaticien, l'importance de la syntaxe (toujours la structure), les relations entre le câblé et le programmé. Il indique aussi ce qu'un ordinateur ne pourra jamais faire. Les autres cours sont articulés autour de ce cours central, tous orientés vers l'intérieur de l'ordinateur : conception d'une unité centrale, relations unité centrale / périphériques – aussi importantes que la programmation, car celle-ci est déterminée par l'architecture¹¹.

Supélec est ainsi à même de fournir en ingénieurs les services d'études des constructeurs. Elle est sans doute la première école française d'ingénieurs dont les anciens élèves créent un « groupement informatique » au sein de leur association.

En 1970, un ordinateur CII 10.070 est installé à Supélec, décidément la mieux équipée de toutes les écoles d'ingénieurs françaises. Il est financé pour l'essentiel par le Ministère de l'Éducation nationale, dont Supélec est un partenaire privilégié pour mettre en œuvre la politique en faveur de l'informatique : Hebenstreit est conseiller de la Mission à l'informatique du Ministère, et l'école a pris en charge la formation des professeurs d'informatique des IUT. Elle organise aussi, pour

11 J. Hebenstreit, « Un enseignement de l'informatique orienté vers la construction des machines », Congrès IFIP, 1968, Edimbourg, brochure en Français *Résumés des Mémoires*.

les cadres en activité, des sessions de perfectionnement étalées sur un trimestre sur les ordinateurs et leurs utilisations dans l'industrie (200 ingénieurs recyclés en 1970)¹². C'est dans cette ambiance novatrice qu'en 1974 Supélec rassemblera plusieurs équipes de recherche en un Laboratoire des signaux et systèmes, dirigé par un professeur à l'université d'Orsay, Bernard Picinbono.

SupTélécom

L'École nationale supérieure des télécommunications a été fondée en 1942, en même temps que le corps des ingénieurs des télécommunications, par scission de l'école et du corps des PTT. Il s'agit donc d'une création récente, qui n'a pas le prestige attaché aux principales écoles d'application de l'École polytechnique : les Mines, les Ponts¹³. C'est d'ailleurs une petite école qui n'a pratiquement pas d'enseignants permanents. Les promotions passent d'une vingtaine d'élèves en 1950 à une centaine au milieu des années 1960. Est-ce le souci de maintenir tant bien que mal son rang, dans la hiérarchie traditionnelle des Corps, qui réduit l'ENST à se cantonner dans un rôle d'école du ministère, au lieu de s'ouvrir aux nouvelles technologies qui commencent à transformer les perspectives de la profession ? Il est vrai que le ministère de tutelle élèvera des objections contre tout ajout de nouvelles matières alourdissant l'enseignement – par exemple l'informatique.

Pour François du Castel, « l'École continuait à être gérée et à se percevoir comme une école de l'administration des PTT, alors que, dès la fin des années cinquante, il y avait en fait moins d'élèves du corps des télécom que d'élèves externes, futurs ingénieurs civils destinés à l'industrie¹⁴... ». La contestation grandit face à un cursus qui date. En attendant que l'École « découvre l'informatique », les spécialistes du CNET, comme A. Profit, vont enseigner les technologies numériques à Supélec, et les élèves qui s'y intéressent font des escapades à l'université.

Au début des années soixante, le directeur des services d'enseignement des P&T souligne que les matières fondamentales en 2^e et 3^e année de l'ENST relèvent essentiellement d'une approche théorique (« Physique du solide », « Commutation générale », « Électrotechnique générale »), et ajoute : « J'espère que nous pourrons y ajouter bientôt un cours de transmission de données et de théorie de l'information qui regroupera, en leur donnant un développement plus important, certaines notions actuellement éparées dans différents cours. » Il

12 Discours de W. Mercouff à l'inauguration du nouvel ordinateur de Supélec, lors du 75^e anniversaire de l'école, 25 novembre 1970 (archives privées de W. Mercouff, dossier Mission à l'informatique, MEN, 1971-1974).

13 T. Vedel, « Les ingénieurs des télécommunications. Formation d'un grand corps », *Culture technique*, mars 1984, n° 12, p. 63-75.

14 Entretien avec F. du Castel (X-1943, ENST 1945). Pour une vue générale, voir l'ouvrage de M. Atten, F. du Castel et M. Pierre (dir.), *Les Télécom, Histoire des Écoles supérieures des télécommunications, 1840-1997*, Paris, Hachette, 1999.

mentionne ensuite les « autres cours », « dont la portée est un peu moins générale : mesures [...], transistors, servomécanismes, machines à calculer¹⁵ ». Un centre de calcul... analogique est créé en 1962. Quelques bourses pour des séjours aux États-Unis s'ajoutent aux visites et stages traditionnels dans les services des PTT.

L'ENST confie en 1962 une maîtrise de conférences à Jacques Dondoux (X 1951-SupTélécom), nouveau chef du département « Recherches sur les machines électroniques » du CNET, qui s'est initié en Angleterre au calcul électronique et a développé les mémoires de l'ordinateur Antinéa ; un poste de professeur d'informatique est créé pour lui en 1966. Son activité au CNET, tout comme la mission de l'école, explique que son cours « fut au départ non un enseignement de l'informatique mais un enseignement sur les calculateurs dans l'optique de la commande des centraux »¹⁶ :

332

Dans mon cours, il y avait du *soft*. Dans mon bouquin, [...] c'est Marano qui a écrit la partie sur le *software*, il montrait comment marche un assembleur. C'était assez moderne à l'époque. [Mais] au CNET, on faisait de l'assembleur, presque pas de langage symbolique. Notre priorité était la rapidité des calculateurs. Ça nous a conduits à une erreur de fond : les langages symboliques étant 3 ou 4 fois moins efficaces que le langage machine, on n'avait pas vu que ça serait compensé par la montée en puissance rapide des calculateurs. On n'avait pas compris que, quand on recevait un calculateur nouveau, il ne fallait surtout pas réécrire les programmes, il fallait émuler l'ancien calculateur, même si ça donnait un mauvais rendement¹⁷.

Le véritable enseignement complet *hard + soft* ne verra le jour qu'en 1967-1968. Cette novation se situe dans une ample réforme des études de l'ENST, qui dépasse d'ailleurs les 250 élèves en 1965. L'enseignement s'ouvre sur la recherche, par exemple en physique électronique sous l'impulsion de M. Bernard, en théorie de l'information avec un cours assuré par un universitaire, B. Picinbono. Un dépouillement de la revue *Télécom* permet de cerner les principales interfaces entre informatique et télécommunications, perçues par les ingénieurs du corps dans la seconde moitié des années soixante : théorie de l'information (influence évidente des Bell Labs) ; applications de l'électronique digitale à la téléphonie ; asservissement de mécanismes, notamment d'antennes (radars de

15 M. Bramel de Cléjoux (X-1923, ENST 28), « L'enseignement à l'ENST », *Télécom*, novembre 1963, n° 2. M. de Cléjoux succède peu après à Ch. Suchet (X-1919) qui a dirigé l'ENST pendant quelque 30 ans.

16 J. Carteron, « 1950-1980 : Les trente années où Télécom et informatique se sont rencontrées », *Actes du 4^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit.

17 J. Dondoux, entretien avec M. Atten, F. du Castel et P.-É. Mounier-Kuhn, 12 décembre 2001. Sur les contenus, voir J. Dondoux, Ph. Marano, J.-Cl. Merlin, *Introduction à l'informatique : structure et programmation des ordinateurs*, Paris, A. Colin, 1971.

tracking, communications avec les missiles et les satellites, etc.) ; participation au développement de la téléinformatique.

En 1968, nouvelle contestation, et nouvelle réforme qui entrera en vigueur en 1970. L'École se restructure en quatre options : télécommunications, radiodiffusion, spatial, informatique. L'option « informatique », toujours dirigée par J. Dondoux, est désormais beaucoup plus complète : elle forme, aussi bien au *hard* qu'au *soft*, des ingénieurs qui se destinent plus à l'industrie qu'à l'administration des Télécom. Rémy Després, qui a participé au développement du calculateur Ramses II et de son système *time-sharing*, puis est parti « apprendre l'informatique » aux États-Unis en 1967 avec une bourse de la DRME, revient enseigner la programmation de systèmes à l'ENST. L'école se dote en même temps d'un service de recherches, animé par Claude Guéguen, autour de la notion de systèmes.

L'École Centrale de Paris

Même périodisation à l'École Centrale : l'informatique n'y paraît en force qu'à la fin des années 1960. Or des centaines de centraliens travaillent déjà, depuis longtemps, dans ce secteur. Ce qui pose le problème des relations entre formation et emploi¹⁸.

Fondée en 1829, Centrale a pour vocation l'application « des données de la science aux problèmes techniques, économiques et pratiques que pose le développement de la civilisation industrielle ». Elle forme ainsi des ingénieurs généralistes en trois ans après les deux ans de préparation intensive au concours d'entrée. Au milieu des années cinquante, quelques séances du cours de « courants faibles » (électronique) sont consacrées à la « théorie de l'information », dans le cadre de la spécialisation de fin d'études (option « électricité et mécanique »). Il y a bien entendu une épreuve traditionnelle de calcul numérique au concours d'admission, de même qu'une épreuve de dessin industriel.

En 1959 une réforme de l'enseignement est décidée pour « tenir compte du développement accéléré des sciences et des techniques », et mise en œuvre progressivement. La première année est consacrée à compléter les connaissances scientifiques de base en mathématiques, physique, chimie et thermodynamique. La deuxième initie les élèves aux « sciences industrielles fondamentales » comme l'électronique ou l'électrotechnique. La troisième année achève de les former en les spécialisant en cinq options : mécanique, chimie, construction, mécanique et électricité (le secteur électrotechnique est devenu le premier employeur de jeunes centraliens : 13 % des centraliens de moins de 30 ans en 1963), recherche (option

¹⁸ Les paragraphes qui suivent résument un article publié dans les actes du colloque sur *Les Centraliens et l'Industrie*, à paraître aux PUPS.

créée en 1961 pour former des ingénieurs de recherche et étoffer les laboratoires de l'école, et qui attire beaucoup de bons éléments) ; des cours d'initiation à la vie économique et sociale, notamment au fonctionnement des firmes, ainsi qu'un stage en entreprise, complètent cette professionnalisation.

Cette préparation directe à la vie professionnelle est sans doute la principale spécificité des centraliens par comparaison avec les formations scientifiques universitaires, et attire chaque année quelques licenciés ès-sciences qui entrent directement en 2^e année. Le corps enseignant, environ 80 professeurs, chefs de travaux et assistants, est formé à la fois d'enseignants de l'université ou du CNAM et d'ingénieurs exerçant dans l'industrie ou l'administration : un bon taux d'encadrement, en principe, pour des promotions qui augmentent progressivement d'environ 200 à 300 ingénieurs. En fait, la plupart n'enseignent qu'à temps partiel. D'autre part, les élèves réclament, comme dans bien d'autres écoles d'ingénieurs, une diminution des cours magistraux jugés parfois poussiéreux (ils y sont d'ailleurs peu assidus), au profit d'une plus grande part de travail personnel. Installée dans ses locaux historiques à côté du CNAM, l'école cherche de la place en banlieue pour s'étendre.

334

Au début des années 1960, l'ECP offre un solide programme de mathématiques professé par M. Parodi (CNAM), qui inclut une « révision d'algèbre moderne » (ensembles, notion de structure, algèbre de Boole). Les cours d'électronique et d'automatique consacrent quelques séances aux calculateurs analogiques, aux fonctions logiques (algèbre de Boole, logiques à semi-conducteurs, bascules à transistors et à tores) et aux principes des calculateurs numériques.

Les jeunes centraliens qui choisissent alors d'entrer chez un constructeur d'ordinateurs ne sont donc pas totalement analphabètes en la matière et peuvent être assez rapidement formés à la conception d'ordinateurs, à la production de hardware, voire au développement de software. Leur « employabilité » générale explique leur forte représentation dans l'industrie informatique, qui a d'ailleurs besoin aussi de leurs compétences classiques, que ce soit en électromécanique (périphériques) ou en encadrement d'usines. On trouve une quarantaine de centraliens dans ce secteur dès la fin des années 1950, effectif en rapide croissance, et sans doute autant chez les utilisateurs de machines informatiques, par exemple au Commissariat à l'énergie atomique.

Jusqu'à 1965, l'emploi des ordinateurs reste cependant invisible dans les perspectives de l'ECP – comme dans les projets de fin d'études des élèves. L'école est surtout préoccupée par la construction d'un nouveau campus, la gestion des élèves et des concours, le changement de son directeur, le passage de l'école sous la tutelle de la direction des Enseignements supérieurs. C'est seulement à la

fin de cette année 1965 qu'elle envisage la création d'un petit centre de calcul et recrute une assistante à temps partiel pour commencer à initier les élèves à la programmation¹⁹. Des TP de programmation sont introduits en 1^{ère} année, des exercices de calcul en 2^e. La perspective du déménagement de l'école sur un vaste campus au Sud de Paris, à Châtenay-Malabry, permet enfin de mettre en chantier de nombreux projets (décidé en 1961, le transfert aura lieu en 1969) ; une vague de création de postes d'enseignants est lancée.

À la rentrée 1966, l'école ouvre un laboratoire pour l'enseignement du calcul scientifique automatique, autour d'un ordinateur moyen (SETI Pallas). Le responsable est M. Vaysseyre, qui enseigne les mathématiques appliquées à Centrale depuis 1958. Un poste permanent de maître-assistant de l'enseignement supérieur est créé pour lui – une nouveauté à l'ECP. Le choix par l'École Centrale d'un ordinateur SETI Pallas peut s'expliquer, outre les qualités techniques de cette élégante machine universelle conçue pour la compilation des langages évolués, par le souci politique de ne pas choisir entre IBM, Bull et les partenaires du Plan Calcul.

Simultanément apparaît, dans le cadre des cours de gestion et d'économie en 3^e année, une initiation au traitement de l'information. L'initiateur est Nicolas Manson (ECP 1952), entré chez IBM en 1954 pour développer des méthodes de recherche opérationnelle et de contrôle de production informatisé à l'usine IBM de Corbeil-Essonnes²⁰. Très investi dans les cercles d'ingénieurs en organisation, il a aussi joué le rôle de conseil auprès de clients et de prospects d'IBM, élargissant son champ d'observation, et publié de nombreux articles sur la gestion industrielle. Il a ensuite participé au lancement du « cours d'informatique pour dirigeants d'entreprises », prestigieux stage organisé au centre IBM de La Gaude (Alpes Maritimes). Chargé de conférences vacataire à l'École Centrale à partir de 1966, N. Manson assure « avec grand succès auprès des élèves » un enseignement de 10 leçons et 5 TP d'informatique, soit 20 heures annuelles, dans le cadre de l'option Sciences économiques et Gestion des entreprises²¹.

L'École Centrale met alors les bouchées doubles pour rattraper son retard : achat d'équipements complémentaires, extension des enseignements, création d'une chaire de professeur d'informatique, forte visibilité donnée à cette discipline. Ce bond en avant est favorisé par la conviction du directeur des études, partagée par

19 Il s'agit de Mlle Clair (Mme Boukerche), diplômée de l'École polytechnique féminine, ingénieur dans un bureau de calcul de la Marine.

20 Entretien avec Nicolas Manson, 15 mai 1992. N. Manson deviendra plus tard professeur au CNAM.

21 Parallèlement, des conférences général d'intérêt culturel sur *l'informatique* peuvent être données, comme celle de F.-H. Raymond devant l'association des Centraliens le 17 janvier 1966, dont on a le compte-rendu.

un membre du conseil d'administration, le professeur de thermique et mécanique des fluides Roger Kling, qui lors d'un congrès aux États-Unis sur les formations d'ingénieurs y a découvert l'omniprésence des « machines à calculer » dans les écoles, et par l'activisme de plusieurs centraliens qui parviennent alors à des positions de pouvoir dans l'industrie informatique.

L'un d'eux est Jacques Maisonrouge. Sorti de Centrale en 1948, à l'époque où « le cours d'électronique était facultatif et comprenait 10 amphis, alors que le cours de comptabilité en comprenait 56 », il avait choisi comme sujet de mémoire de fin d'études « L'application de l'électronique au calculateur ». Entré quelques semaines plus tard chez IBM, il est parti en stage aux États-Unis, où il a constaté que son niveau général soutenait largement la comparaison avec celui des *engineers* frais émoulus des écoles américaines²². Devenu l'un des premiers spécialistes français des calculateurs électroniques, il se coule parfaitement dans le moule IBM et devient en 1967 l'un des dirigeants de la multinationale au niveau mondial, président d'IBM World Trade Corp. L'école invite volontiers cet élève exemplaire à donner son avis en matière de formation et de débouchés.

336

Autre figure emblématique pour Centrale, Robert Galley (ECP 1949) vient de quitter la direction de l'usine atomique de Pierrelatte pour devenir Délégué à l'informatique : il est chargé de lancer le Plan Calcul. À ce titre, il fait au conseil d'administration de l'ECP, dont il est membre, un exposé sur les moyens à mettre en œuvre « pour que l'école puisse former des ingénieurs susceptibles d'être utilisés immédiatement ou à temps sur le plan de l'informatique »²³. Comme il n'a aucune expérience personnelle en ce domaine, on peut supposer que le dossier a été préparé par ses conseillers à la Délégation. Message essentiel : l'informatique va pénétrer tous les secteurs, donc on ne doit pas en faire une spécialité trop accusée, mais la faire entrer dans tous les programmes de formation d'ingénieurs – d'autant qu'elle est interdisciplinaire. Il faudrait atteindre un total de 125 h de cours et de travaux pratiques sur les trois années de scolarité.

C'est bientôt chose faite. L'informatique est l'objet d'une initiation dès la 1^{ère} année (notamment deux séances de 3 h pour apprendre la programmation en Fortran) et fait désormais partie des « Sciences appliquées les plus importantes »

22 Entretien avec Jacques Maisonrouge, et portrait dans A. Harris et A. de Sédouy, *Les Patrons*, Paris, Le Seuil, 1977, p. 308-323.

23 CA du 25 juillet 1967, p. 25-38. La longueur de l'exposé, comme la discussion qui le suit, révèle que les dirigeants de l'école se mobilisent en faveur de l'expansion de l'informatique à l'ECP. Kling déclare que l'enseignement de l'informatique est « une priorité absolue » et recommande de « faire tout ce qui est possible pour lui donner plus d'horaires ». Une partie des heures consacrées aux mathématiques en 1^{ère} et 2^e années seront réaffectées en ce sens pour inclure les « fondements de l'informatique (algèbre logique et analyse numérique) » (CA du 28 mai 1968, PV de la commission Contenu des enseignements).

enseignées en 2^e année, où les élèves doivent tous utiliser l'ordinateur à l'occasion d'un projet²⁴. En 3^e année apparaît une nouvelle spécialité : « Mathématiques appliquées et conception de systèmes », destinée à former des informaticiens professionnels.

Au même moment, les centraliens qui travaillent dans l'informatique se regroupent en créant Centrale-Informatique²⁵. Ils sont déjà nombreux, alors que la discipline commence tout juste à s'imposer à l'école : près de 150 centraliens chez les constructeurs (84 chez IBM, 35 chez Bull, 20 à la CII, etc.) et presque autant chez les utilisateurs et dans les sociétés de service²⁶. Cette amicale doit favoriser leurs liaisons, leur donner une visibilité et contribuer à éclairer la direction de l'ECP sur les besoins de l'industrie en ce domaine. Le président est Jacques Maisonrouge, ce qui montre à la fois l'intérêt accordé à un modèle de *manager* international, l'importance accordée au plus gros employeur de futurs diplômés, et le souci d'équilibre politique vis-à-vis du Plan Calcul gouvernemental.

Quelques mois plus tard, la revue de l'école, *Arts et Manufactures*, consacre tout un numéro à l'informatique²⁷ : marché du travail, changements dans la gestion et la prévision des entreprises, passage de la mécanographie à la gestion intégrée, comparaison avec les États-Unis, contenu de l'enseignement... La diffusion d'une culture générale informatique vise ici l'ensemble du lectorat centralien. Un an après, la revue consacre une autre livraison à l'informatique de production et aux calculateurs industriels. Des articles paraissent régulièrement par la suite.

Un département « Mathématiques appliquées et gestion » se constitue autour de Maurice Teper (ECP 1934, professeur de Sciences générales). Teper est d'abord un ingénieur en organisation, qui a travaillé de longues années au cabinet Paul Planus. Il s'est intéressé de façon complémentaire à la mécanographie et a fait un passage à la direction de Bull, avant de devenir conseiller à la direction de la Librairie Hachette²⁸. Participant à l'évolution des mathématiques appliquées vers la « science des systèmes » et les théories de la décision, ce département de service travaille en grande partie au profit des autres disciplines de l'école :

24 R. Boucheron, « L'enseignement à l'École Centrale », *Arts et Manufactures*, n° spécial 207 (L'École Centrale des Arts et Manufactures à Châtenay-Malabry. La formation de l'ingénieur de demain), avril 1970, p. 45.

25 « Création de Centrale-Informatique, groupement professionnel des Centraux de l'Informatique », *Arts et Manufactures*, n° 185, avril 1968, p. 41.

26 *Annuaire des anciens élèves de l'ECP*, 1968.

27 *Arts et Manufactures*, numéro spécial « L'informatique », n° 190, octobre 1968.

28 M. Teper, « Orientation du département "Mathématiques appliquées et gestion" », *Arts et Manufactures*, n° spécial 207, avril 1970, p. 81-82.

- en donnant aux élèves ingénieurs les connaissances nécessaires pour suivre les autres enseignements,
- en mettant à la disposition des autres départements le centre de calcul, les terminaux, les programmes et les assistants nécessaires.

L'option « Mathématiques appliquées » en 3^e année forme des ingénieurs mathématiciens à l'utilisation d'algorithmes pour résoudre des problèmes complexes.

L'option « Systèmes informatiques » approfondit la culture informatique donnée à toute la promotion et vise à former des analystes, des chefs de projet et de futurs directeurs informatiques.

Sur le plan de la recherche, l'école élargit les orientations de ses laboratoires à la « cybernétique industrielle », à la commande numérique de machines-outils et au calcul scientifique pour le génie civil, associant donc l'emploi des ordinateurs aux points forts traditionnels de sa formation.

338

Polytechnique

Quant à l'École polytechnique, il y a peu à en dire sur le plan de la formation à l'informatique à l'époque. « Il paraît invraisemblable, par exemple, qu'il n'y ait même pas une petite machine à l'École polytechnique », s'indigne en 1963 la Commission permanente de l'Électronique du Plan²⁹.

Situation paradoxale : L'enseignement polytechnicien, associant les mathématiques et les sciences « dures », ne conduit-il pas tout naturellement à appliquer les premières aux secondes ? C'était, de fait, la vocation initiale de l'École fondée par Monge, avec la géométrie descriptive. Ne peut-il en être de même au xx^e siècle, notamment à travers le calcul ? Et l'X, formant des ingénieurs-managers, n'incarne-t-elle pas, plus que toute autre institution, l'idéal moderne de mathématisation du monde et de rationalisation des activités humaines, dont l'ordinateur est l'instrument par excellence ? Il semble évident, dès 1960, que tout élève de l'École sera, dans sa vie professionnelle, amené à utiliser le calcul électronique pour ses travaux d'ingénieur ou de chercheur, à développer ou à utiliser dans le cadre militaire des systèmes d'armes automatisés, ou à adapter une organisation aux nouvelles méthodes de gestion par ordinateurs. C'est une perspective connue des dirigeants de grandes

29 COPEP, *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, septembre 1963, p. 34. En fait, la direction des études vient d'acquérir un calculateur... analogique qu'Analac a réussi à vendre au directeur des études de l'école, R. Chéradame. Celui-ci est convaincu ensuite par son adjoint, J.-Cl. Barbance, qu'il vaudrait mieux initier les élèves au digital. Il envisage d'acheter une SEA CAB 500, mais ni les crédits d'études ni la taxe professionnelle n'y suffisent. Un PB 250 – la plus petite machine disponible sur le marché – sera finalement installé en 1965.

entreprises publiques, des sociétés de banque ou d'assurance, des ingénieurs de l'armement qui animent l'association des anciens élèves (« l'AX »), puissant groupe de pression qui contrôle l'évolution et l'identité de l'École³⁰.

Pourtant le sujet n'est jamais évoqué lors des séances du Conseil de perfectionnement, pendant les dix années qui suivent l'installation des premiers ordinateurs en France. La direction de l'école est pourtant très décidée à moderniser le contenu et la forme des enseignements. Dès les années cinquante, l'idéal de l'ingénieur généraliste paraît inadapté à la demande, notamment aux besoins des services de l'Armement qui sont un débouché privilégié de l'X. Ainsi, le directeur des Études et fabrications d'armement déclare en 1955 que, dans les « problèmes concrets d'armement » et d'équipements industriels ou de laboratoires, l'électronique est « utilisée de plus en plus par des ingénieurs spécialisés travaillant au sein d'équipes à technicités multiples »³¹. Mais la volonté réformatrice est freinée par des pesanteurs internes à l'X. Le vieux débat sur la place des mathématiques dans la formation polytechnicienne et sur leur caractère trop abstrait se poursuit à travers les réunions.

Rénover les mathématiques appliquées

Les mathématiques appliquées sont enseignées par un professeur, Brard, et cinq maîtres de conférences : Paul Arribat, Robert Dautray³², Paul Jaffard, Élie Roubine, Jean Vavasseur. Roger Brard (X 1925), est un ingénieur du Génie maritime qui a gagné une réputation dans les années trente par sa méthode de calcul d'hélices, et la perd vers 1960 en dirigeant l'irréalisable projet de sous-marin nucléaire Q 244. Son cours de mathématiques appliquées, professé depuis les années 1940 à l'École polytechnique, fait l'unanimité contre lui³³. « C'était une catastrophe. Le cours de Brard a dégoûté toute une génération des probabilités et des statistiques³⁴. » Or, la formation des élèves

30 Pour une grande synthèse sur l'ensemble de ce sujet, voir B. Belhoste, A. Dahan & A. Picon (dir.), *La Formation polytechnicienne (1794-1994)*, Paris, Dunod, 1994.

31 IGA Hervet, DEFA, au Secrétaire d'État à la Défense et aux Forces armées, 5 juillet 1955, SHAA E 4401.

32 Robert Dautray (Arts et Métiers, X 1949, Mines) est nommé en 1957 maître de conférences en Mathématiques appliquées à Polytechnique. Il travaillera bientôt au Commissariat à l'énergie atomique. Par ailleurs R. de Possel est maître de conférences dans la chaire d'Algèbre et de Géométrie ; Louis Robin (CNET) et Robert Vallée sont maîtres de conférences dans la chaire d'Analyse.

33 Doléances des représentants des élèves au Conseil de perfectionnement. Entretiens avec J.-Cl. Barbance, P. Thellier et A. Chaverebière de Sal. Le cours de Brard est jugé ennuyeux, mal conçu, dénué de pédagogie – notamment, *a posteriori*, par les jeunes diplômés qui ont pu le comparer à l'enseignement américain des *applied maths*.

34 Entretien avec Jacques Stern (30 mars 1999), qui poursuit : « Les mathématiques appliquées, je les ai apprises aux États-Unis avec Rice – le plus grand spécialiste mondial des processus stochastiques... ».

repose exclusivement sur le cours, la plupart d'entre eux ne lisant jamais un livre hors du programme *stricto sensu*³⁵ : ce serait un travail superflu dans un enseignement entièrement organisé autour des concours, et où la recherche n'a pas de place.

340

Le problème transparait à travers les discussions du Conseil de perfectionnement, où la rénovation des mathématiques appliquées a d'influents avocats : Pierre de Valroger, directeur de Supaéro, qui remarque chez les élèves « de légères déficiences » en calcul symbolique et séries de Fourier (voir, à la fin de la précédente partie, les recommandations faites en 1950 par la Société française des électriciens sur le renforcement de ces matières). Albert Caquot, qui « souligne la déficience des bureaux d'études en calcul des probabilités, en calcul tensoriel, et calcul matriciel » (il y a pourtant une épreuve de calcul numérique au concours d'entrée à l'X, et la bibliothèque de l'X acquiert dès leur parution les traités de Kuntzmann, de Korganoff, etc.). Ch. Suchet, directeur de l'ENSTélécom, qui « évoque l'importance de l'algèbre de Boole pour les cours d'installations téléphoniques de son école, et l'utilité de l'enseignement des Mathématiques appliquées à l'X³⁶. » Louis Armand, pour qui « un cours d'analyse hautement abstrait ne devrait être donné qu'à une minorité – la majorité des élèves n'ayant besoin que d'un cours orienté vers les applications » ; il s'en est entretenu avec Laurent Schwartz qui entrevoit une solution, distinguant « trois stades dans les mathématiques :

- le premier conduit à l'électronique et à la résistance des matériaux,
- le second mène à la physique nucléaire et à la mécanique quantique,
- le troisième, le bourbakisme, ne débouche encore sur aucune application.

L'X doit enseigner les deux premiers stades à tous les élèves et le troisième aux meilleurs »³⁷.

En 1965 est créé un enseignement d'analyse numérique comprenant huit leçons magistrales. Le poste de professeur « à discipline secondaire » est confié à un disciple de Schwartz, Jacques-Louis Lions. Soulignant que c'est une

35 « L'autre chose également que mon séjour aux États-Unis m'a apprise, c'est de lire. À l'X, on n'allait à la bibliothèque que pour préparer les examens généraux, parce qu'on était tranquille pour travailler, mais je n'ai pas touché un livre... [...] [À Harvard] il y avait des questions assez faciles, on avait une impression de facilité par rapport aux étudiants américains ; et puis il y avait des questions auxquelles je ne pouvais même pas répondre. Alors j'avais été voir le prof après l'examen en disant : « Vous n'avez jamais traité ces questions-là ! » Il me répond : « Mais si, parce que tel Mardi, je vous ai donné des lectures. » À la fin de chaque cours il y avait des lectures [conseillées en bibliographie]. Or pour moi, je considérais que les lectures c'était pour comprendre le cours. Et comme on comprenait, on n'allait pas à la bibliothèque... » (entretien avec Jacques Stern, 30 mars 1999).

36 PV Conseil de perfectionnement, 19 octobre 1961.

37 PV Conseil de perfectionnement, 5 janvier 1961.

des nouveautés de la réforme des mathématiques à l'École et que « le type de mathématiques que représente l'analyse numérique est d'un intérêt tout particulier », Louis Armand espère qu'elle suscitera des vocations à l'X. Il voit juste : Lions repère et attire immédiatement de jeunes talents qu'il insère dans son entreprise de développement des mathématiques appliquées, souvent en leur faisant passer une thèse à l'Institut Blaise Pascal.

Laurent Schwartz propose simultanément la création d'un laboratoire de mathématiques. On assiste ainsi à une cristallisation comparable à ce que nous avons observé dans plusieurs universités provinciales, dix à quinze ans plus tôt. Mais il n'en découlera pas un réel développement de l'informatique.

L'École s'efforce seulement de valoriser cette nouveauté en organisant parallèlement, en janvier 1966, un « cycle de conférences post-scolaire » destiné « à tous les ingénieurs ayant une bonne formation scientifique générale ». Le directeur des études en résume l'esprit :

montrer, sous le double aspect de la théorie et de l'application, comment les solutions numériques des problèmes sont reprises par les méthodes de l'analyse numérique pour être poussées jusqu'au résultat numérique avec l'aide des machines à calculer modernes³⁸.

Les contraintes qui enserrant la formation polytechnicienne font en effet obstacle à toute novation en profondeur : comment installer des classes et des équipements supplémentaires dans les bâtiments bondés de la rue Descartes ? Ceux-ci craquent sous la pression des nouvelles promotions, l'effectif totalisant alors 600 élèves ; l'École n'a pas un mètre carré disponible pour loger le laboratoire de mathématiques souhaité par Schwartz. Comment ajouter de nouveaux cours dans un programme déjà surchargé par les exigences d'une vaste culture scientifique ? Comment organiser des enseignements différenciés en options sans attaquer le « tronc commun » de matières obligatoires et sans perdre de vue le but final des études : le concours de sortie et le classement qui déterminera la carrière professionnelle des lauréats³⁹ ?

³⁸ R. Cheradame au DG du CNRS, 29 novembre 1965. Arch. nat. 78/0309/45 MEN, Chemise École polytechnique.

³⁹ L'École s'est ouverte marginalement à la recherche : reconnaissance officielle du centre de recherches physiques à l'École en 1949, puis décret Guillaumat du 4 juillet 1959 créant la « botte recherche » : les élèves ayant demandé à la sortie de l'X à être classés « recherche », sans passage par une école d'application, embrassent une carrière scientifique en préparant un doctorat en 6 ans maximum ; ils doivent ensuite 10 ans de services, soit dans la recherche, soit dans un emploi public de l'État. En 1963, sur une promotion de quelque 300 polytechniciens, 45 ont choisi de faire de la recherche.

La difficulté à faire évoluer les cours de mathématiques appliquées vers l'informatique se comprend si l'on envisage ce faisceau serré de contraintes, où les « facteurs culturels » tiennent à mon avis moins de place que les problèmes d'organisation et les règlements qui assurent des chaires à vie, combinés à la « demande sociale » qui exige toujours plus d'ingénieurs. Une préoccupation essentielle est de définir les conditions dans lesquelles les promotions pourraient être portées à 400 élèves, problème confié à une « Commission des 400 » qui conclura à la nécessité de transférer l'école dans un site proche de Paris – ce sera à Palaiseau, en 1972.

342

Face aux propositions continues d'enrichissement des programmes, les responsables de la réforme à la direction des études préfèrent, plutôt que d'allonger la durée de la scolarité, réduire les programmes tout en maintenant le niveau de l'enseignement. La direction doit donc effectuer un arbitrage permanent et très délicat, compte tenu de la personnalité des enseignants, afin de réaliser un dosage harmonieux entre les disciplines scientifiques de base et des spécialisations toujours plus nombreuses et attrayantes. Sur le plan des méthodes, la principale réforme consiste à généraliser l'enseignement par petites classes, entraînant la réduction des cours magistraux et le recrutement de nombreux maîtres de conférences.

L'enseignement de l'informatique est finalement introduit en 1968. Au début de cette année, un groupe de travail présidé par P. Lhermitte, chef du service informatique d'EDF, a été chargé d'étudier les problèmes de l'École et de proposer des changements.

L'introduction de l'informatique est souhaitée par le Groupe ainsi que par les personnalités qu'il a entendues. En tout état de cause, il convient de familiariser tous les élèves avec les machines (programmation et fonctionnement) afin notamment qu'ils puissent les utiliser à l'école pour leurs travaux personnels [autre innovation, longuement discutée depuis 10 ans]. Le Groupe estime que cette initiation devrait figurer le plus rapidement possible dans le programme de l'amont de l'École⁴⁰.

L'agitation de Mai 68 et le contexte du Plan Calcul ont forcé la décision. L'enseignement comporte un cours d'initiation donné aux élèves de première année (cours non noté) et un enseignement d'option en dernière année. Un centre de calcul fonctionne en 1969 « avec des moyens précaires

40 *La Jaune et la Rouge*, Paris, décembre 1968, numéro consacré au rapport de la commission Lhermitte et à la réforme des études à Polytechnique, p. 98.

et provisoires »⁴¹. Les cours ont lieu dans des baraques Fillod démontables. L'équipement du Centre de calcul numérique se résume à un petit PB 250 obsolète et à un terminal relié au service de *time-sharing* Bull-General Electric, loué 840 F HT/mois, à quoi l'on peut ajouter l'IBM 1620 du laboratoire Leprince-Ringuet, acheté avec des crédits CNRS.

La situation s'améliore ensuite : le Centre de calcul acquiert en 1969 un terminal Univac relié à l'Univac 1108 du Centre de calcul scientifique de l'Armement et trois consoles IBM reliées au 360/40 de la Chambre de commerce de Paris (par comparaison, HEC a dix consoles reliées au même IBM/360). « Toutefois la création d'un véritable Centre de calcul à l'École exige l'installation sur place d'un véritable ordinateur permettant aux élèves un contact direct avec la machine, et au Centre une plus grande autonomie et une souplesse de gestion. » On envisage l'achat d'un ordinateur de moyenne puissance IBM ou CII avec dix consoles⁴². La vieille école de la rue Descartes reste donc loin de posséder les puissants équipements informatiques d'universités provinciales comme Grenoble et Toulouse.

Trois maîtres de conférence sont nommés en 1969 : Jean-Jacques Duby (IBM, systèmes et compilation), Pierre Henry (Supélec, EDF, informatique de gestion), Jean-Claude Simon (reconnaissance des formes et intelligence artificielle)⁴³. Mais ils ne parviendront jamais à faire admettre, ni des chercheurs permanents, ni des enseignements autres que des options de troisième année, hors tronc commun⁴⁴. Leur approche est en effet concurrente de l'enseignement des mathématiques appliquées dominé par Schwartz, puis par Lions, plus centré sur l'analyse numérique.

- 41 Lettres du général Buttner, commandant l'École polytechnique, à l'Intendant militaire, 26 avril 1969 ; et du Gal Mahieux, commandant l'École polytechnique, au Ministre des Armées/EMA-Division organisation, 12 juillet 1968, Archives de l'École polytechnique, Dossier 730). Plus généralement, « le travail administratif à l'École polytechnique est encore en 1968 archaïque et lent ; il utilise des procédures désuètes, des circuits d'information administrative compliqués et exige un personnel nombreux ». En conséquence, la direction de l'X demande « une machine comptable à programmation électronique » pour « améliorer le rendement des services administratifs de l'École tout en les rendant plus efficaces. » (Général Mahieux, commandant l'École polytechnique, au Ministre des Armées/EMA-Division organisation, 26 juin et 13 août 1968, Dossier 730).
- 42 Général Buttner, commandant l'École polytechnique, au Ministre des Armées/EMA, Division logistique, 13 juin 1969 : Prévisions budgétaires pour 1970.
- 43 Jean-Claude Simon (X 1944) a d'abord été chercheur dans l'industrie (travaux sur les antennes à la CSF, qui lui ont valu un doctorat), en même temps qu'il commençait à enseigner. L'absorption de CSF par Thomson en 1967 réduisant l'importance de la recherche dans le nouveau groupe, Simon opte pour une seconde carrière à l'université et à l'École polytechnique.
- 44 J.-C. Simon, « L'enseignement de l'intelligence artificielle et de la reconnaissance des formes à l'Institut de programmation », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, 1988, t. 2, p. 419-424. J.-C. Simon en tira la conséquence en élaborant le projet d'une école d'application spécialisée en informatique, projet vite enterré par les plus hautes autorités de l'État.

Après une période d'engouement, le nombre d'élèves diminue, particulièrement en option. Sur la promotion 1972, l'option « informatique fondamentale », assurée par M. Nivat, sera choisie par 5 élèves, l'option « informatique de gestion » par 4 élèves ; l'option « informatique scientifique » ne trouvera aucune audience. Cet insuccès est dû, selon J.-C. Simon, au caractère trop élémentaire du cours d'initiation. Celui-ci, simple enseignement du langage Fortran pour le calcul scientifique, n'apporte pas les concepts généraux, algorithmiques notamment, qui fourniraient des bases solides aux élèves... mais que le conseil de perfectionnement refuse. La création d'un laboratoire d'informatique, demandée en vain à la direction de l'école depuis 1970, favoriserait la constitution de l'informatique à l'X comme une véritable discipline. Cette pression des informaticiens se heurte à l'impossibilité de surcharger le tronc commun des études polytechniciennes, qu'il n'est pas question de bouleverser en fonction d'un nouveau domaine scientifique⁴⁵.

344

L'enseignement de l'X étant souvent complété par deux autres années dans une école d'application, l'appréciation doit porter sur l'ensemble des quatre années. L'école consulte à plusieurs reprises sur ce sujet Jean Carteron, qui recommande que l'enseignement de l'Informatique soit assuré, pour l'essentiel, non à l'X mais dans les écoles d'application. C'est donc en se formant après leur sortie de l'École que de nombreux polytechniciens se sont lancés dans l'informatique depuis les années cinquante⁴⁶. Ainsi, des ingénieurs de l'Armement en nombre croissant se sont consacrés au calcul, à la simulation et au guidage par ordinateurs, devenant parfois des experts en conception de systèmes, passant des thèses à l'université et participant à l'enseignement supérieur. Une décennie plus tard, tandis que certains restent dans le cadre militaire, d'autres embrassent de nouvelles carrières :

- Dans la recherche et l'enseignement supérieur.
- Dans l'industrie, soit en rejoignant les services d'études des constructeurs d'ordinateurs, soit en créant des sociétés de services, où ils apportent une culture du « temps réel ».

On peut en conclure que l'informatique a constitué une manière de « botte recherche » informelle pour une population de jeunes polytechniciens, mais sans que l'École y soit pour rien.

45 PV du Comité de mathématiques appliquées de l'École polytechnique, 1^{er} février et 17 mars 1974. Cette année-là, Duby et Henry cessent leur enseignement pour raisons professionnelles. Leur succèdent M. Nivat, E. Pichat, J.-P. Crestin (X 1961, Armement). J.-C. Simon démissionnera à son tour en 1978.

46 On évoquera ailleurs des itinéraires typiques d'X devenus informaticiens ou automaticiens, notamment des créateurs d'entreprises. Notons qu'aujourd'hui, l'ENSIMAG, école d'ingénieurs fondée par Kuntzmann à l'université de Grenoble, se présente comme « école d'application de l'X » (*Annuaire des anciens élèves de l'École polytechnique*), comblant donc un vide dans le dispositif classique des écoles d'application de l'X.

Certaines écoles militaires supérieures, écoles d'application de l'X, contribuent à ce complément de formation. Ainsi, à l'École nationale supérieure du Génie maritime (ENSGM), où l'ingénieur de l'armement Henri Boucher assure un cours d'informatique de 1963 à 1984. Les moyens de calcul sont fournis par le laboratoire central de l'Armement puis le Centre de calcul scientifique de l'Armement (Fort de Montrouge), où des X-Armement se forment par la pratique de la programmation et du développement de systèmes. Entre temps, l'ENSGM est fusionnée avec d'autres établissements équivalents pour former l'École nationale supérieure des techniques avancées (ENSTA), dont Boucher deviendra directeur en 1978. L'ENSTA innove par rapport aux anciennes écoles d'application qui l'ont fondée en ceci qu'on y effectue des recherches, avec le soutien de la DRME. Un jeune ingénieur de l'Armement qui y enseigne, J.-P. Crestin, soutient les recherches en informatique théorique menées à Jussieu autour de M. Nivat. La situation est moins brillante dans d'autres écoles d'application, évoquées en 1973 par Jacques Kosciusko-Morizet dans son pamphlet contre *La « Mafia » polytechnicienne* : « les ingénieurs français apprennent l'informatique, soit sur des terminaux de *time sharing* qui reviennent très cher, soit sur des machines de faible capacité et vieilles »⁴⁷.

Les écoles techniques des Armées suivent une évolution parallèle à celle des écoles civiles. Ainsi, l'École technique supérieure des constructions et armes navales (ETSMA) crée une spécialité « Informatique » au milieu des années soixante (cinq ou six diplômés sur une trentaine par promotion⁴⁸), avant sa fusion interarmées qui la transforme en ENSIETA en 1971. Mentionnons aussi l'École de l'Air, à Salon-de-Provence, qui achète en 1963 un PB 250 pour enseigner un peu de calcul et de programmation aux élèves-officiers. Il faut tenir compte des formations dispensées aux personnels dans les établissements techniques qui développent des systèmes d'armes, notamment au laboratoire central de l'Armement et au Centre de programmation de la Marine où Claude Kaiser organise des cours de théorie de l'information et de systèmes informatiques.

B. L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE SUPÉRIEUR

Faute de pouvoir passer en revue toutes les formations technologiques, on évoquera brièvement les écoles techniques privées parisiennes, avant d'examiner

47 J. Kosciusko-Morizet, *La « Mafia » polytechnicienne*, Paris, Le Seuil, 1973, p. 40. Notons que, quand l'auteur parle des « ingénieurs français », il ne songe qu'aux X ! Supélec ou l'ENST, par exemple, sont bien mieux équipées.

48 J.-A. Berthiau, *Des maîtres entretenus aux ingénieurs (1819-1971)*, Paris, thèse sous la direction de J. Tulard, université Paris-Sorbonne, service historique de la Marine, 1999, p. 374-385.

l'établissement où l'informatique se développe le plus au cours des années soixante : le CNAM.

Les écoles techniques privées

Diverses écoles privées ont été fondées depuis le début du siècle pour préparer les candidats au concours de Supélec⁴⁹. Des institutions, comme Bréguet (devenue École supérieure d'ingénieurs d'électrotechnique et d'électronique, ESIEE) ou l'École supérieure de mécanique et d'électricité (ESME) créée par Joachim Sudria, fournissent les cadres techniques ou commerciaux de l'industrie mécanographique et électronique. L'on n'y trouve pas de formation à l'informatique proprement dite avant le milieu des années soixante.

346

Cependant la vénérable École française de radioélectricité (devenue aujourd'hui l'EFREI) institue à partir de 1954 des cours de « servomécanismes et de machines à calculer », pour sa troisième année d'études d'ingénieurs qui vient d'être instituée ; les élèves peuvent faire un stage de quatre mois chez IBM, Bull ou SEA, stage conclu par un mémoire comprenant une réalisation pratique⁵⁰.

La plus importante de ces écoles est l'École centrale de TSF et d'électronique. Fondée en 1920 à Paris, l'ECTSFE forma d'abord des radio-opérateurs pour la Marine, puis des personnels qualifiés pour l'industrie. En 1960 elle a 1500 élèves, préparant des diplômes allant du CAP à bac + 4, avec stage dans l'industrie en cours d'études. Bien équipée, elle possède la collection complète des publications du MIT Radiation Lab. Si l'apprentissage de l'électronique grand public domine, des cours portent aussi sur le radar et les hyperfréquences. L'initiation à l'informatique, plus exactement aux circuits logiques, y commence vraisemblablement assez tôt, d'après les idées professées en 1956 par son directeur, Lucien Chrétien : « Les machines électroniques à calculer » constituent, « pour le moment, l'une des applications les plus sensationnelles des transistors. [...] Nous ne sommes qu'à l'aube du développement des transistors et déjà, se dessine très nettement ce qu'on pourrait appeler leur terrain de chasse.

49 On connaît mal l'histoire de ces écoles, notamment parce qu'elles n'ont guère conservé leurs archives. Voir A. Grelon, « Les origines et le développement des écoles d'électricité Bréguet, Charliat, Sudria et Violet avant la 2^e Guerre mondiale », *Bulletin d'histoire de l'électricité*, Paris, juin 1988, n° 11, p. 121-143, étude fondée sur le dépouillement de la presse professionnelle. L'ESIEE dispose en 1968 d'un centre de calcul analogique (Analac) et digital.

50 Exposé de M. Bouchard, directeur de l'EFRE, devant la commission « Électronique et Cybernétique » du CSRST, 12 juin 1957. Un ingénieur diplômé en 1956 de cette école, André Truong, fondera en 1972 la société R2E et contribuera à la réalisation, avec François Gernelle (CNAM), des premiers micro-ordinateurs « Micral ».

C'est le domaine des petites puissances, des basses fréquences, des impulsions de faible amplitude, donc des machines à calculer »⁵¹.

Bref, dès le milieu des années cinquante, ces écoles – au moins les plus consciencieuses d'entre elles – paraissent former des ingénieurs et des techniciens à la réalisation de circuits électroniques pour le calcul et l'automatisation. Elles ne sont pas en retard sur les Grandes Écoles.

Une nouvelle école apparaît en 1955 dans le cadre de l'Institut catholique de Paris : l'Institut supérieur d'électronique de Paris (ISEP⁵²), mentionné plus haut à propos de son inspirateur, le Lillois Norbert Segard. Son but est de former en 4 ans des ingénieurs praticiens, qu'on encourage à compléter leur formation par un doctorat ou un cursus de gestion. L'ISEP fournit bientôt des ingénieurs en électronique à l'industrie informatique – le directeur de l'institut, l'abbé Jean Vieillard, est le fils du directeur général de Bull, ce qui facilite les relations. L'ISEP se met à l'informatique au même rythme que la plupart des écoles d'ingénieurs : conférences et cours optionnels de « Calculatrices », puis installation fin 1967 d'un petit centre de calcul autour d'un IBM 1130, qui permet de créer une option informatique. Les cours de structure des ordinateurs et de programmation sont donnés par des ingénieurs de l'industrie, notamment de Bull et de la CII, comme François Sallé puis Alice Recoque. L'option informatique représente bientôt près du tiers des diplômés.

Le Conservatoire national des Arts et Métiers

En décembre 1950, à la suite du vœu de la Société française des électriciens, le directeur général de l'Enseignement technique au ministère de l'Éducation nationale, dûment chapitré par le président de la SFE, Maurice Ponte, demande au directeur du CNAM de rédiger un rapport sur la création d'un cours spécial de mathématiques supérieures et sur « l'incidence financière qui résulterait de cette nouvelle organisation (création de chaires, dépenses de matériel) »⁵³. Convaincu par ce rapport, le secrétaire d'État à l'Enseignement technique écrit au ministre du Budget, l'adjurant de financer le dédoublement de la chaire de mathématiques : près de 3 000 élèves suivent cet enseignement qui

51 L. Chrétien, *Ce que le technicien doit savoir des semi-conducteurs (diodes et transistors)*, Paris, Chiron, 1956. Le même auteur, dans *Les Machines à calculer électroniques*, Paris, Chiron, 1951, traitait des circuits de comptage et de commutation électroniques, ainsi que des lignes à retard.

52 J.-Cl. Boudenot, J. Maïla, C. Popon (dir.), *ISEP, une école d'ingénieurs du 3^e millénaire. 50 ans d'histoire*, Paris, ISEP, 2005. Le fondateur de l'ISEP est un physicien nucléaire, l'abbé Valentin, qui part ensuite comme chercheur CNRS à Orsay, puis dirigera un laboratoire de spectrographie à l'université de Grenoble.

53 Lettre du DG de l'Enseignement technique du MEN au directeur du CNAM, 28 décembre 1950 (Archives du CNAM, dossier « Chaire de Mathématiques 1950 »).

a lieu le soir après 18 h. « La plus grande salle de l'établissement ne pouvant recevoir que 1 000 auditeurs, le professeur Sainte-Lagüe a dû répéter trois fois ses leçons. Cet effort démesuré n'est pas sans lien avec le décès de ce Maître, victime de son succès et de son dévouement. » Le dédoublement de la chaire « s'impose » comme une « dépense nécessaire et productive puisqu'elle assure le perfectionnement de nos cadres industriels [...] »⁵⁴. En attendant sa création officielle, le ministre de l'Éducation nationale charge, par arrêté, Maurice Parodi et l'ingénieur général Lamothe d'assurer les cours. Il persuade Edgar Faure, ministre du Budget, d'ouvrir un poste au budget 1951. Le CNAM a désormais deux chaires de mathématiques.

L'expansion des Mathématiques appliquées et de l'Automatique

348

La chaire de « Mathématiques appliquées à l'art de l'ingénieur » est attribuée à Maurice Parodi, un physicien venu aux mathématiques par ses travaux sur la théorie des vibrations ; cet ingénieur Supélec (1930) enseigne en même temps à Polytechnique et dans d'autres écoles d'ingénieurs. La chaire de « Mathématiques générales en vue des applications » est confiée à Alexis Hocquenghem (ENS 1925), un brillant mathématicien qui s'est fait remarquer pour ses qualités pédagogiques en classes de Math'Spé⁵⁵. Le goût de ces deux maîtres pour les « applications » de la science est profond et va bien au-delà d'un intitulé de chaire. Hocquenghem et Parodi travaillent volontiers pour l'industrie et l'armée, et – ce qui est peut-être plus rare à l'époque – ils n'hésitent pas à le mentionner dans leurs *curriculum vitae* destinés aux autorités académiques. Tous deux sont officiers de marine de réserve, et ont consacré une partie de leur service militaire à des recherches scientifiques ; ainsi, en 1939 Parodi a mis au point un procédé de protection des navires contre les mines magnétiques, et Hocquenghem s'est attelé à des problèmes de radio. Ce duo, Hocquenghem en tête, conduira au cours des trois décennies suivantes le développement d'un grand département de mathématiques appliquées.

On peut s'étonner qu'Hocquenghem, qui fut reçu deuxième à l'agrégation de mathématiques (juste derrière son brillant condisciple Herbrand), puis a été boursier de recherches de la Caisse nationale des sciences en 1932-1934, ne se soit pas engagé dans la recherche en mathématiques pures, voie royale

54 Lettre du DG de l'Enseignement technique au ministre du Budget, 15 janvier 1951 (Archives du CNAM, dossier « Chaire de Mathématiques 1950 »).

55 Voir les notices de J. Chasteney de Géry sur « Parodi, Maurice (1907-1992), professeur de Mathématiques appliquées à l'art de l'ingénieur » et « Hocquenghem, Alexis, professeur de Mathématiques générales en vue des applications », *Les Professeurs du CNAM, op. cit.* La biographie d'Hocquenghem révèle un mathématicien original, son parcours révèle des relations limitées entre mathématiques et technologie dans la France de l'époque.

du *cursus honorum* savant. Il écrit et publie peu. Il ne semble pas participer aux réunions bourbakistes, alors qu'il appartient à la même génération que les fondateurs du groupe, et il observe d'assez loin les progrès de sa discipline. En fait, Hocquenghem n'est ni un intellectuel pur, ni un intellectuel engagé politiquement, ni d'ailleurs un carriériste qui suivrait systématiquement une « stratégie ». Plutôt un « honnête homme » du xx^e siècle, doué, un peu dilettante et très astucieux, qui cherche à construire un équilibre entre vies professionnelle, familiale et sociale. Professeur et bientôt président de département dans l'une des principales écoles d'ingénieurs parisiennes, travaillant pour l'industrie (ce qui arrondit confortablement son traitement et le met en relation avec des chefs d'entreprise), officier de réserve, Hocquenghem a réussi une ascension sociale basée sur la réussite scolaire. Ce « boursier » fonde une famille d'« héritiers » : parmi ses six enfants figurent deux polytechniciens et un normalien-lettres.

Observons aussi que le CNAM à l'époque de Ragey, où l'on enseigne un savoir établi plutôt qu'on ne fait de la recherche, constitue un cadre institutionnel bien adapté à la façon qu'a Hocquenghem de vivre la science. Ceux des élèves ou des assistants d'Hocquenghem qui prépareront des thèses le feront à l'université (les thèses d'ingénieurs CNAM mises à part, bien entendu). Or, s'il ne participe pas en première ligne à la construction du progrès scientifique, Hocquenghem s'investit à fond dans la formation d'ingénieurs et le développement du département de mathématiques appliquées au Conservatoire, en même temps qu'il travaille sous contrat pour l'industrie (firmes d'optique et SEA⁵⁶). On peut définir Alexis Hocquenghem comme un mathématicien qui se met au service de la technologie plutôt que de la science, trajectoire plutôt rare chez un normalien.

Si nous nous sommes un peu étendu sur les biographies parallèles d'Hocquenghem et de Parodi, c'est parce que ces deux professeurs-ingénieurs incarnent de façon idéale les compétences et les demandes qui ont constitué le marché initial du calcul électronique. Dans n'importe quel autre pays européen, de tels mathématiciens exerçant des responsabilités de ce niveau dans une grande école technologique auraient construit un calculateur. Or, en ce qui concerne le traitement de l'information, on retire des archives du CNAM l'impression d'un certain attentisme jusqu'à la fin des années cinquante.

Certes, le CNAM accueille depuis 1947 des conférences sur l'automatique, dans le cadre de la chaire de mécanique dont le titulaire, Albert Métral, exprime

56 Pour la SEA, Hocquenghem invente notamment un système de codage et traite les aspects mathématiques de divers projets de systèmes d'armes, comme l'optimisation des tactiques d'interception d'un avion.

des vues remarquablement perspicaces⁵⁷. F.-H. Raymond, qui construit les premiers ordinateurs français dans sa société, la SEA, y est chef de travaux (équivalent de maître de conférences). Il y organise en juin 1956 le premier Congrès international d'automatique. Cette grande manifestation réunit près de 1 000 participants et une centaine de communications consacrées, pour la plupart aux technologies et aux applications de l'automatisation industrielle, pour une dizaine aux ordinateurs et à leurs usages en calcul et en gestion ; quelques analyses rassurantes des conséquences socio-économiques de l'automatisation retiennent l'attention de la presse. Pour continuer l'opération, les organisateurs fondent l'Association française de régulation et d'automatique (AFRA) et l'International Federation of Automatic Control.

Le retentissement médiatique du congrès prouve à la fois que le CNAM a bien fait sa publicité et que les rédactions de journaux estiment que l'automatisation intéresse désormais les lecteurs⁵⁸. D'autres Congrès internationaux d'automatique se tiennent la même année en Europe, à Milan, Amsterdam et Heidelberg. Simultanément, les spécialistes du calcul analogique ayant éprouvé le besoin de se grouper pour échanger leurs expériences et faire progresser cette technologie, Raymond participe en 1955 à la création de l'Association internationale pour le calcul analogique (AICA, siège à Bruxelles) et de sa revue en 1958.

L'attentisme de la direction

Pourtant, la prudence domine dans la politique du CNAM. En 1956, Boutry y propose en vain la création d'un Institut d'électronique. Le directeur, Louis Ragey, explique en 1957 que « en ce qui concerne l'automatisme, le Conservatoire recherche seulement les moyens d'offrir aux ingénieurs en activité des moyens de perfectionnement. On a organisé, à titre tout-à-fait expérimental, un enseignement par leçons et travaux de laboratoire de caractère industriel », portant sur les dispositifs de régulation mécaniques autant qu'électroniques.

⁵⁷ Voir par exemple A.-R. Métral et F.-H. Raymond, *Compléments de mécanique. Le calcul symbolique*, ministère des Forces armées-DEFA-École nationale supérieure de l'armement, 1948, 73 p. Et A.-R. Métral, « L'évolution récente de la machine-outil », conférence à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, *Revue générale de mécanique*, mai 1956 ; ce texte montre le vif intérêt de l'auteur pour l'histoire des sciences, comme outil pédagogique et comme lien entre la technologie moderne et les réflexions de Métral sur l'évolution de la civilisation. L'une des conclusions pratiques est la nécessité d'économiser le métal et de lui substituer des matériaux nouveaux. Métral avait été envoyé en mission aux États-Unis en 1941 et y avait rencontré Vannevar Bush, conseiller scientifique à la Maison Blanche.

⁵⁸ Les actes du *Congrès international de l'Automatique* (638 p.), sont publiés chez Masson en 1959.

Enfin, le Conservatoire des Arts et Métiers aurait, comme la faculté des sciences, le plus réel besoin des ordinateurs mécaniques pour les calculs et les dépouillements statistiques relatifs aux recherches techniques comme aux enquêtes sociales ou économiques. Mais l'importance d'un tel investissement ne se justifierait que si la fondation d'enseignement pour la préparation de techniciens exercés aux "programmations", par exemple, correspond à un besoin ressenti dans les milieux industriels [*sic*]. La question fait l'objet d'études et d'information. Le Conservatoire s'efforce en ces domaines d'adapter ses enseignements prudemment aux vœux et besoins des techniciens intéressés⁵⁹.

De fait, le CNAM ne s'équiperait d'un véritable ordinateur qu'en 1962. Alors qu'il dispose d'excellents spécialistes en électronique, en automatique et en mathématiques appliquées, et qu'il a la possibilité de se placer à la pointe des établissements d'enseignement supérieur dans ce nouveau domaine, le directeur du CNAM préfère attendre.

En 1956, le Conservatoire a acheté son premier calculateur électronique. C'est une petite machine analogique « Djinn » construite aux laboratoires Derveaux par J. Girerd⁶⁰. L'acquéreur du Djinn est le laboratoire national d'essais. L'administrateur général, Ragey, justifie cet achat : la généralisation dans les entreprises industrielles des moyens de calcul mécanique, qu'ils soient analogiques ou numériques, « oblige le CNAM à s'équiper pour compléter l'enseignement des Mathématiques par des travaux pratiques »⁶¹.

La même raison préside à l'installation d'un ensemble Bull l'année suivante : « Le développement du calcul mécanique et des programmations des grands calculateurs électroniques fait un devoir au CNAM d'organiser un enseignement magistral et pratique à cette fin »⁶². Une négociation entre Hocquenghem, Parodi et le conseiller scientifique de Bull, Arnold Kaufmann, aboutit vite. L'achat de cet onéreux matériel mécanographique (plus de 8 MF 1957) obtient facilement le visa du contrôleur financier, car Bull offre généreusement un calculateur

59 Exposé de Ragey au Comité « Électronique et Cybernétique » du CSRSPT, 13 février 1957. L'emploi des termes *programmation*, *programmeur* ou *programmeur* est condamné à cette époque par l'Académie des sciences.

60 J. Girerd et A. Riotte, « Le calculateur analogique Djinn », *L'Onde électrique*, Paris, août-septembre 1956. Henry Girerd (père du précédent et collaborateur de Malavard) assure au CNAM le cours d'Aéronautique. Un « Djinn 30 AS » à 30 amplificateurs et 40 potentiomètres vaut environ 5 MF 1956. Par faveur pour le CNAM, Derveaux cède le calculateur à un prix inférieur d'un million (ancien) au tarif commercial, et met gratuitement à disposition un ingénieur démonstrateur.

61 Marché 1663, « Rapport d'opportunité » rédigé par l'administrateur général Ragey le 9 juillet 1956.

62 Marché 1699, « Rapport d'opportunité » rédigé par l'administrateur général Ragey le 4 mai 1957.

électronique Gamma à programme par cartes (20 MF). La compagnie française s'est en effet lancée dans une « opération charme » auprès des établissements d'enseignement supérieur : elle souhaite que les élèves ingénieurs, ses futurs clients, se familiarisent avec ses produits, et voudrait ne pas porter toute la charge de la formation aux techniques de la mécanographie, qui représente un poste croissant dans son budget.

Après les facultés des sciences de Paris et de Grenoble, le CNAM est donc doté à la rentrée 1957 d'un équipement Bull, confié à la chaire de mathématiques d'Alexis Hocquenghem. « Propre à former des programmeurs, [...] l'ensemble permettra, outre les enseignements et les travaux pratiques, de faire des calculs exigés par les recherches de plusieurs professeurs et laboratoires, ainsi que la comptabilité du CNAM. »

352

Cette machine permet de compléter par des travaux pratiques les cours du soir de programmation instaurés en 1956. Il s'agit d'un enseignement « expérimental » conduisant en deux ans au brevet de programmeur. Situé à un niveau assez élevé, il fait une bonne place, non seulement à l'apprentissage des procédés de codage, mais aussi à l'analyse des problèmes en vue du traitement sur machine. Les élèves sont peu nombreux, une centaine d'attestations de cours sont délivrées de 1956 à 1962.

Le calculateur électronique Bull s'étoffe progressivement au gré des extensions, se transformant en ordinateur par l'ajout d'un tambour magnétique en 1962. Les principaux utilisateurs sont, outre l'enseignement de la programmation et la comptabilité du Conservatoire, les recherches en optique, en combustion, les statistiques économiques et l'Institut national d'orientation professionnelle. Celui-ci acquiert pour son propre compte un petit équipement Bull en 1963. Un autre ordinateur est installé au laboratoire de calcul du CNAM en 1962, une CAB 500 SEA (dont un second exemplaire semble être mis en place à l'Institut aérotechnique de St-Cyr pour dépouiller les mesures de la soufflerie supersonique⁶³).

De la programmation à un enseignement complet d'informatique

Ainsi outillées, les mathématiques connaissent ensuite l'expansion la plus spectaculaire de toutes les disciplines enseignées au CNAM, passant de deux à cinq chaires et à quatorze enseignements de 1960 à 1969. En 1961, la chaire

63 Marché 1831, achat d'une seconde Friden Flexowriter pour la CAB 500 de l'Institut aérotechnique. Exemple de parcours personnel : sur cette CAB 500, l'élève-ingénieur R. Chevance s'initie à la programmation et fait des calculs pour le laboratoire des moteurs du CNAM, avant de travailler chez Bertin. Parallèlement, il passe un DEA d'informatique puis un doctorat d'État à Paris VI. Il rejoint en 1968 la CII (contrôle qualité des logiciels, développement de compilateurs, architecture système), tout en enseignant à Paris VI, puis au CNAM.

de mathématiques générales est à nouveau dédoublée, cette fois au profit des probabilités et statistiques (Paul Jaffard). En 1963 une chaire de « Machines mathématiques et informatiques » (cours axé essentiellement sur le *hardware*) est créée pour Paul Namian, un ancien ingénieur de la SEA passé ensuite par l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble : « Lorsque le cours a commencé, on s'attendait à voir 20 élèves : on en a eu 230 ! »⁶⁴. D'autres matières sont enseignées dans les domaines voisins : analyse numérique (Raymond Théodor), formulation mathématique du comportement des systèmes physiques en vue du traitement sur ordinateur (Jean Girerd⁶⁵), recherche opérationnelle (Robert Faure⁶⁶), algèbre matricielle (Jérôme Chastenet de Géry), méthodes de programmation. Bref, le CNAM offre aux futurs informaticiens des cours axés d'abord sur le *hardware* et sur les mathématiques appliquées, plus que sur le logiciel. À partir de 1966, les élèves peuvent préparer le diplôme d'études supérieures « Techniques de calcul automatique », option gestion ou sciences.

En 1968, le département prend le titre de « Mathématiques et Informatique », subdivisé en trois :

- Mathématiques pures et appliquées,
- Mathématiques des cours d'économie,
- Informatique, comportant quatre matières principales : outre les cours déjà assurés par Jean Girerd, Robert Faure et Paul Namian, le président du département, Alexis Hocquenghem, appelle en renfort F.-H. Raymond, qui vient de quitter ses activités de dirigeant d'entreprise, à créer un enseignement dont le nom varie : Informatique théorique, Méthodes de programmation. Le Conservatoire transformera bientôt ce cours en chaire d'Informatique et Programmation. Le choix n'est d'ailleurs pas optimal : Raymond, ingénieur visionnaire et réalisateur, n'est pas un bon pédagogue, son enseignement est excessivement mathématisé et il laisse ses thésards se débrouiller seuls.

Le Conservatoire a donc acquis dans les années 1960 une configuration très semblable à celle des pôles universitaires pionniers. Un trait essentiel le distingue cependant des facultés : on n'y fait pas de recherche en mathématiques ou en informatique. Lorsque les jeunes enseignants du CNAM préparent des thèses, c'est à l'université.

64 Entretien avec Paul Namian, 1989. Namian est assisté de Claude Delobel, fraîchement diplômé de Grenoble et qui y retournera comme professeur ; Georges Sollin se charge du centre de calcul.

65 Jean Girerd est d'abord chargé de cours au CNAM. Il deviendra professeur titulaire par une décision du ministre à la fin des années soixante-dix.

66 J. Lemaire, « La contribution du Pr. Faure », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988.

À cet ensemble s'ajoutent les cours professés à partir de 1959 dans d'autres départements du CNAM : automatisme industriel, électronique des impulsions, technologie des calculateurs et des circuits, fiabilité des composants et des systèmes. Du côté des applications à la gestion, suivant les recommandations du rapport Lhermitte au Conseil économique et social, le CNAM fonde en 1968 l'Institut d'informatique d'entreprise qui forme des ingénieurs appréciés et délivrera de plus en plus de diplômes d'études supérieures techniques (DEST) d'informatique⁶⁷.

⁶⁷ Les premiers enseignants sont B. Lussato (théorie et systèmes d'organisation), R. Faure (RO), J. Abadie (gestion financière), G. Depallens (RO).

LA FORMATION DE SPÉCIALISTES : UN BILAN

À cette époque où l'on est encore dans une économie de demande, plus que d'offre, l'industrie recherche des ingénieurs plutôt que des commerciaux, des financiers ou des juristes. Cette préférence est renforcée par une hiérarchie des mérites fondée sur l'expérience vécue des ingénieurs. Dans les années cinquante et soixante, les bons élèves scientifiques s'orientent après le baccalauréat vers les études d'ingénieur plus que vers les études commerciales. Après Maths sup', les premiers recalés à l'admission en taube préparent les écoles d'agriculture, puis le CNAM et les écoles de commerce, enfin les écoles militaires pour ceux qui y sont portés par tradition familiale (les petits garçons de la bourgeoisie ont été suffisamment saignés depuis cinquante ans). Les derniers vont en fac de sciences tenter l'agrégation, en concurrence avec les normaliens et les universitaires. Aux yeux de maints employeurs, généralement ingénieurs eux-mêmes, ceux qui font des études juridiques ou commerciales sont simplement les recalés des classes préparatoires.

Rappelons enfin qu'à cette époque de plein emploi et de pénurie de cadres, tout diplômé un peu sérieux trouve du travail dans les 24 heures. Typiquement, un ingénieur termine son service militaire un Vendredi et commence sa vie professionnelle le Lundi suivant. Si c'est une femme, elle a de plus la chance d'éviter les 18 mois de caserne. Ce qui explique d'ailleurs aussi la pénurie d'enseignants – il faut vraiment avoir la passion de la recherche pure et du professorat, ou des préventions personnelles contre le travail en entreprise, pour choisir une carrière universitaire. Les témoins sont unanimes : « On se battait les flancs pour recruter des enseignants-chercheurs convenables ».

Si l'on tente une synthèse à l'échelle nationale, l'enseignement de l'informatique est donc assuré, jusqu'au milieu des années soixante, par quatre catégories d'institutions :

- L'université (facultés des sciences et écoles d'ingénieurs en milieu universitaire, comme celles de Grenoble et de Toulouse) qui vient nettement en tête par le nombre de diplômés formés à l'informatique, en particulier à la programmation. Assez tôt, dès 1956 la licence ès sciences peut contenir quelques certificats spécialisés en calcul automatique ou en électronique numérique. En 1957 sont prises les premières inscriptions doctorales en analyse numérique. Des ingénieurs préparent des thèses. En 1962 apparaît

l'Institut de programmation de Paris, suivi de celui de Grenoble, qui délivre au niveau bac+2 des diplômes d'études supérieures techniques (DEST) à quelques dizaines d'étudiants par an, formation très appréciée des employeurs.

- Les Grandes Écoles parisiennes, qui n'offrent qu'un nombre de places très limité et qui s'intéressent plus tardivement à l'informatique, sauf exceptions (Supaéro). S'y ajoutent certaines écoles privées, secteur où coexistent le meilleur et le pire : on y voit apparaître bientôt toute une faune de parasites de la formation professionnelle.
- Les séminaires et conférences de l'AFCALTI, destinés aux informaticiens confirmés.
- Les constructeurs d'ordinateurs sont, jusqu'à la fin des années soixante, les principaux acteurs de la formation en informatique¹. Non seulement ils dispensent à leurs personnels et à des milliers de clients une formation technique, généralement centrée sur la description des matériels et de leurs procédures d'utilisation. Mais ils soutiennent les efforts éducatifs des trois catégories précédentes, notamment en offrant gratuitement des calculateurs aux établissements d'enseignement et en détachant des ingénieurs pour dispenser des cours offrant plus de profondeur méthodologique.

Pour les employeurs, vers 1960, le principal problème n'est pas le fait que les jeunes ingénieurs ou licenciés ès sciences ne soient pas formés à l'emploi des calculateurs : on peut les y initier assez rapidement, et l'on voudrait surtout que l'enseignement supérieur en produise plus à ce niveau. Le plus difficile est de trouver des techniciens, au niveau bac ± 1, capables d'absorber les notions hardware ou software auxquelles leur formation scolaire ne les a pas préparés.

A. CROISSANCE DE LA FORMATION, EXPLOSION DE LA DEMANDE

En 1962-1963, la « production nationale de spécialistes » au niveau ingénieur en programmation avoisine 1 50 personnes par an, d'après une enquête publiée en juin 1963 par l'AFIRO-BICETI. Kuntzmann estime en 1964 qu'existent :

1 Les constructeurs indiquent qu'ils forment de 7 000 à 9 000 personnes par an (BIPE, *Les Besoins en personnel des centres de traitement électronique de l'information durant le V^e Plan*, Paris, étude pour le Commissariat général au Plan/COPEP, décembre 1966, p. 19).

- 300 ingénieurs-analystes dont 30 « formés par les écoles » (l'enseignement supérieur), 70 par recyclage et le reste « sur le tas » (rappelons qu'à l'époque, plus de 40 % des ingénieurs de l'industrie française, tous secteurs confondus, ont accédé à cette fonction sans diplôme d'une école d'ingénieurs) ;
- 700 analystes dont 50 formés par les écoles ;
- 4 000 programmeurs dont 100 formés par les écoles. Cette catégorie englobe les tâcherons du codage binaire, les mécanographes recyclés, les spécialistes de domaines divers (historiens, physiciens, comptables...) qui se sont initiés à l'informatique comme technique auxiliaire de leur spécialité. Pour la plupart, leur formation étroitement technique ne leur permet guère d'évolution, à moins de la compléter ensuite par l'acquisition d'une vraie culture informatique générale.

Ces effectifs subissent nécessairement une déperdition dans les années qui suivent : service militaire, passage à des postes de direction, transformation de certains programmeurs en ingénieurs-analystes, de certains ingénieurs-analystes en chercheurs – déperdition que Kuntzmann évalue à 300 individus.

Deux ans plus tard, le Bureau d'information et de prévision économique (BIPE) estime à 450 le nombre total de diplômés ayant reçu une formation spécialisée en informatique dans l'enseignement supérieur, toutes catégories confondues². Formation essentiellement orientée vers l'informatique scientifique, très peu vers la gestion, ce qui provoque en 1966 une polémique dans *Le Monde* entre représentants des entreprises et du monde universitaire.

Au niveau élémentaire, des travaux pratiques de calcul numérique sont en 1966 assurés dans quatorze universités françaises³. Ces formations, typiquement d'une douzaine d'heures, ont des contenus très variables : à Besançon, Clermont, Lille, Nancy, les TP pour groupes de 10 étudiants consistent en une initiation à Algol, avec composition d'organigramme, écriture d'un programme et passage de celui-ci sur de petits ordinateurs CAB 500 ou IBM 1620 ; ailleurs (Nice, Strasbourg) on fait des TP de calcul sur des machines de bureau, comme en 1950. Au mieux, ces TP familiarisent 2 à 3 000 étudiants de première année au calcul numérique, mais n'en font pas des programmeurs.

2 BIPE, *ibid.*

3 PV de la réunion de l'Amicale des informaticiens, 22 novembre 1966, archives de l'Institut de Programmation.

Le travail de l'analyste consiste à examiner si le problème peut être résolu à l'aide d'un ordinateur, puis à le mettre en forme algorithmique. C'est à ce stade que doivent être définis avec précision la nature, la forme et l'origine des données, la nature et la forme des résultats, le procédé permettant de passer des données aux résultats. Cette phase prend une importance considérable, en volume de travail, dans les problèmes de gestion et de contrôle de processus. Les compétences requises sont principalement l'analyse numérique ou les disciplines concernant l'organisation ou la gestion.

La programmation est la traduction de l'algorithme en instructions exécutables par l'ordinateur. Les compétences requises sont principalement la connaissance de l'ordinateur et de son « codage », plus tard du système d'exploitation et des langages informatiques.

358

Cette lacune ouvre une opportunité aux sociétés de service informatique, qui s'engouffrent dans la formation par recyclage des cadres. Les premières sont les cabinets de conseil en organisation qui ont pris le virage de l'ordinateur. Ayant depuis longtemps une activité de formation de cadres, elles y injectent une dose d'informatique avec une forte composante de techniques et de problèmes d'organisation (que l'université n'offre guère). Ensuite, les nouvelles sociétés de programmation et de conseil en informatique. Par exemple l'une des premières SSII, le CENTI, affirmera à la fin de la décennie avoir formé 3 000 personnes. *o.i. Informatique* liste en 1968 dix entreprises offrant de la formation professionnelle en programmation et exploitation des ordinateurs (Diebold, Cegos Informatique, etc.), à côté d'une cinquantaine d'organismes sans but lucratif où se mélangent universités, IUT, organismes professionnels, associations comme l'AFIRO⁴. Le Crédit Lyonnais, qui a en même temps l'expérience de l'informatisation et l'envie d'investir dans les SSII, estime à la fin de la décennie que

l'enseignement public ayant [en matière de formation de personnel spécialisé] un retard qui ne pourra être comblé qu'à l'échéance très lointaine, les firmes privées d'enseignement informatique auront un rôle essentiel à jouer dans ce domaine⁵.

Certaines grandes entreprises utilisatrices d'ordinateurs développent elles-mêmes de la formation en interne, soit seules, soit en collaboration avec des constructeurs ou des sociétés de service. C'est probablement dans ce cadre,

4 01-Scope 68, *Annuaire général de l'informatique*, s.l., Éditions Tests, 4^e trimestre 1968, p. 45-47.

5 MM. Baran et Seingeot, « Les sociétés de service en informatique », s.l., Crédit Lyonnais/DEEF/Études industrielles, 4 juin 1970, p. 6.

estime-t-on au début des années 1960, que l'on trouve les meilleures formations « car elles s'appuient sur des problèmes réels, avec des techniques bien définies et un esprit de réorganisation évident ».

Toutes ces statistiques sont imprécises, comme la définition de ces professions elles-mêmes en cours de constitution. Mais elles concordent approximativement : le nombre d'ingénieurs informaticiens se situe autour de 500 au milieu des années soixante (ce qui correspond à l'effectif des adhérents de l'AFCALTI en 1963). C'est très insuffisant par rapport à la croissance de l'équipement en ordinateurs envisagée lors de la préparation du V^e Plan. En fonction des besoins prévus pour 1970, il faudrait former annuellement :

Tableau 15. Prévisions de besoins de formation d'ingénieurs informaticiens, 1965-1970

% selon le mode de formation :	enseignement supérieur	recyclage	formation sur le tas
1710 programmeurs (15 % de l'effectif global)	25 %	25 %	50 %
475 analystes (10 %)	35 %	35 %	30 %
285 ingénieurs-analystes (10 %)	50 %	20 %	30 %

Donc l'enseignement supérieur devrait former et diplômé annuellement :

- 430 programmeurs (titulaires du bac, nécessaire selon tous les experts)
- 170 analystes
- 140 ingénieurs-analystes⁶

Or, si l'enseignement a été doté des moyens matériels nécessaires lors du IV^e Plan, il n'a pas été pourvu des ressources adéquates en hommes, que ce soit :

- pour faire fonctionner ces matériels (manque de techniciens, auquel le CNRS ne peut remédier qu'au compte-gouttes),
- pour former les étudiants.

En effet, si les enseignements créés depuis le milieu des années 1950 auraient dû conduire à la création de chaires et de maîtrises de conférences, ils restent souvent traités comme des enseignements de deuxième zone, assurés en heures supplémentaires par du personnel non titulaire, souvent par des ingénieurs de l'industrie.

Les créations en 1962-1963 sont dérisoires : un poste et demi de maître de conférences, et 3 ou 4 d'assistants. [...] En résumé l'enseignement supérieur a mis en place les structures pour faire un bon travail mais leur mise en œuvre par les moyens ordinaires demandera des délais hors de proportion [avec les prévisions]⁷.

6 Kuntzmann, lettre 25 juin 1964, dans le cadre de l'enquête de la COPEP pour la préparation du V^e Plan, questionnaire sur « Main d'œuvre, productivité, formation » (IMAG 12 COPEP 1960-1964).

7 *Ibid.*

Le milieu universitaire de l'informatique et des mathématiques appliquées contribue donc à presser les pouvoirs publics de lancer une action volontariste de rattrapage. Ce sera le volet « enseignement » du Plan Calcul. La formule a été esquissée par la DGRST dont l'action concertée Calculateurs « a permis accessoirement d'orienter vers les actions de recherche en informatique un certain nombre de jeunes » : une quarantaine, dont la moitié travaille désormais dans l'université.

Les années 1966-1967 voient ces efforts aboutir à un tournant majeur. Le ministre de l'Éducation nationale, Christian Fouchet, institue les licences et les maîtrises d'informatique ; des DEA d'informatique sont mis en place à Grenoble, Paris et Toulouse. La réforme Fouchet crée par ailleurs les Instituts universitaires de technologie (IUT) où s'ouvrent aussitôt des départements d'informatique⁸. Les premiers sont Grenoble et Montpellier (1966), puis Nancy, Paris et Toulouse (1967), souvent créés en transformant les premiers cycles des instituts de programmation, ou les enseignements spécialisés de l'antenne locale du CNAM. Ces IUT forment en deux ans des analystes-programmeurs d'études orientés vers la gestion. La croissance est très rapide : 78 étudiants en 1966-1967, 1327 en 1969-1970 (voir annexe).

S'y ajoutent les enseignements et les stages d'informatique organisés par l'IRIA pour former, soit des spécialistes, soit des utilisateurs compétents, et qui attireront plusieurs centaines de personnes à partir de 1968⁹. Cet investissement massif dans l'enseignement de l'informatique répond à la demande de l'industrie, des utilisateurs dans tous les secteurs et des promoteurs du Plan Calcul. Or il ne peut être effectué dans le système éducatif que si l'informatique est reconnue comme discipline : problème difficile qui fera l'objet des chapitres suivants.

B. UNE CARENCE EN INFORMATIQUE DE GESTION

Malgré cet investissement, la profession juge sévèrement l'action de l'Éducation nationale en matière de formation à l'informatique. Sans doute faut-il faire la part du décalage entre la création des cursus et la sortie des premiers diplômés. Plus grave, aux yeux des employeurs, l'enseignement supérieur ne forme pas à ce qui est devenu le principal débouché : l'informatique de gestion.

L'état des lieux est brièvement dressé en 1964 par Paul Namian, en conclusion du congrès de l'AFCALTI¹⁰. Quelques essais ont été tentés à partir de trois

8 P. Poulain, « Genèse des départements d'informatique dans les IUT », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., p. 383.

9 IRIA, *Rapport d'activité de l'IRIA*, Rocquencourt, 1969, p. 30-33.

10 P. Namian, « Exposé sur l'enseignement de la gestion automatisée », *4^e Congrès de l'AFIRO*, Paris, Dunod, 1965 (congrès tenu à Versailles en avril 1964), p. 411-413.

cadres disciplinaires : les sciences économiques (Centres de préparation à la gestion des entreprises, etc) ; l'enseignement supérieur technique (CNAM) ; et l'enseignement scientifique (université de Grenoble). Mais « il n'y a pas à ce jour de véritable réussite », pour trois raisons :

- Il est difficile, sur les plans administratif et pédagogique, d'associer en un enseignement des matières qui relèvent des disciplines économiques et des disciplines scientifiques ;
- L'informatique de gestion n'est actuellement qu'un « empilement de connaissances plus ou moins liées ensemble », or l'on ne peut enseigner une matière qu'en s'appuyant sur une théorie ou au moins sur une synthèse.
- Ces connaissances elles-mêmes sont lacunaires, car on manque « d'exemples effectivement réalisés dans un esprit neuf et divulgués sans restriction ».

En fait – et le diagnostic vaut pour la plupart des pays européens – dans toute l'Europe ces enseignements sont inégalement développés :

- La recherche opérationnelle est favorisée car, formalisée en termes mathématiques, elle s'insère facilement dans l'enseignement académique, en sciences comme en économie¹¹ ;
- Le traitement de l'information, en revanche, « s'affranchit mal de l'emprise mécanographique dont il ne constitue souvent qu'un chapitre »,
- Les techniques et la formulation des problèmes d'organisation sont rarement abordés.

De fait, l'institut de programmation de Paris, qui élabore en 1964 une option « Gestion et applications économiques » au niveau ingénieur, la requalifie ensuite « Approximation et optimisation » sous forme d'un certificat de maîtrise d'informatique : on y apprend notamment la théorie des graphes, la programmation dynamique ou linéaire, les mathématiques pour la gestion et l'économie, les langages de gestion et de simulation, les structures de l'information utilisée en gestion, les fichiers et les méthodes de tri, les problèmes de gestion en temps réel.

Quelques années plus tard, le grenoblois Cl. Delobel expliquera, en présentant sa thèse sur les systèmes d'information d'entreprise, qu'il est difficile d'avoir un modèle représentant à la fois le système d'information et le fonctionnement de l'entreprise comme unité économique. D'autant que l'on dispose seulement des graphes de circulation des *documents* établis par les

11 La recherche opérationnelle offre des solutions mathématiques aux problèmes de la gestion optimale des ressources. L'introduction par von Neumann des probabilités (théorie des jeux stratégiques), au milieu du xx^e siècle, a bouleversé les vieilles théories du management, fondées sur des schémas déterministes.

organisateurs, qui ne représentent pas la circulation de l'*information*, encore moins son traitement¹².

De toute les branches de l'informatique, c'est l'informatique de gestion qui souffre le plus du cloisonnement entre les disciplines et entre les facultés, au sein d'une « université » qui porte mal son nom.

Du côté des écoles de gestion, peu de mouvement avant le milieu des années soixante. Dans la faible mesure où l'on y songe, on se repose essentiellement sur les écoles techniques de mécanographie pour former les opérateurs : le traitement de l'information ne fait pas partie du métier des cadres, tout au plus de leur culture générale d'organiseurs¹³.

362

L'école des Hautes études commerciales (HEC) offre quelques cours d'initiation à l'emploi des ordinateurs – sans ordinateurs. Un probabiliste, Pierre Rosenstiehl (X 1955), enseigne les « mathématiques de l'action », la recherche opérationnelle, la méthode PERT, la logique et les techniques de simulation. Sur son initiative, pendant l'été 1966 HEC envoie en stage aux États-Unis un élève de deuxième année, Michel Klein. Celui-ci a appris à programmer sur l'IBM 7044 de l'observatoire de Meudon – lors de son « stage ouvrier » ! M. Klein est séduit par le *time-sharing system* développé à Dartmouth College et par l'organisation du libre accès au GE 625 sur ce campus (200 utilisateurs simultanés possibles), ainsi que par le projet MAC du MIT (Multics). Une fois diplômé, M. Klein y retourne en 1968 avec une bourse Fulbright pour préparer un MBA et travailler au centre de calcul où se développe le système temps partagé sous la direction de John G. Kemeny. Il collecte toute la documentation qu'il peut trouver, écrit des programmes, puis fait des recherches à New York sur les systèmes de gestion de bases de données à la Chase Manhattan Bank. Il souhaite transposer l'informatique qu'il a découverte aux États-Unis – ordinateurs GE en temps partagé, langage Basic favorisant un apprentissage agréable de la programmation pour tous – et envoie en ce sens une série de rapports et de lettres à la direction d'HEC¹⁴. P. Rosenstiehl, qui a lui aussi visité Dartmouth, appuie ce projet. L'installation de l'école sur le vaste campus de Jouy-en-Josas depuis 1964, puis la création de l'ISA (Institut supérieur des affaires), inspiré des programmes MBA américains et pour lequel HEC commence à constituer un corps professoral permanent, favorisent l'innovation.

12 Cl. Delobel, *Contribution théorique à la conception et l'évaluation d'un système d'informations appliqué à la gestion*, thèse de doctorat d'État, Grenoble 1, 1973.

13 Dans cette optique, HEC eut dès les années 1940 un cours professé par F. Maurice, directeur des études de Bull.

14 Ce récit se base principalement sur le témoignage de M. Klein au séminaire *Histoire de l'informatique* et sur son compte-rendu rédigé, « Les débuts de l'enseignement et de la recherche en informatique et systèmes d'information à HEC » (non publié).

M. Klein revient fin 1969 au Centre d'études supérieures des affaires d'HEC pour fonder un département d'informatique qui mène à la fois enseignement et recherche – grande nouveauté dans une école de gestion. Mais il se trouve en concurrence avec une conception très différente de celle qu'il préconisait. Car entre temps HEC, soutenue par le ministère de l'Industrie, a créé en 1968 un centre de calcul¹⁵ dirigé par un ancien ingénieur mathématicien de Bull, J.-L. Groboillot, plus familier avec le traitement par lots et le langage Cobol – c'est-à-dire avec l'informatique existant alors dans les entreprises. Surtout IBM a déployé tout son talent pour persuader la Chambre de commerce et d'industrie de Paris, dont dépend l'école, de choisir un IBM/360-40 nanti d'un *time-sharing* RAX pas très satisfaisant¹⁶.

L'enseignement de la programmation se fera donc, non en Basic, mais en Fortran. Le principal but de M. Klein étant de développer un projet de système d'aide à la décision financière, le système multidimensionnel « Scarabée » sera écrit sur matériel IBM en PL/1, et tournera sous RAX puis sous TSO¹⁷. HEC n'en fait pas moins figure de pionnière parmi les écoles de gestion, telles les Écoles supérieures de commerce et d'administration des entreprises (ESCAE), dépendant des chambres de commerce, et les instituts universitaires d'administration des entreprises (IAE), qui adopteront progressivement son approche. Quant aux concepteurs de « Scarabée », la plupart essaieront ensuite vers les sociétés de service informatique ou en créeront : TECSI, Système

- 15 La demande de crédits correspondante provoque de légères tensions : si le ministère de l'Industrie paye, cela ne se fera-t-il pas au détriment d'un laboratoire universitaire ? Donc HEC ne devrait-elle pas plutôt s'adresser à la Chambre de commerce de Paris ? Et ne ferait-elle pas mieux de s'équiper en matériel français ? (Audition de R. Galley, « Directeur de l'informatique », au CCRST, 26 mai 1967, p. 9). Une brève bataille commerciale oppose IBM et Bull-GE. Galley ne semble pas pousser un matériel CII.
- 16 La Chambre de commerce payera cher ce choix apparemment avantageux. Certes, IBM verse une part considérable de sa taxe d'apprentissage à HEC. Mais son matériel est très coûteux, d'autant qu'il faut bientôt le remplacer par un IBM/360-50 sous TSO (*time-sharing option* conçu pour le développement logiciel en *batch*, non pour l'enseignement interactif). Pour l'amortir, la CCIP persuade un certain nombre d'écoles, dont l'INSEAD et l'ISUP, de louer des terminaux reliés à cette machine. Mais bientôt lesdites écoles, pouvant comparer avec les services *time-sharing* qui se développent en France, abandonnent le RAX au profit d'autres systèmes plus conviviaux dont le GE 625. M. Klein et V. Tixier, qui se sont battus pour remplacer l'IBM RAX par un DEC PDP-10 qu'ils voulaient relier au réseau Arpanet des universités américaines, doivent se débrouiller avec l'IBM/360-50. Quant aux dizaines de programmes en Basic rapportés d'Amérique par M. Klein, ils ne peuvent servir à rien dans cet environnement.
- 17 Le projet donne lieu à de nombreuses publications, dont : M. R. Klein & V. Tixier, « SCARABEE : A Data and Model Bank for Financial Engineering and Research », *Proceedings of the IFIP Congress 1971*, Ljubljana, 1971. M. Klein (en coll. avec F. Girault), « Le projet Scarabée : une banque de données et de modèles pour la recherche en analyse financière et en gestion de portefeuille », *Analyse Financière*, n° spécial sur l'analyse financière et l'ordinateur, 1971 ; M. Klein et J.-P. Lévy, « SCARABEE, Un langage d'aide à l'analyse financière », *o.1. Informatique*, novembre 1974. Vincent Tixier (X 1961) avait participé, avant de rejoindre le département informatique d'HEC, au développement d'un système à accès multiple sur CII 10.070. Son successeur dans le projet est Jean-Paul Lévy, centralien qui a fait une thèse à Cornell University,

Informatiques de Gestion (SIG). Celle-ci développera et commercialisera un nouveau système inspiré de Scarabée, Optrans ; elle vend aussi à General Electric les programmes éducatifs développés par M. Klein.



364

Figure 34. Terminal IBM à HEC pour l'enseignement de la programmation (vers 1970)

L'école (environ 200 élèves à l'époque) possède bientôt une vingtaine de terminaux connectés à l'IBM/360 de son centre de calcul (photo HEC).

L'ESSEC ne veut pas être en reste... et adopte en fait la formule rejetée par sa grande rivale, installant en 1969 trois terminaux reliés au GE 265 du centre de calcul de Bull-GE ; les élèves, préalablement initiés au Basic, apprennent à résoudre en ligne des problèmes d'économie et de gestion. Ce n'est donc qu'à la fin des années soixante que plusieurs centaines d'élèves-managers de ces deux Grandes Écoles commencent à recevoir une initiation sérieuse à l'informatique. Quant à l'Institut d'études politiques de Paris, qui prétend jouer dans la même division avec sa section éco-fi, le « cours d'informatique » se limitera jusqu'aux années 1980 à de mortelles séances de programmation et de perforation de cartes en Cobol, langage particulièrement punitif. Autrement dit à un remplissage formel de l'obligation de « faire de l'informatique ».

L'Éducation nationale s'efforce elle aussi de répondre à la demande professionnelle, en créant à partir de 1966 les départements d'informatique des IUT, puis les MIAGE, ainsi que des formations de techniciens. Les chambres de commerce régionales commencent à soutenir cet effort. Les initiatives foisonnent à la fin des années 1960 : succès des cours d'informatique générale du CNAM qui sont désormais télévisés ; expériences d'informatique

dans l'enseignement secondaire ; création à l'École normale supérieure de l'enseignement technique (Cachan) d'une section informatique (sous-section des mathématiques), qui fonctionne de 1967 à 1972, formant au total 51 élèves, mais disparaît faute de diplôme de sortie spécifique. Le nouveau baccalauréat de technicien H (techniques informatiques) est souvent préféré à un brevet de technicien par les élèves, sensibles au prestige du titre de bachelier, au risque d'une formation trop générale, peu prisée des employeurs. Bref, vers 1970 une panoplie complète de formations et de diplômes est mise en place aux différents niveaux techniques et supérieurs. Mais ces investissements ne peuvent produire de résultats significatifs dans l'économie qu'après plusieurs années.

Les praticiens critiquent l'enseignement universitaire de l'informatique, « jusqu'à présent beaucoup trop théorique, sans lien avec les applications ou tout au moins orienté vers des applications minoritaires » et qui « doit être totalement réformé » dans le cadre du Plan Calcul¹⁸. De leur point de vue, l'enseignement supérieur n'a pas produit les informaticiens dont l'économie a besoin, ni en quantité, ni sur le plan de l'adéquation des contenus. Pour devenir un informaticien employable, un étudiant n'a pas besoin d'un lourd bagage mathématique : un esprit logique et rigoureux, des connaissances en management donnent les bases adéquates. Un éditorial virulent d'*Informatique et Gestion*, organe proche de la Délégation à l'informatique, exprimera une opinion courante en 1970 : « 74 000 professionnels travaillent aujourd'hui chez les utilisateurs. L'enseignement technique n'en a formé pratiquement aucun. Pourtant 5 000 ordinateurs tournent... »¹⁹.

Deux ans plus tard, la commission pour l'enseignement de l'informatique, créée au ministère de l'Éducation nationale pour y remédier, rédigera un rapport considérant comme « bien orienté » l'ensemble de formations désormais en service, tout en admettant le bien-fondé de ces critiques²⁰ :

Devancé par le secteur privé, et notamment les constructeurs, dans la mise en route des premières actions de formation, l'enseignement public s'est efforcé, non sans succès, de rattraper son retard.

18 H. Boucher, « L'informatique en France », *Revue de la Défense nationale*, avril 1967. Boucher, directeur du Centre de calcul scientifique de l'Armement, enseigne l'informatique à l'université de Toulouse. Son point de vue est partagé dans l'industrie, cf. Alain Schlumberger, « La mainmise des scientifiques sur "l'informatique" » (*Le Monde*, 26 mai 1966), qui engage une polémique avec les universitaires, en particulier Jacques Arsac.

19 *Informatique et Gestion*, 1970, n° 23, p. 3. Le chiffre de 74 000 professionnels travaillant chez les utilisateurs vient d'une enquête du BIPE qui les répartit ainsi : 60 800 dans le privé, 7 100 dans l'administration, 6 100 dans le secteur nationalisé. S'y ajoutent 6 000 dans les sociétés de service et 30 000 chez les constructeurs (ce qui est très exagéré : les 30 000 salariés des constructeurs d'ordinateurs ne sont pas tous informaticiens, loin s'en faut !).

20 Rapport de la commission pour l'enseignement de l'informatique, MEN, avril 1972. On trouvera en annexe les statistiques de diplômés dressées par cette commission.

Ce thème, la pénurie d'informaticiens et la nécessité d'y consacrer plus de moyens dans l'Éducation nationale, continuera d'être martelé, notamment dans des rapports officiels (Tebeka, etc.), jusqu'au milieu des années 1980 où le problème sera, partie résolu par la croissance de l'enseignement, partie transformé par la diffusion de la micro-informatique, de progiciels et d'interfaces homme-machine exigeant moins de technicité des utilisateurs.

366 L'enseignement de l'informatique n'est cependant pas la seule formation qu'il faudrait considérer. À un niveau très pratique, l'apprentissage de la langue anglaise dans l'enseignement secondaire et supérieur est extrêmement médiocre : la plupart des témoins évoquent ce handicap des ingénieurs français, que ce soit pour bien comprendre les publications fondamentales en informatique ou pour participer efficacement aux négociations internationales, dans les entreprises comme dans les organismes de normalisation. Pour en prendre qu'un exemple, l'anglais ne devient langue étrangère obligatoire à l'École Centrale qu'en 1969.

Au niveau de la conception même de l'enseignement, on a évoqué les grandes difficultés de l'évolution de l'École polytechnique et, plus généralement, la faible relation entre recherche et formation des ingénieurs. Or, au rythme où évoluent les techniques et leurs modes d'utilisation, quelqu'un qui entre vers 1960 dans la vie professionnelle a déjà de fortes probabilités de changer de travail, voire de métier, une ou plusieurs fois dans son existence, volontairement ou non. Quelques personnalités, comme Bertrand Schwartz à l'École des mines de Nancy, commencent à le percevoir et à propager la conviction que l'enseignement devrait développer, non seulement des compétences techniques, mais aussi des aptitudes à s'adapter aux « mutations », et « apprendre à apprendre »²¹. Mais ces idées et les réformes qui s'en inspirent ne se répandront qu'à la fin des années soixante.

21 B. Schwartz, entretien avec F. Birck, « L'École des mines de Nancy, de l'après-guerre à la réforme », dans F. Birck et A. Grelon (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine*, Metz, Éditions Serpenoise, 1998.

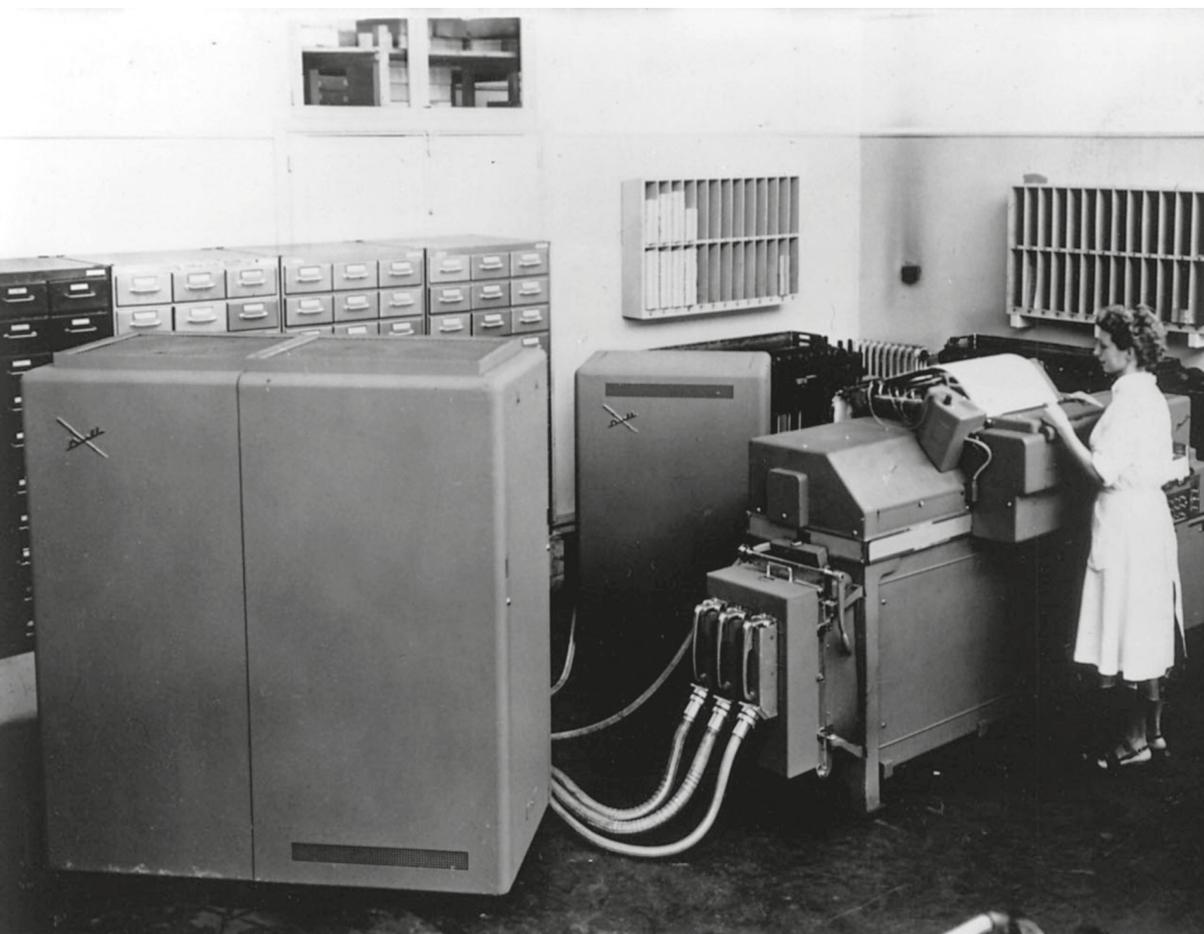


Figure 35. Ensemble Bull Gamma 3, tabulatrice, perforuse et opératrice (vers 1955)

Asservi à la tabulatrice, ce calculateur électronique à programme externe (câblé ou par cartes) est relativement facile d'emploi pour les utilisateurs habitués à la mécanique. Avec son concurrent direct l'IBM 604, c'est de loin le type le plus répandu au moment où apparaissent les premiers ordinateurs. Beaucoup d'informaticiens ont fait sur ces machines l'apprentissage du « codage » qui les a préparés à l'emploi des ordinateurs à programme enregistré. À l'arrière-plan, les tiroirs de cartes perforées constituent la bibliothèque de programmes ou de données (photo Bull).



Figure 36. IBM 650 (1955)

Présenté au SICOB 1955, cet *ordinateur* (le mot est d'abord déposé comme marque française par IBM) sera produit à plus de 1000 exemplaires dans le monde. Installé au siège d'IBM France, place Vendôme au cœur de Paris, celui qui figure sur cette photo devient le principal instrument du Centre européen de calcul scientifique. Il contribue à initier bien des scientifiques français à la programmation : IBM crée un Fonds de recherche, administré par un comité d'universitaires²², qui attribue gratuitement 50 h de calcul par an aux universités et au CNRS sur cette machine, la seule condition étant que les utilisateurs remettent à IBM une copie de leur travail. Remplacé deux ans plus tard par un IBM 704 beaucoup plus puissant, cet ordinateur est acquis d'occasion par l'Observatoire de Paris. Entre temps, son emploi a convaincu d'autres laboratoires publics et privés de s'en équiper et de partager leurs expériences dans le cadre d'un club d'utilisateurs. L'astrophysicien Roger Cayrel, préparant sa thèse d'astrophysique sous la direction d'Évry Schatzman, a utilisé 4 de ces 50 h en décembre 1956 : « J'ai un excellent souvenir de cette première utilisation d'un ordinateur, bien qu'il n'y eût même pas un assembleur, et que j'aie codé en numérique à 100%. Nous avons eu à l'Institut d'astrophysique un excellent cours de programmation du mathématicien Herz (ENS 1946). J'avais fait des milliers d'heures de calcul numérique sur machine de bureau (environ 10 s. par opération). En 4 heures d'IBM 650 j'ai dû faire environ 3 millions d'opérations (compte tenu de la période de rotation du tambour, 5 millisecondes), ce qui aurait pris 8 000 h de plus. J'ai convaincu de Possel que le CNRS devait se doter au plus vite d'une machine IBM (série des machines binaires avec 4000 mémoires rapides). L'Observatoire de Paris a aussi fait ce choix » (photo IBM).

²² Membres du comité, présidé par É. Durand (université de Toulouse) : A. Ghizzetti (université de Rome), R. Inzinger (professeur de mathématiques appliquées, TH Vienne), C. Manneback (dir. du centre national de calcul de Bruxelles), E. Stiefel (dir. de l'Institut de mathématiques appliquées, TH Zurich), A. Walther (dir. de l'Institut de maths appliquées, TH Darmstadt) et M. Wilkes (université de Cambridge). Le secrétaire est A. Roudil (IBM).

BULL

*Puissance
Rapidité
Capacité
Économie*

4 QUALITÉS CARACTÉRISTIQUES DU

**CALCULATEUR
ELECTRONIQUE GAMMA 3B**

*à tambour
magnétique*

QUE LES COMPTABLES
ET LES INGÉNIEURS
TROUVERONT DEMAIN
DANS TOUTES LES ENTREPRISES

Figure 37. Publicité Bull Gamma ET (1956)

Le premier ordinateur Bull utilise une tabulatrice mécanographique comme périphérique d'entrée-sortie. Cette machine élargit le marché de Bull aux milieux scientifiques, comme l'indiquent l'argumentaire et le nouveau logo de Bull où les trajectoires elliptiques évoquent la physique atomique et l'astronomie. À l'époque on nomme ces machines indifféremment *calculateurs* ou *calculatrices*, le Gamma 60 ou la 704 IBM. *Ordinateur* s'imposera au cours des années 1960.



Figure 38. La CAB 500 de la SEA, ordinateur personnel (1961)

Beaucoup moins coûteuse que les ordinateurs de première génération, la CAB 500 apporte une fiabilité et une facilité d'emploi nouvelles, notamment un mode conversationnel. La SEA élimine les cartes perforées. La principale interface utilisateur est une machine télex imprimante Friden Flexowriter à ruban perforé. Diffusée à une centaine d'exemplaires, notamment dans l'enseignement supérieur et les bureaux d'études, cette machine permet d'initier de nombreux ingénieurs et chercheurs à la programmation (photo Bull).



Figure 39. L'anxiété de l'informaticien devant l'imprimante (vers 1960)

À l'époque où les ordinateurs n'ont pas encore d'écran, c'est sur le *listing* sortant de l'imprimante, au rythme crépitant de la mécanique, que l'on guette les bugs et les résultats des calculs ou des tests. Les visages légèrement tendus de Kuntzmann, de Bolliet et d'un assistant révèlent le poids des incertitudes et des enjeux de l'informatique naissante (photo IMAG).

TROISIÈME PARTIE

L'émergence d'une science et sa
résistible reconnaissance institutionnelle

C'est [...] dans la faiblesse de notre raison que nous trouvons l'origine des sciences : la nature qui en comprend indistinctement tous les matériaux méconnaît les divisions auxquelles nous les avons assujetties¹.

Discipline building, more especially in its early stages, is a matter of personal, sometimes heroic, endeavor by some one or few persons seized with the possibilities of an as-yet-unrecognized, unorganized area of knowledge. The cognitive identity which a discipline assumes is itself profoundly influenced by the private vision of its founders².

À une époque où l'enseignement supérieur et la recherche montent en puissance, le calcul, le traitement de l'information, la conception et l'utilisation des ordinateurs posent des problèmes scientifiques intéressants, en même temps qu'ils deviennent un secteur économique en forte croissance qui réclame des masses de diplômés. Ces facteurs combinés donnent progressivement à l'informatique le caractère ou l'image d'une discipline, voire d'une science. Comment celle-ci s'est-elle révélée, puis affirmée ? Comment les hautes instances scientifiques ont-elles pris en compte l'émergence du nouveau domaine ? Comment une discipline neuve apparaît-elle et s'impose-t-elle ?

On peut traiter le sujet sous plusieurs angles : comprendre la genèse intellectuelle des concepts, la dialectique des théories et des expérimentations ; ou bien étudier l'apparition d'une communauté scientifique, avec ses organisations professionnelles, ses instances de régulation, ses règles d'exclusion et d'inclusion³. Thomas Kuhn a fourni, en publiant sa *Structure*

- 1 G. Riche de Prony, *Nouvelle architecture hydraulique*, Paris, Firmin-Didot, [1796], t. 1, p. 1.
- 2 R. K. Merton (& A. Thackray), « On Discipline Building: The Paradoxes of George Sarton », *ISIS*, 1972, vol. 63, n° 219, p. 474.
- 3 L'émergence d'approches nouvelles est depuis longtemps un thème classique de l'histoire des sciences, avec des synthèses fondatrices comme R. Lenoble, « Les origines de la pensée scientifique moderne », dans M. Daumas (dir.), *Histoire de la science*, Paris, Gallimard, 1957, p. 367-530, ou A. Koyré, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973. L'une des principales études « post-Kuhnienne » a été G. Lemaine, R. MacLeod, M. Mulkay & P. Weingart, *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*, Paris, Moulton-Aldine, 1976. Plus récemment, T. Lenoir, *Instituting Science. The Cultural Production of Scientific Disciplines*, Stanford, Stanford University Press, 1997. Les approches ont évolué, considérant initialement un point de vue global au niveau « macro-institutionnel » d'une science prise comme un tout, pour s'intéresser de plus en plus aux pratiques de laboratoires.

*des révolutions scientifiques*⁴, une grille d'analyse qui présente l'avantage de combiner les deux approches.

Une discipline scientifique n'est pas faite seulement de concepts. Ceux-ci n'existent et ne s'imposent qu'à travers des institutions et des réseaux sociaux : des postes et des chaires dans la recherche et l'enseignement supérieur, si possible des laboratoires et des départements qui les englobent ; des diplômes et des *curricula* spécialisés ; des projets soutenus par des lignes budgétaires ; des associations ou sociétés savantes qui rassemblent une « communauté » par-delà les cloisonnements administratifs ; des conférences qui les réunissent régulièrement et font état de l'évolution du domaine ; des publications, revues périodiques ou collections de livres, qui permettent de propager expériences, savoirs et doctrines. Les instances d'évaluation et de régulation des carrières jouent un rôle central dans la définition de la discipline, de ses priorités et de ses pratiques. Construire un tel édifice prend de longues années, aux rythmes inégaux de la maturation des idées et des esprits, de la croissance des ressources matérielles, des périodes de stabilité ou de réformes institutionnelles, ainsi que de la volonté militante et des aptitudes tactiques de ses promoteurs : comme le dit R. K. Merton dans la citation placée en exergue ci-dessus, le rôle des personnalités individuelles, de leurs convictions et de leurs intérêts joue parfois un rôle décisif dans la formation d'une discipline. Sans oublier les différends personnels, corporatifs ou épistémiques qui peuvent les diviser.

374

L'analyse Kuhnienne fournit un modèle applicable dans la mesure où l'activité et le militantisme des chercheurs en informatique, à la fin des années soixante, correspondent à ce que Th. Kuhn décrit comme « l'acheminement vers une science normale » :

- Produire des réalisations assez convaincantes pour attirer des intérêts variés – utilisateurs ayant besoin d'instruments, théoriciens en quête de problèmes, jeunes scientifiques cherchant leur voie professionnelle.
- Constituer des instances et des critères d'évaluation autonomes, qui définissent la discipline ou le champ de recherche, modifient à leur usage la hiérarchie des sujets et des méthodes, reconfigurent le réseau de relations avec les autres sciences et avec les techniques.

La notion de révolution scientifique n'est en revanche pas pertinente au sens que Th. Kuhn lui donne (je n'insinue pas que l'ordinateur n'a pas transformé

4 T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 1^{ère} éd., Chicago, Univ. of Chicago Press, 1962 ; 2^e éd., 1970. trad. T. S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1983.

la pratique de la recherche !). Elle s'applique en effet plutôt à une théorie qui en remplace une autre dans la fonction de colonne vertébrale d'une science. Or l'informatique ne s'est pas substituée à une théorie ou à une science préexistante. Elle n'est pas née d'une crise scientifique ou de l'épuisement d'un paradigme, mais de l'invention d'un instrument, solution à une crise technique. Cet instrument offrait des possibilités inédites et posait à son tour de nouveaux problèmes à mesure que, de *calculateur*, il devenait *machine à traiter l'information*.

À la suite de Th. Kuhn, de nombreux travaux ont analysé l'émergence et l'institutionnalisation des disciplines scientifiques. J.-P. Gaudillière a identifié plusieurs modèles possibles⁵ : à côté du modèle de *substitution* de Th. Kuhn, le modèle de *spécialisation* décrit le développement d'une branche nouvelle à partir d'un tronc disciplinaire, suivant un mécanisme classique de différenciation. Un troisième modèle, étudié par Gaudillière (cas de la biologie moléculaire), décrit un processus de *convergence* entre des scientifiques, des concepts, des outils venus de divers horizons ; une fois constituée, la nouvelle discipline entre dans une phase d'expansion où elle tend à annexer d'autres problèmes, d'autres domaines, et en renouvelle les approches.

On verra que le développement du calcul électronique suit d'abord un processus de spécialisation, avec l'affirmation progressive d'une branche des mathématiques appliquées, l'analyse numérique. Au cours des années 1960, s'ajoute à ce processus un vaste phénomène de convergences, l'ordinateur attirant des intérêts de plus en plus variés, porteurs de concepts et de programmes de recherches qui se recomposent dans ce nouvel environnement. Le mot *informatique* arrive à point nommé pour les désigner.

Comment s'effectuent ces convergences et sur quoi portent-elles ? Le regretté Michael Mahoney, historien des sciences à Princeton, a appliqué une grille d'analyse similaire aux *computer sciences*, précisant les questions, proposant pistes de recherche et schémas d'interprétation⁶. S'intéressant notamment à l'émergence de l'informatique théorique et du génie logiciel, il montre le rôle moteur des *agenda* (au sens latin de ce géronitif : « ce qu'il faut faire »), des projets intellectuels qui définissent et structurent un champ scientifique : sur quels programmes les spécialistes s'accordent, avec quel degré de priorité,

5 J.-P. Gaudillière, *Biologie moléculaire et biologistes dans les années soixante : la naissance d'une discipline. Le cas français*, thèse de doctorat, université Paris VII, 1991.

6 M. S. Mahoney, « Computer Sciences: The Search for a Mathematical Theory », dans J. Krige & D. Pestre (dir.), *Science in the 20th Century*, Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 1997, chap. 31, p. 617-634. M. S. Mahoney, « Software as Science, Science as Software », dans U. Hashagen, R. Keil-Slawik & A. Norberg (dir.), *ICHC 2000: Mapping the History of Computing. Software Issues*, Berlin, Springer Verlag, 2002. M. S. Mahoney, « Finding a History for Software Engineering », *IEEE Annals of the History of Computing*, 2004, vol. 26, n° 1, p. 8-19.

quelles sont les bonnes pratiques, quels sont les problèmes importants, quels sont les moyens de les résoudre et – plus important encore – que considère-t-on comme une solution ? L'autonomie d'un champ scientifique est fonction de son aptitude à élaborer son propre *agendum*.

Cependant l'émergence de l'informatique dans la sphère académique ne résulte pas seulement de courants intellectuels, elle est aussi poussée par des forces économiques, techniques, militaires et politiques, dont il faut saisir les interactions. On abordera ces questions en étudiant les événements à différents niveaux d'échelle et en changeant plusieurs fois de focale : au niveau institutionnel de l'université, d'un grand organisme de recherche comme le CNRS ou des associations professionnelles, au niveau biographique de quelques parcours personnels représentatifs, au niveau de petits groupes éphémères ou durables qui orientent les décisions.

UN POINT D'OBSERVATION : LE CNRS

Parmi ces différents niveaux, le Centre national de la recherche scientifique offre un point d'observation privilégié. D'abord à cause de sa vocation à faire émerger des domaines scientifiques nouveaux et à les doter de moyens techniques. Ensuite parce que le statut de l'informatique y a été vivement discuté. Enfin parce qu'il a bien conservé ses archives. Créé en 1939, le CNRS est d'ailleurs un organisme en plein essor à l'époque qui nous intéresse : de 3 100 personnes en 1950 (chercheurs à plein temps, ingénieurs, techniciens ou administratifs), il atteint 16 000 agents à la fin des années soixante. Toutefois, ses budgets hors personnel augmentent à un rythme plus modeste, déterminant une faiblesse structurelle du Centre⁷.

Quel rôle a joué le CNRS dans le développement de l'informatique ? Les structures originales de cette « République des savants » – une direction, appuyant ses décisions sur les avis d'un Comité national consultatif – ont-elles favorisé son avènement⁸ ?

7 Les trois quarts des budgets de fonctionnement sont consacrés au personnel. Les budgets d'équipement, très variables d'une année sur l'autre, passent (en FF constants 1982) d'une moyenne de 310 dans les années cinquante à 470 dans la décennie suivante, et dépassent 1100 par an dans les années soixante-dix (d'après les chiffres de J.-F. Picard, *La République des savants*, *op. cit.*, p. 214).

8 Sur le fonctionnement du Comité national, on dispose d'un historique institutionnel dans la thèse d'un juriste sur le CNRS (G. Druésne, *Le CNRS*, Paris, Masson, 1975) et de quelques réflexions de la part de sociologues qui y ont siégé, ainsi D. Merllié, « Science et classement : classement scientifique et scientificité des classements au CNRS », *Revue française de sociologie*, 1981, vol. XXII, p. 291-297. R. Aron, dans ses *Mémoires* (p. 350), et M. Crozier, dans *On ne change pas la société par décret*, p. 180-187, ont également évoqué l'ambiance des commissions. Plusieurs études ont été publiées par la suite, notamment : J.-C. Bourquin, « Le Comité national de la recherche scientifique : sociologie et histoire (1950-1967) », *Cahiers pour*

La création d'une instance d'évaluation autonome au CNRS est une étape décisive dans la reconnaissance d'une discipline car, outre la visibilité qu'elle lui donne dans le dispositif de recherche, elle constitue un cadre durable (les commissions sont élues pour 4 ans et leur périmètre est rarement changé plus d'une fois par décennie) et ses « avis », qui ont généralement force de décision, déterminent des créations de laboratoires et des recrutements ou promotions de chercheurs encore plus durables. À l'époque que nous considérons, la plupart de ces chercheurs étaient destinés à passer ensuite comme professeurs dans l'enseignement supérieur.

L'une des missions confiées à l'origine par les fondateurs du Centre au Comité national consistait à détecter les percées scientifiques prometteuses et à y orienter les investissements. Lors d'une séance du Directoire en juin 1950, le directeur adjoint Georges Champetier rappelait ainsi ce rôle pilote de l'organisme :

Le CNRS ne créait de laboratoires [...] que lorsqu'il s'agissait de disciplines nouvelles, qui n'entraient pas dans le cadre des enseignements classiques de faculté [...]. Il serait bon que, dans dix ans, quand ces sciences nouvelles seront devenues classiques, ces laboratoires réintègrent la faculté⁹.

Trente ans après, Pierre Papon, directeur général du CNRS, reproche au Centre de n'avoir pas assez joué ce rôle :

La création du CNEXO et de l'IRIA en 1966 visait à combler des carences dans les domaines [...] de l'océanographie et de l'informatique que le CNRS, pour ne parler que de lui, avait insuffisamment développés. [...] Le mode de fonctionnement du CNRS, organisé autour de la notion de discipline scientifique, l'a très probablement empêché de prendre conscience de l'émergence de domaines nouveaux comme l'informatique et l'océanographie¹⁰.

l'histoire du CNRS, 1989, n° 3. J. Lautman, « L'évaluation au CNRS », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990, n° 10. « Comité national : les leçons de l'audit », *Le Journal du CNRS*, avril 1994, n° 52 ; D. Fixari, J.-C. Moisdon, F. Pallez, « Gérer en évaluant. Le rôle du Comité national de la recherche scientifique », *Cahier du Centre de gestion scientifique*, octobre 1993, n° 6. C. Vilkas, « L'évaluation au CNRS », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, novembre 2004, n° 11.

- 9 Champetier reprend cette conception dans une conférence au Centre des Hautes études administratives de l'ENA, le 11 avril 1952. On peut parler à cet égard d'une véritable « doctrine Champetier » concernant le rôle du CNRS (Archives CNRS (non cotées), dossier « Articles 1940-1956 »).
- 10 P. Papon, *Pour une prospective de la science*, Paris, Seghers 1983, p. 317 et p. 67. Voir aussi M. Blancpain, « La création du CNRS : Histoire d'une décision (1901-1939) », *Bulletin de l'IIAP*, octobre-décembre 1974, n° 32, p. 751-801 ; J. Rivero, « Aspects juridiques de l'organisation de la recherche scientifique en France », *6^e Journées juridiques franco-polonaises*, Paris, Société de législation comparée, 1966, p. 5 et 6 ; OCDE, *Examen des politiques scientifiques nationales, la France*, Paris, OCDE, 1966, p. 27.

On estime généralement que le CNRS n'a pu assumer sa mission de politique scientifique nationale, un organisme possédant ses propres laboratoires et dépendant d'un ministère (l'éducation nationale, en l'occurrence) ne pouvant coordonner les recherches relevant d'autres ministères, encore moins leur imposer une politique. D'où la création de la DGRST en 1959.

Si l'on passe au niveau plus technique des structures et des mécanismes du Centre, comment le CNRS traite-t-il trois problèmes cruciaux dans la gestion de la recherche : la reconnaissance d'un champ scientifique nouveau, l'évaluation d'une activité pluridisciplinaire, les relations entre la recherche fondamentale et les applications industrielles ? L'histoire de la recherche en informatique et de sa représentation au Comité national a précisément l'avantage de poser simultanément ces trois problèmes :

378

- Champ de recherche nouveau, le calcul électronique est né à peu près en même temps que le CNRS. Il est typiquement l'un des domaines pour le développement desquels le Centre a été fondé, comme la génétique où le CNRS a fortement investi depuis la Libération¹¹. Il pose évidemment le problème de la résistance à l'innovation qui, paradoxalement, existe et remplit une fonction dans le monde scientifique comme dans tout autre milieu, en obligeant les innovateurs à approfondir et à renforcer leurs argumentaires, à se légitimer.
- Domaine pluridisciplinaire, l'informatique se trouve notamment à l'interface de deux sciences dont les modes de fonctionnement sont très différents : la physique, qui a dominé le CNRS depuis sa création et l'a utilisé dans une logique de « science lourde » ; et les mathématiques, qui s'y sont beaucoup moins investies. Où « caser » l'informatique ? Comment définir et organiser ses relations avec les mathématiques appliquées, dont elle dépend jusqu'en 1975, avec l'automatique et l'électronique, dépendant des commissions de la physique ? Les discussions « philosophiques » sur la définition de l'informatique ont des implications institutionnelles : l'existence ou non d'instances d'évaluation *ad hoc* détermine les conditions et le rythme de développement de la nouvelle discipline.
- Enfin, l'informatique illustre bien les relations complexes entre université, CNRS et partenaires industriels ou militaires. Dans la pratique, les collaborations sont nombreuses et n'ont cessé de s'intensifier, qu'il s'agisse de contrats de recherche appliquée ou d'enseignement. Mais elles sont critiquées dans la sphère académique, pour des raisons à la fois idéologiques et scientifiques. Les cadres scientifiques des entreprises qui ont construit les premiers ordinateurs en France, dont les compétences sont bienvenues dans les

11 Voir *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990, n° 7, numéro consacré aux sciences de la vie.

salles de cours et les laboratoires, ne peuvent être admis qu'au compte-gouttes dans les instances d'orientation et d'évaluation du CNRS. Ainsi limitée, la population des chercheurs en calcul et en informatique reste longtemps trop peu nombreuse pour constituer une section du Comité national.

Ces problèmes n'ont pas de solution idéale, pure et parfaite. La recherche de solutions approchées, de compromis temporaires résultant des représentations et des rapports de force du moment, a laissé des documents assez complets pour nous permettre d'en suivre de près l'évolution.

L'INFORMATIQUE, ENTRE TECHNIQUE ET SCIENCE

Ces considérations statutaires sont liées à une question épistémologique : l'informatique, qui est d'abord une technologie, est-elle aussi une science ? Les pages qui suivent ne visent pas à trancher cette controverse, mais à examiner les modalités de son développement et à voir à quelles positions dans le champ scientifique correspondent les différentes opinions des spécialistes (j'observerai la même attitude quant à l'expression *mathématiques appliquées*¹²). Comment s'articule-t-elle avec la reconnaissance institutionnelle de l'informatique dans l'enseignement supérieur et la recherche ?

Rétrospectivement, on peut considérer qu'avec le calcul électronique, la *big science* a fait irruption dans le petit monde des mathématiciens, faisant éclater la distinction entre science et technologie. D'autre part, autour des techniques du calcul et de l'ordinateur (structures de machines, programmation...) se développent des recherches scientifiques ayant une certaine autonomie par rapport aux disciplines établies, autonomie liée à leur objet que l'on cherche à mieux comprendre. Au milieu des années cinquante, Von Neumann constate que :

[...] Les automates les plus typiques [...] sont bien entendu les grands ordinateurs électroniques. Je voudrais noter, en passant, qu'il serait très satisfaisant de pouvoir parler d'une "théorie" au sujet de ces automates. Malheureusement tout ce dont nous disposons à l'heure actuelle n'est qu'une "masse d'expériences" mal articulée et peu formalisée¹³.

12 Ce travail ne constitue pas non plus une histoire des concepts informatiques, qui a été bien écrite par ailleurs (voir bibliographie). On trouve une intéressante synthèse, sous une approche conceptuelle résolument internaliste, dans E. Saint-James, « Innovations et ruptures dans l'économie et l'épistémologie de l'Informatique », dans *3^e colloque sur l'histoire de l'informatique*, *op. cit.* ; et « Histoire de la Programmation », Ms.

13 J. von Neumann, *L'Ordinateur et le Cerveau*, *op. cit.*, p. 14 (série de conférences prononcées en 1955). C'est un résumé du vaste programme mis en chantier par von Neumann à partir de 1948, dans le contexte du bouillonnement cybernétique. Il a publié un premier article programmatique, « General and Logical Theory of Automata », en 1951.

Ce qui revient, dans la bouche du maître, à formuler un programme de recherches. Des centaines, puis des milliers de scientifiques à travers le monde s'y attellent, soit qu'ils aient lu ces lignes, soit le plus souvent qu'ils éprouvent spontanément la même insatisfaction. Une à deux décennies plus tard, ils auront accumulé assez d'expériences et de résultats pour discuter du statut scientifique de leur activité. Ils se répartiront alors entre deux positions extrêmes :

- L'informatique n'est pas une science, mais une application et un outil des mathématiques.
- L'informatique est une science née de problèmes pratiques, dont la solution exigeait un effort de théorisation, pendant que sa formalisation devenait nécessaire pour définir des programmes d'enseignement. Un corpus autonome de savoirs s'est ainsi constitué autour de l'information et de son traitement. De quoi est-elle une science ? Si « l'informatique n'est pas plus la science des ordinateurs que l'astronomie n'est celle des télescopes », selon le pionnier hollandais de la programmation Edsger Dijkstra, coutumier de ces jugements à l'emporte-pièce, son objet serait les *structures d'information*.

380

Comment les termes et les conditions de ce débat se sont développés, c'est la question centrale des chapitres qui suivent. L'informatique n'existe pas comme champ autonome à la fin des années cinquante. Elle va conquérir sa légitimité en sortant peu à peu du cadre d'autres disciplines – astronomie, linguistique, mathématiques surtout¹⁴. Les premiers chercheurs en « informatique » sont des scientifiques travaillant dans des institutions dont l'activité principale est le calcul et le traitement de l'information : laboratoires, centres de calcul, entreprises. Si une définition rigoureuse des mots permet dans beaucoup de cas de penser clairement et d'éliminer les faux problèmes, il est ici plus opératoire d'adopter une attitude pragmatique à l'égard du terme « informatique » et de ses dérivés – terme fabriqué pour désigner simplement un ensemble complexe et mouvant d'activités diverses, et dont le succès vient justement de son caractère flou, polysémique, qui lui a permis de rassembler des intérêts variés, de susciter débats et réflexions.

Les chapitres qui suivent visent à décrire les rapports entre une activité scientifique, des institutions et les acteurs qui y participent. La construction d'un champ scientifique peut être considérée comme un réflexe naturel aux universitaires qui, confrontés à une activité nouvelle, notamment à une technologie, s'y investissent, la transforment en une « discipline scientifique »

14 Notons que l'informatique naissante est assez attractive pour séduire des scientifiques travaillant dans d'autres disciplines qui sont, elles aussi, en plein essor. Sur ce point, elle diffère du modèle décrit dans G. Lemaine *et alii*, *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*, *op. cit.*, qui fait l'hypothèse d'une migration des domaines en déclin vers un nouveau champ de recherche.

et s'efforcent de l'insérer dans les institutions académiques, en s'appuyant sur une forte demande socio-économique.

Comme il s'agit d'exposer un phénomène progressif, on doit à la fois faire le récit chronologique de l'émergence ou de la construction d'une discipline, donner un aperçu des diverses activités intellectuelles dont elle suscite la convergence, décrire leurs traductions institutionnelles et les controverses dont elles sont les enjeux. On entrelacera trois ordres de récits :

- Sur les développements d'activités de recherche : thèmes nouveaux liés à l'emploi et à la conception des calculateurs, colloques et séminaires qui les explorent et en manifestent l'importance.
- Sur la vie associative où s'affirme et se définit une profession, qui cherche à faire reconnaître ses spécificités, à proposer ses solutions, à propager ses valeurs.
- Sur la représentation du calcul, puis de l'informatique, dans les instances de politique ou de gestion de la recherche, aux deux sens du mot *représentation* :
 - au sens parlementaire, quels représentants de ces activités siègent dans les commissions d'évaluation et quelles sont leurs possibilités d'action ?
 - au sens d'image mentale, comment ces instances perçoivent-elles l'informatique, avec quel degré de priorité, quelles orientations, quel *agenda* ?

Une chronologie schématique peut distinguer une première période, jusqu'au milieu des années 1960, où à partir du calcul électronique émergent des recherches en informatique ; et une seconde période, jusqu'au milieu des années 1970, où la discipline informatique progresse de la contestation à l'institutionnalisation.

DU CALCUL ÉLECTRONIQUE AUX RECHERCHES EN INFORMATIQUE (1945-1966)

Après la guerre, le développement du calcul électronique est un aspect de l'essor des mathématiques appliquées, qui découle lui-même des besoins croissants de l'ingénierie et de la gestion de systèmes techniques, économiques et sociaux de plus en plus complexes. Quelques individus et petits groupes qui en perçoivent le potentiel d'avenir s'y investissent et, à partir d'horizons professionnels divers, se rassemblent autour de ces activités. Dans la recherche et l'enseignement supérieur, la pratique des techniques du calcul et de leur enseignement suscite un besoin de théorisation. Celui-ci converge avec d'autres activités scientifiques qui, utilisant plus ou moins la machine informatique, cherchent elles aussi à formaliser les méthodes de son emploi et de sa conception. Ces rencontres et ces croisements ouvrent progressivement, au cours des années soixante, un vaste domaine de recherches.

A. L'ESSOR DES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES : INVESTISSEMENTS, REPRÉSENTATIONS, PROFESSIONALISATION

Dès 1946, le CNRS et l'université s'efforcent de se réinsérer dans le mouvement scientifique international en organisant des conférences sur le calcul et les mathématiques appliquées à des domaines de pointe comme la mécanique des fluides, dont les spécialistes disposent d'une instance d'évaluation à part entière au CNRS. Face à une domination des Mathématiques pures sur le monde académique français, les premiers spécialistes d'analyse numérique militent pour faire reconnaître la légitimité de cette « science du calcul » fortement liée aux besoins de la technique. Leur activisme et leur expertise en font, au milieu des années cinquante, le noyau initiateur d'un processus de professionnalisation : revues spécialisées et collections de livres, sociétés savantes et clubs d'utilisateurs d'ordinateurs échangeant programmes et informations, attestent dès 1960 un dynamisme qui conduit à une extension du calcul vers d'autres domaines du traitement de l'information.

Dans l'immédiat après-guerre, le CNRS tend à exercer des prérogatives de politique scientifique¹ ; il comporte une forte proportion de recherches appliquées, à la fois par héritage et par volonté de participer au relèvement technique du pays. Cette double préoccupation se traduit notamment par un intérêt manifeste envers le développement du calcul. Pourquoi cela, alors que les scientifiques français semblent peu demandeurs ? C'est que la réouverture des échanges avec l'étranger leur montre les efforts entrepris dans des pays voisins en faveur du calcul. Au CNRS même, des mathématiciens appliqués occupent des positions de pouvoir.

384

La direction du CNRS est attentive à l'exemple britannique. Le biochimiste Louis Rapkine a aidé et rassemblé pendant la guerre les savants français réfugiés dans les pays anglo-américains. En 1944 il a créé avec le physicien Pierre Auger un groupe de recherche opérationnelle et établi pour la France libre des synthèses sur les avancées scientifiques des Alliés². Devenu chef de la mission scientifique française en Grande-Bretagne, Rapkine recommande en 1945 de s'inspirer de l'organisation de la recherche anglaise en créant au CNRS cinq sous-directions, chacune coiffant la recherche fondamentale et appliquée dans une grande discipline. Cela permettrait au CNRS de pratiquer une politique de priorités sélective « par un ordre d'urgence judicieusement établi ». L'une d'elles devrait être consacrée aux mathématiques appliquées :

Pour que les Mathématiques appliquées puissent, en France, atteindre le niveau atteint par les Mathématiques pures, il faut bien une direction énergique et indépendante de cette partie de la science³.

Le CNRS met en œuvre cette recommandation, mais à un niveau organisationnel moins élevé, en créant à la fois un laboratoire, l'Institut Blaise Pascal, et une commission d'experts.

En 1948, le bureau de Londres rend compte d'une séance de la Royal Society sur les machines à calculer : après un rappel sur les machines américaines ENIAC et IBM, Hartree et Newman (université de Manchester) indiquent les principes généraux d'une machine universelle, Wilkes décrit celle qu'il est en train de construire à Cambridge, Williams présente sa mémoire à tubes

1 A. Prost, « Les origines de la politique de recherche en France (1939-1958) », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1988, n°1, p. 41-61.

2 J.-F. Picard, *La République des savants*, *op. cit.*, p. 87-89. D. Dosso, « The Rescue of French Scientists : Respective Roles of the Rockefeller Foundation and the Biochemist Louis Rapkine (1904-1948) », dans G. Gemelli (dir.), *The "Unacceptables": American Foundations and Refugee Scholars Between the Two Wars and After*, Brussels / Oxford, Presses interuniversitaires européennes / Peter Lang, 2000, p. 195-215.

3 Arch. nat. 80/0284/183, dossier Angleterre 1944-1950.

cathodiques. Deux ans plus tard, la direction du CNRS est avisée de la mise en service de ces ordinateurs et du colloque tenu en juin 1950 autour de l'EDSAC de Cambridge⁴.

Par ailleurs, en 1946, Rapkine a persuadé la fondation Rockefeller de soutenir le redémarrage de la recherche française en finançant des colloques (\$ 5 000) et des achats d'équipements (\$ 250 000). Ainsi, l'Institut Henri Poincaré reçoit 100 000 F fin 1946. Le CNRS organise, avec le soutien de la fondation Rockefeller, des colloques internationaux qui affirment sa place dans le développement des mathématiques appliquées :

Tableau 16. Colloques internationaux de mathématiques appliquées en France (1947-1951)

Titre	Date	Lieu	Organisateur
Analyse harmonique	juin 1947	Nancy	Mandeljbrot
Les Méthodes de calcul en mécanique des fluides	avril 1948	Paris	Pérès
Le Calcul des probabilités et la statistique mathématique	juillet 1948	Lyon	Fréchet
La Cybernétique, théorie du signal et de l'information	décembre 1950	Paris	de Broglie
Les Machines à calculer et la pensée humaine	janvier 1951	Paris	Couffignal

S'y ajoutent des conférences plus restreintes, ainsi *Analyse, synthèse et position actuelle de la question des servomécanismes* (1947, CNAM) et *Les Grandes Machines mathématiques* (juin 1947, PTT). Aucun colloque n'est organisé en France dans ce domaine de 1951 à 1955, mais les rares spécialistes français sont invités aux réunions tenues dans les pays voisins (Angleterre, Belgique, Italie, etc.). Par ailleurs des sessions sur le calcul électronique sont insérées, en raison des techniques et des applications impliquées, dans les *Congrès International de l'Aéro-Électronique* (Paris, 1953), *Congrès sur les Procédés d'enregistrement sonore et leur extension à l'enregistrement des informations* (Paris, 1954), *Colloque international sur l'électronique nucléaire* (Paris, 16-20 septembre 1958).

Ces colloques permettent à des chercheurs français d'entrer en contact avec leur collègues étrangers, notamment anglo-américains, et de se mettre au courant des problématiques et des réalisations récentes. Parallèlement, Pérès et Couffignal participent depuis 1946 à des pourparlers internationaux en vue de créer un laboratoire européen de calcul – deux projets sont discutés depuis 1946, l'un sous l'égide de l'Unesco, qui aboutira au centre de calcul de Rome, l'autre avec le centre mathématique d'Amsterdam et d'autres instituts nationaux, qui ne produit qu'un peu de sociabilité scientifique.

4 La direction du CNRS est également informée des recherches soviétiques, par d'autres canaux. Un rapport du SDECE du 22 novembre 1950 décrit l'activité de deux laboratoires russes : l'Institut d'automatisme et de télémechanique (créé en 1939 par Kovalenkov) et l'Institut de mécanique de précision et de technique du calcul de Moscou où l'équipe Liousternik-Vissonov réalisera la série M20 à partir du BESM 1, Arch. nat. 80/0284/126, chemise « Bureau scientifique de l'Armée ». On obtient donc par ce moyen détourné le genre de renseignements qui se trouveraient dans n'importe quel rapport d'activité publié d'un laboratoire occidental ; mais le rapport du SDECE ignore les équipes de Kiev (la première à se lancer dans la construction d'un ordinateur, dès 1947, sous Lebedev) et de l'Institut énergétique de Moscou.

Toutefois, l'échec de la machine de Couffignal éteint pour dix ans le rayonnement du CNRS en matière de calcul automatique. Le CNRS n'est plus l'organisateur principal des colloques tenus après 1951 dans ce domaine (il n'y en a d'ailleurs aucun en France jusqu'en 1955), mais il continue à soutenir les congrès de mathématiques appliquées.

Tableau 17. Calcul et informatique au Comité national : chronologie

Renouvellement des sections	Section dont relève principalement l'informatique
1991 (Redécoupage du CN)	(vers la création d'un Département "STIC")
1987	Section 8 : informatique, automatique, signaux et systèmes
1983	
1980	
1976 (Redécoupage du CN)	Section 2 : informatique, automatique, traitement du signal, systèmes
1971	Section 1 : mathématiques et informatique
1967 (Redécoupage du CN)	Section 1 : mathématiques
1963	
1960	
1956	
1953	
1950 (1 ^{ères} élections au CN)	Section 3 : mécanique générale et mathématiques appliquées
1945	mécanique générale et mathématiques appliquées + diverses commissions spécialisées (applications des mathématiques et calcul numérique)

386

b. La section 3 du CNRS, « Mécanique générale et mathématiques appliquées »

D'autre part, des spécialistes des mathématiques appliquées occupent des fonctions décisionnelles au CNRS.

De 1946 à 1966, le calcul automatique et l'analyse numérique relèvent principalement de la section 3, « Mécanique générale et mathématiques appliquées ». Cette section est dominée pendant vingt ans par les mécaniciens des fluides, notamment par Joseph Pérès qui la préside jusqu'à sa mort en 1962 ; leur stature scientifique, à en juger par leur participation aux réunions internationales, est alors nettement supérieure à celle des spécialistes français du calcul, qui font encore figure d'apprentis.

Entre 1946 et 1949, quand est constitué *de facto* le Comité national, cette commission comprend, sur 21 membres, au moins quatre personnes actives dans le domaine du calcul et des machines mathématiques : deux membres à part entière (Joseph Pérès, directeur de l'Institut Blaise Pascal et directeur adjoint du CNRS, et Louis Couffignal, sous-directeur de l'IBP) ; et deux « conseillers » (Lucien Malavard, sous-directeur de l'IBP, et Pierre Nicolau, directeur de l'école supérieure de l'Armement). Ces quatre experts se retrouvent aussi dans une éphémère commission destinée à développer les applications des mathématiques et le calcul numérique. Le directeur du

CNRS, le généticien Georges Teissier, siège lui-même en commission de Calcul des probabilités.

Le décret de 1949 organisant le Comité national met fin au foisonnement des instances créées par Fr. Joliot-Curie et à la diversité professionnelle de leurs membres. En 1950, les comités de recherche appliquée ont disparu ; la section 3 ne comprend plus que l'une des quatre personnalités mentionnées ci-dessus, son président Joseph Pérès. Les instances d'évaluation sont essentiellement contrôlées par les grands patrons de laboratoires. Simultanément, le CNRS commence à élaguer ses laboratoires de recherche appliquée, tandis que l'administration applique de plus en plus strictement la réglementation sur le cumul d'activités, réfrénant les chercheurs qui souhaitent enseigner ou travailler avec l'industrie.

Notons qu'à la même époque, en Grande-Bretagne, le *Department for Scientific and Industrial Research* vient de réunir un comité interministériel (comité Brunt), destiné à suivre les progrès des calculateurs électroniques, examiner leurs champs d'application et sélectionner les modèles les plus prometteurs⁵. Le CNRS se prive donc, en se repliant sur la recherche fondamentale, de la possibilité de mener une politique technologique.

Le nouveau directeur général, Gaston Dupouy, regrette d'ailleurs ce repli sur la recherche fondamentale, qui enferme le CNRS dans la tutelle du ministère de l'Éducation nationale. Lors de la préparation du II^e Plan, il demande la création de commissions spécialisées pour l'étude de sujets particuliers, favorisant les contacts entre chercheurs de diverses disciplines et de milieux différents. Il recommande l'établissement de contrats de recherche entre l'industrie et les organismes de recherche : « Il y a lieu d'encourager, comme à l'étranger, les rapports personnels entre les universitaires et les milieux industriels »⁶. Il existe alors au CNRS un système de bourses de formation d'ingénieurs-docteurs, visant à fournir des chercheurs à l'industrie. Ce système sera supprimé en 1959 au moment de la création du statut des chercheurs de la fonction publique. On envisagera de le rétablir dix ans plus tard.

C'est par l'université que le CNRS récupère un potentiel d'expertise en calcul numérique. En 1956, Lucien Malavard et Jean Kuntzmann sont nommés en section 3. Kuntzmann le raconte avec une pointe d'ironie, teintée d'amertume à l'égard des mathématiques pures : « Me croyant mathématicien, je m'étais adressé sans succès à la section 1. Puis M. Pérès, doyen de la Sorbonne et président de la section 3, s'intéressa à nous et nous invita à nous rattacher à sa

5 DSIR, *1949 Annual Report*, London, Her Majesty's Stationary Office, 1950.

6 Préparation du Plan d'équipement, 1953-1954, Arch. nat. 80-0284/104.

section »⁷. Ils sont rejoints en 1960 par de Possel, le successeur de Couffignal à l'Institut-Blaise Pascal. Il y a d'ailleurs de fortes complémentarités entre calcul et mécanique des fluides, ainsi Kampé de Fériet, mécanicien des fluides renommé, introduit dans ses cours à Lille des conférences sur la théorie de l'information, la cybernétique et le calcul des probabilités.

Bizarrement, F.-H. Raymond se retrouve nommé à la section 1, sans doute faute de place en section 3. La nomination du patron de la SEA est rendue possible par un décret de 1959 qui a entr'ouvert la porte du Comité national à des personnalités représentant la recherche industrielle – ouverture justifiée, en ce qui concerne Raymond, par ses activités académiques : enseignement et publications scientifiques. Il en gardera un souvenir déçu :

Denjoy [le président] me demande de décrire mon activité. Au bout d'une phrase, Dieudonné m'interrompt : "Nous les mathématiciens n'avons besoin que de papier et de crayons". Voila la mentalité des mathématiques pures à l'époque. [...] Mon laïus impliquait que la recherche serve à quelque chose et exigeait des crédits. Pour eux, c'était de la cuisine. Le père Denjoy était presque à la retraite. J'avais 45 ans, je ne pouvais tenir un langage académique sur "l'informatique". Mais ce qui me frappe c'est leur manque de curiosité. Les mêmes aux États-Unis auraient été intéressés⁸.

La section 2 englobe les « Théories physiques, probabilités et applications », intitulé qui correspond précisément au programme de recherches de Henri Poincaré et de l'institut du même nom. De cette commission relèvent à la fois les spécialistes de physique mathématique, grands utilisateurs de calcul et d'analyse numérique, et les spécialistes de la théorie de l'information comme Ville et Schützenberger. Elle comprend en 1960 quatre personnes qui, à un titre ou à un autre, s'intéressent au calcul électronique : Émile Durand (Toulouse), Robert Fortet (faculté des sciences de Paris, École polytechnique, consultant pour LCT et METRA⁹), Robert Lattès (ENS 1948, centre de calcul du CEA et SEMA) et André Lichnérowicz (ENS 1933, professeur au Collège de France). Envisageant essentiellement la question sous l'angle du service de calcul, cette section « considère comme vital que soit définie et mise en œuvre une politique

7 Lettre de Jean Kuntzmann à l'auteur, 1986. On note le tropisme de Kuntzmann vers les mathématiques (sans adjectif) et l'affirmation implicite de l'unité des mathématiques, idée qui prendra une importance très concrète pour l'organisation du CNRS en 1965. Notons aussi que Pérès, directeur de l'Institut Blaise Pascal, invite Kuntzmann pour représenter le calcul numérique, non Couffignal désormais marginalisé.

8 Entretien avec F.-H. Raymond, 8 avril 1986.

9 R. Fortet, titulaire de la chaire de calcul des probabilités et physique mathématique à l'Institut Henri Poincaré, bénéficia en 1964 d'un contrat DGRST pour l'étude des systèmes auto-organisants.

d'implantation et de modernisation d'ordinateurs puissants » et recommande la création d'une « commission *ad hoc* pour l'étude des problèmes concernant l'implantation des ordinateurs et des méthodes de calcul »¹⁰.

La section 10 (électronique, électricité, magnétisme) compte plusieurs membres intéressés à la recherche en calcul et en automatique, en particulier Jean Lagasse (Toulouse) et Maurice Ponte (DG de la CSF). Celui-ci a enfin été admis au Comité national, en vertu du décret de 1959 permettant la nomination d'industriels dans les commissions du CNRS – plus exactement de scientifiques travaillant dans l'industrie. La CSF vient de créer deux filiales : Analac, qui développe des calculateurs analogiques originaux et emploie des mathématiciens, et CAE, qui produit sous licence américaine des ordinateurs temps réel.

Les calculateurs électroniques sont considérés ici à la fois comme des éléments de systèmes d'automatisme, et comme des terrains d'application de notions de base des automatismes : rétroaction, boucle, etc. Alors que l'informatique cherche encore son identité et se débat dans des querelles d'écoles doublées de rivalités de laboratoires, les automatismes forment déjà une communauté relativement forte, structurée autour de quelques centres : Centre d'études et de recherches en automatisme de Supaéro, développé par Decaulne, Gille et Pélegrin depuis le début des années cinquante ; équipe de Pierre Naslin au laboratoire central de l'Armement ; laboratoire grenoblois de René Perret ; laboratoire de génie électrique fondé par Jean Lagasse à Toulouse ; un peu plus tard, laboratoires de Pierre Vidal à Lille et de Roman Menzecev à Nantes. Les automatismes prennent plus facilement leur autonomie par rapport à l'électrotechnique que ne le feront les informaticiens par rapport aux mathématiques, les problèmes de relations entre science pure et science appliquée se posant en termes très différents.

L'Académie des sciences elle-même commence alors à prendre ce domaine en considération. Elle est, certes, encore loin d'en élire des spécialistes parmi ses membres. Mais le choix des lauréats de la médaille Blondel (décernée chaque année à un physicien et à un ingénieur ayant une œuvre scientifique en électrotechnique ou en électronique), et l'allocution prononcée par le prince Louis de Broglie lors de la remise du prix, témoignent de la perception par l'Académie de ce nouveau domaine. Les aspects mathématiques et « calcul » des recherches récompensées sont souvent mentionnés. Plusieurs lauréats sont

¹⁰ RC, 1964, p. 55 et résumés des propositions des sections (Arch. nat. 78/0309/24) : la section 2 demande la création de quatre nouveaux centres de calcul en Province (Strasbourg, Marseille, Bordeaux et Clermont), dotés de très puissants ordinateurs IBM 7094 ou d'Univac 1107, et employant chacun une cinquantaine de techniciens. Ces villes abriteront en fait des centres de calcul universitaires moyens.

des pionniers du calcul électronique : F.-H. Raymond (1950), Pierre Herreng (1956), Jean Carteron (1960). Remettant la médaille à Jean Carteron, Louis de Broglie souligne que le comité Blondel témoigne,

pour la première fois, l'intérêt qu'il porte à ces branches nouvelles et si importantes de la Science contemporaine que sont la technique des calculateurs et la théorie de l'information, ainsi que leurs multiples applications¹¹.

c. Une instance de politique scientifique : le CSRSPT (1955-1958)

390 Le bref gouvernement Mendès-France (juin 1954-février 1955), auprès duquel les scientifiques tels Lichnérowicz ou Longchambon jouent un rôle actif, donne une forte impulsion aux réflexions sur l'organisation de la recherche, sur la politique scientifique et sur les liaisons recherche-industrie. Ces thèmes seront développés avec une bonne résonance dans deux colloques organisés par le même groupe, à Caen (1956) et à Grenoble (1957)¹². Ce bouillonnement intellectuel reprend et amplifie les thèmes du retard scientifique national et du sous-développement de la formation d'ingénieurs¹³. Il a d'autant plus d'écho qu'une nouvelle génération de scientifiques, dont certains ont été en stage aux États-Unis, perçoivent nettement le décalage sur le plan des contenus à moderniser comme des moyens techniques et humains à mettre en œuvre. C'est l'époque où apparaissent de nouveaux défis, de nouvelles priorités : Mendès engage discrètement le CEA dans le développement de l'arme nucléaire ; les États-Unis mettent au point leurs premiers missiles balistiques stratégiques et proposent une participation à leurs alliés ; la crise de Suez révèle l'humiliante dépendance militaire de la France ; en 1957 l'Union soviétique satellise le Spoutnik.

L'un des manques les plus criants est celui d'une instance de politique scientifique, capable de coordonner l'action des différents organismes et de répartir les investissements en fonction de priorités d'intérêt national. Pour y répondre, le gouvernement Mendès-France a fondé un Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique (CSRSPT)¹⁴. Cette instance

11 Arch. Acad. sciences, Fonds 42 J, boîte 33.

12 Les actes des colloques de Caen et de Grenoble ont été publiés dans la revue de Pierre Mendès-France, *Cahiers de la République*, n° 5, 1956 ; et n° 11, 1958.

13 Le CSRSPT (Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique) estime à « 10.000 ingénieurs environ » le déficit en 1955 ; leur effectif croît de 1% par an alors qu'un minimum de 3% serait nécessaire – voire 6% dans certaines branches, dont l'industrie électrique et électronique, placée en deuxième position après la mécanique (CSRSPT, *La Recherche scientifique et le Progrès technique*, Rapport en vue de la préparation du III^e Plan de modernisation et d'équipement, Paris, juin 1957, p. 20-21).

14 Voir A. Prost, « Les origines de la politique de recherche en France (1939-1958) », art. cit.

consultative est composée de savants éminents comme l'astronome André Danjon, qui s'intéresse particulièrement au calcul.

En mai 1955 est créée au sein du CSRSPT une commission « Électronique et Cybernétique », destinée à « promouvoir le développement de l'automatique et aider les théoriciens et les techniciens des systèmes asservis, des machines mathématiques et de l'information » (notons que c'est précisément le périmètre de la future commission d'informatique du CNRS, 20 ans plus tard). Présidée par le général Bergeron (X 1910, Supélec), auparavant président du CASDN et de l'ONERA, elle comprend la plupart des personnalités qui comptent dans l'informatique française naissante et que l'on retrouvera par la suite : J. Carteron, Ph. Dreyfus, J. Kuntzmann, J. Lagasse, M. Laudet, P. Naslin, R. de Possel, F.-H. Raymond, R. Rind, etc.

Ces experts, ingénieurs ou universitaires, constatent que, dans cette « science nouvelle appelée la *cybernétique* », la France est très en retard par rapport bien entendu aux États-Unis, mais aussi à l'Angleterre qui a « engagé 5 milliards de francs en 5 ans, répartis entre universités et industriels pour construire des machines numériques »¹⁵. L'université française a un rôle crucial à jouer dans le rattrapage, en introduisant dans ses enseignements des « disciplines fondamentales » et en s'équipant en calculateurs. La formation de « techniciens concepteurs et de techniciens utilisateurs » aura alors un effet d'entraînement sur l'industrie¹⁶.

La commission auditionne des représentants de tous les laboratoires où l'on développe ces nouvelles technologies, ainsi que ceux qui veulent les faire éclore, comme le physicien Dehors à Lille. Elle joue un rôle de réflexion, d'information, de coordination dans la mise en place des premiers enseignements universitaires en automatique et en calcul numérique ; participant à la préparation du III^e Plan, elle adjure l'État de développer énergiquement la formation¹⁷ :

- 15 L'importance du modèle anglais est manifeste par exemple dans le compte-rendu de P. Naslin « Réflexions sur le congrès sur les techniques du calcul électronique » (*Convention on Digital Computer Techniques*, Institution of Electrical Engineers, London, 9-13 avril 1956), *Automatisme*, juin 1956, n°6, p. 224-228. Cette vaste réunion (1 500 participants) confirme la course aux vitesses et aux capacités mémoire (on tend vers les 5 MHz et les mémoires à tores de 1 M de bits). Elle révèle une tendance à subordonner la conception des machines aux exigences de la programmation. Elle montre l'efficacité de structures comme le DSIR mêlant recherches pures et appliquées.
- 16 Présidence du Conseil, « Emploi de l'électronique dans le domaine de la cybernétique », *Note sur le CSRSPT. Structure, fonctionnement, situation au 15 juin 1955*, (p. 4), Arch. nat. 77/321/323.
- 17 CSRSPT, *Rapport d'information sur les carrières de l'électronique*, présenté le 11 février 1957 (p. 4), Archives DGRST, Arch. nat. 77/321/323, liasse 1001. Parallèlement, pour initier les cadres supérieurs à ces matières, la commission organise avec Jean Ville une « université d'été d'électronique et d'automatisme » de 6 semaines, à Supaéro en 1958.

L'électronique se caractérise par un changement rapide des ordres de grandeur à tous points de vue [...]. Pour les machines à calculer, [en termes de] personnels et d'investissements [...] un coefficient de 100 est attendu entre 1955 et 1965.

392

En 1956, le CSRSPT incite le ministère de l'Éducation nationale à instaurer de nouveaux certificats de la licence ès sciences, en « Automatique appliquée », « Calcul automatique » et « Cybernétique », représentant chacun une centaine d'heures de cours et des travaux pratiques. Le Ministère crée trois certificats de calcul numérique dans trois universités : à Grenoble et à Toulouse, où ils officialisent les enseignements déjà assurés par Kuntzmann et Durand ; et à la Sorbonne, avec Jean Ville. Le même processus aboutit à la création de certificats « d'électronique industrielle et servomécanismes » pour les automaticiens. D'autres certificats similaires sont créés, les années suivantes, dans les facultés des sciences qui disposent d'un enseignant compétent. Ces créations favorisent le développement de formations de 3^e cycle en analyse et calcul numérique, puis en programmation. Rétrospectivement, c'est le premier pas vers la reconnaissance académique de cette discipline. La commission du CSRSPT est aussi la dernière instance qui utilise le mot *Cybernétique* dans ce contexte, pour plus d'une décennie.

La plupart de ses membres se retrouvent au Congrès international d'automatique, organisé en 1956 par F.-H. Raymond qui affirme la nécessité de développer conjointement théories et techniques dans ce nouveau domaine :

Il est donc essentiel qu'un Congrès international établisse un premier bilan des méthodes scientifiques qui s'offrent aux chercheurs de l'automatisme et dresse l'inventaire de ses possibilités techniques [...]. Le congrès de l'automatique aura pour mission, entre autres, de mettre en valeur les théories fondamentales de cette science nouvelle qu'est l'automatique théorique et appliquée – qu'on ne saurait confondre avec la cybernétique dont le caractère doit encore s'affirmer [...]. Il permettra de passer en revue les domaines d'application de l'automatisme, dans la production industrielle et dans la mécanique du travail de bureau et des méthodes de *planning*. Enfin, en faisant appel à des techniciens de la recherche opérationnelle, le congrès fera apparaître le caractère complémentaire de l'automatisme dans la gestion scientifique des entreprises¹⁸.

Le congrès vise à établir un premier bilan « des méthodes scientifiques qui s'offrent aux chercheurs de l'automatisme » et à dégager un programme d'action

18 F.-H. Raymond, « Le prochain congrès international de l'automatique de Paris accentuera l'orientation de la France vers l'automatisme », *Automatisme*, mars 1956.

pour unifier les méthodes de l'automatisme sur le plan international. « Cette unification est indispensable si l'on veut éviter des tâtonnements et la répétition d'erreurs coûteuses. Jusqu'à présent, elle est laissée au soin des industriels qui, chacun dans leur domaine, s'efforcent d'adopter les améliorations les plus récentes réalisées par leurs concurrents ». Le but essentiel est de remplacer l'empirisme régnant, source de gaspillage, par une approche scientifique.

d. L'affirmation des Mathématiques appliquées : l'agenda de l'analyse numérique

Mais où commence « la science » ? Dans une lettre au directeur du CNRS en 1950, le mathématicien Paul Montel recommandait de n'admettre dans cet organisme que des stagiaires qui aient

déjà donné des preuves de leur sagacité et de leurs qualités d'invention. Certains achèvent péniblement une thèse de doctorat sans véritable originalité. Ils manquent à l'enseignement secondaire et encombrant les avenues de l'enseignement supérieur. Il nous faut moins de chercheurs et plus de trouveurs¹⁹.

Cette exigence de qualité est conforme aux statuts et à la mission du CNRS, mais la définition des critères de qualité laisse une large place à l'interprétation et peut varier d'un groupe à l'autre, même au sein d'une discipline, en fonction de ce que les instances disposant du monopole de la certification légitime estiment important pour la faire progresser.

« Mécanique générale et mathématiques appliquées » n'est pas qu'une subdivision administrative, c'est aussi une catégorie scientifique revendiquée comme telle. En 1956, Jean Legras, ce professeur qui a été élu à Nancy contre J.-P. Serre, publie un traité apparemment technique sur la résolution des équations aux dérivées partielles. Ce n'est que l'un des ouvrages d'analyse numérique qui se multiplient à l'époque, tout jeune professeur devant effectuer ce genre d'exercice. Mais il constitue un véritable manifeste et nous offre un précieux aperçu des controverses et des stratégies disciplinaires qui agitaient alors le milieu mathématicien²⁰. Le doyen Pérès, qui le préface, approuve hautement l'insistance de l'auteur sur l'autonomie d'une « Analyse appliquée » par rapport à l'« Analyse pure » : tandis que celle-ci vise essentiellement « à la rigueur et à la généralité, dégageant de prime abord les structures abstraites de l'Analyse », celle-là « procède par étude de problèmes types, faisant largement appel à l'intuition » et « doit dominer dans l'initiation d'élèves ingénieurs aux

19 Lettre de Paul Montel au directeur du CNRS, 4 octobre 1950, Archives du CNRS, Arch. nat. 80/0284/101.

20 Ces revendications, dont le texte de Legras est un exemple particulièrement vigoureux, sont déjà un genre établi aux États-Unis, par exemple dans le livre influent de M. A. Biot et Th. von Kármán, *Mathematical Methods in Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1940.

mathématiques appliquées »²¹. Le livre paraît, fort opportunément, au moment où se discute une révision des programmes d'enseignement, qui instaure notamment les premiers certificats d'Analyse numérique au niveau de la licence.

Pères insiste sur cette spécificité d'une approche où analyse et expérimentation s'appuient mutuellement dans l'étude d'un problème physique. Ainsi, en aérodynamique on utilise des théories qui, « basées sur des schémas très incomplets des faits, se sont pourtant révélées extrêmement efficaces ». L'un des exemples les plus fameux est la théorie du segment portant de Prandtl qui, à partir des caractéristiques de profils déterminés en soufflerie sur des maquettes de forme simple, permet de prévoir le comportement aérodynamique de voilures de géométrie quelconque (dans sa théorie de la couche-limite, Prandtl a réussi, en laissant de côté les termes précis des équations de Navier-Stokes, une simplification telle qu'une solution devient possible à un problème jusque-là très ardu sur le plan mathématique). La valeur dominante étant ici l'efficacité technique, les diverses méthodes de résolution d'un problème (analytique, graphique, numérique, analogique) peuvent être utilisées concurremment : « numériciens » et « analogiciens » ont tout intérêt à rester alliés pour faire prévaloir l'éminente dignité des mathématiques appliquées, la proclamation des droits du tiers-État calculatoire – peu élégant, mais très utile.

394

Des « mathématiques imparfaites, mais efficaces »

Notons que cette revendication ne peut se comprendre que dans le contexte universitaire dominé par Bourbaki. Ailleurs, dans les milieux de l'ingénierie « de pointe », civile ou militaire, publique ou privée, l'importance des mathématiques appliquées est de plus en plus évidente. Elles visent essentiellement deux objets :

- Traduire des problèmes de mécanique ou de physique en équations, ce qui implique de connaître suffisamment les deux domaines, et de manière assez intuitive pour pouvoir négliger les complications formelles superflues.
- Trouver des résultats numériques à ces équations, avec une précision acceptable et des temps relativement courts – attitude opposée à celle des mathématiques pures qui traitent des symboles représentant des êtres mathématiques, non des grandeurs physiques.

21 J. Legras, *Techniques de résolution des équations aux dérivées partielles. Équation de la chaleur, équation de Laplace, équation des ondes*, préface de J. Pères, Paris, Dunod, 1956, 180 p. C'est un livre d'analyse numérique pour ingénieurs, mais qui ne dit pratiquement rien des moyens matériels de calcul : un renvoi rapide aux appareils rhéo-électriques de Pères et Malavard (p. 96) et quelques techniques de résolution au crayon sur papier. D'ailleurs, au moment où il l'écrit, Legras ne dispose pas encore d'un calculateur électronique. Legras publiera d'autres ouvrages dans le même domaine au cours des 20 années suivantes.

Legras a articulé son livre autour des principaux types de problèmes pratiques, détaillant pour chacun plusieurs types de résolution avec leurs avantages, leurs inconvénients et leurs complémentarités : il n'y a pas de *one best way*. Son introduction, au ton délibérément combatif, semble refléter une polémique dont l'élection à la chaire nancéenne ne fut qu'un épisode. Les développements de technologies nouvelles (aéronautique, électronique, etc.) posent depuis une ou deux décennies des problèmes nouveaux et complexes. Les mathématiques classiques s'y montrant « souvent inefficaces », on a mis au point des « méthodes d'ingénieur » (« terme que certains voudraient péjoratif »),

imparfaites au point de vue mathématique mais qui, appuyées sur une parfaite connaissance des faits expérimentaux et sur une intuition sûre, ont montré leur efficacité dans l'étude de problèmes que les mathématiciens avaient refusés. Ces méthodes ont été améliorées, développées, mises au point et forment maintenant l'*« Analyse appliquée », ensemble des techniques qui permettent la résolution effective des équations, résolution qui doit être conduite jusqu'à la « mise en nombres »*²².

« L'origine de cette branche des mathématiques, son génie propre, son étroite alliance avec les autres disciplines des mathématiques appliquées et avec les autres sciences, créent certains remous, aggravés de plus par des querelles de chapelle. Certaines refusent à l'analyse appliquée d'appartenir aux mathématiques, d'autres voudraient en faire une branche mineure de l'analyse. En fait l'analyse appliquée est une branche des mathématiques appliquées, *qui dépend spécifiquement des mathématiques, et qui n'a qu'une ressemblance superficielle avec l'analyse pure.* » Elle est « un moyen au service de tous », qui « étudie tous les problèmes qu'on lui pose », tandis que l'analyse pure « est une fin en soi ».

Sur ce point, il y a au moins un assentiment de tous les mathématiciens, voire de tous les scientifiques : les mathématiques appliquées diffèrent essentiellement des mathématiques pures, en ce qu'elles s'occupent d'objets physiques (forces, masses, chaleur, etc.) ou sociaux (valeur économique, taux de croissance...), tandis que les mathématiques pures travaillent uniquement sur des objets mathématiques (fonctions, équations, groupes, etc.).

La différence fondamentale porte sur la notion de rigueur. Si la nécessité de la rigueur dans les mathématiques classiques imprègne toute la scolarité, il en va différemment en analyse appliquée : « les hypothèses de base introduisent une certaine incertitude, à laquelle il n'est pas gênant d'ajouter une incertitude

²² *Ibid.*, p. XI (définition soulignée dans le texte). L'expression *analyse numérique* est apparue vers 1930 ; l'« *analyse appliquée* » (sans complément), après guerre. Les termes synonymes fleurissent alors : *mathématiques utiles* ou *utilisables* (Couffignal), *mathématiques de l'ingénieur* (Kuntzmann)...

supplémentaire, due à l'emploi de méthodes mathématiques imparfaites », car, de toute façon, « la vérification expérimentale assurera la sécurité que les mathématiciens demandent habituellement à la rigueur dans leurs raisonnements ». L'ingénieur ou le physicien, placé devant des problèmes que les mathématiques classiques n'ont pu résoudre, a le choix entre renoncer à l'emploi des mathématiques et « utiliser des méthodes moins strictes, que réprouvent les mathématiciens, mais qui sont seules capables de les dépanner ». Ils doivent donc « se dégager du complexe inhibitif de rigueur que leur a imposé leur éducation [...] de la tyrannie de la rigueur [et] sacrifier la rigueur à l'efficacité ».

396

Ces phrases sont un exercice de grand écart, affirmant à la fois l'appartenance directe de l'analyse appliquée aux mathématiques et une différence de valeur fondamentale, de paradigme. Cette tension traversera toute l'évolution des mathématiques appliquées et de l'informatique pendant les 20 années suivantes. Problème qui se compliquera quand l'informatique elle-même ressentira le besoin d'une rigueur accrue en raison même de sa complexification croissante – mais d'une rigueur définie autrement, et sanctionnée par le traitement en machine, par l'expérimentation.

En attendant, ce livre contribue à établir l'Analyse numérique comme discipline et comme programme scientifique, au moment où le ministère commence à créer dans quelques facultés des certificats de licence, puis les premières chaires portant ce titre. Vers 1960 se constituent des enseignements complets d'analyse numérique, structurés en trois niveaux :

- Un certificat de 2^e cycle, souvent une option de la licence de mathématiques appliquées, comprenant de l'algèbre numérique, du calcul matriciel, des notions sur le calcul des quadratures et l'intégration des équations différentielles ordinaires, ainsi que des notions de programmation.
- Un certificat de 3^e cycle comprenant la théorie générale de l'approximation, les transformations de Fourier et de Laplace, des notions élémentaires sur les équations aux dérivées partielles.
- Un doctorat de 3^e cycle, comportant des cours de logique mathématique, de statistique, de recherche opérationnelle, sur les fonctions spéciales et diverses équations fonctionnelles.

S'y ajoutent des séminaires de recherche. À l'Institut d'Astrophysique de Paris, un séminaire d'analyse numérique est (re-)créé en 1956, deux ans après la mort de Mineur, par J.-Cl. Herz (ENS 1946, CNRS, IBM) qui le transmet en 1958 à Fr. Genuys (ENS 1946, CNRS, IBM). Au bout de deux ans, celui-ci à son tour passe la main à André Korganoff (Centralien, Bull). À Grenoble, Gastinel prend

le relais du séminaire de Kuntzmann. À la fin des années soixante, l'Analyse numérique sera enseignée dans la plupart des universités françaises.

À leur tour, les grands utilisateurs de calcul que sont EDF et le CEA créent conjointement en 1961 une école d'été d'analyse numérique, sous la responsabilité de Robert Dautray. L'école d'été EDF-CEA réunit une cinquantaine de participants dès sa première session, dans un château de la région parisienne appartenant à EDF. Elle est animée par des enseignants de niveau international (Richard S. Varga, George Dantzig, Peter Lax...) et reçoit comme conférenciers la plupart des numériciens français²³. Elle contribue à familiariser les Français avec les travaux américains les plus récents en mathématiques appliquées. Et à rapprocher le milieu polytechnicien, les numériciens et les informaticiens universitaires français, dont les plus éminents sont invités à y intervenir. La constitution d'une « communauté »



Figure 40. École d'été d'analyse numérique EDF-CEA (27 août-11 septembre 1961)

1^{er} rang (G. à Dr.) : Billois, Carteron, Amouyal, Abadie, Lions, Douglas, Yvon, Varga, Messiah, Lattès.
2^e rang (G. à Dr.) : Lieutaud, Feingold, Sponhn, Tardy, Lépine, Janninck, Guilloud, Bosmorin, Bayard, Letellier, Dubois, Raviart, Evrard, Dandeu, Genuys, Newey, Mlle Thouvenin, Piriou, Lévy, Maugis, Minnard, Hennequin, Gastinel, Pouzet, Lago, Moreau, Baglin, Soulé, Huard de la Marre, Caubet, Cornu, Melle Lefèbvre, Forge, Kahane, Mme Bosset, Caseau, Bosset (photo Fr. Genuys).

23 Archives des écoles d'été CEA-EDF-IRIA : <www.inria.fr/actualites/colloques/cea-edf-inria/>. Par ailleurs, un colloque d'analyse numérique se tient en 1961 à l'université de Mons (Belgique), avec des participants Français.

numéricienne, souvent en marge du courant dominant de la recherche mathématique universitaire, s'effectue donc par brassage de ses représentants académiques avec les praticiens de l'industrie et de la recherche appliquée, et par ouverture aux méthodes américaines. Une école d'été d'informatique sera organisée sur le même modèle par EDF, le CEA et l'IRIA à partir de 1969. Parallèlement, à partir de 1967, un Congrès national d'analyse numérique (CANUM) réunira chaque année universitaires, chercheurs et industriels concernés par l'analyse numérique et les mathématiques appliquées, des aspects théoriques au calcul scientifique.

Les équations aux dérivées partielles : un enjeu stratégique

398 Au centre de ce programme des mathématiques appliquées, les équations aux dérivées partielles. Ces équations sont utilisées depuis deux siècles pour rendre compte de nombreux phénomènes physiques : mécanique des fluides, ondes électromagnétiques, conduction de la chaleur, etc. Les EDP sont à la fois un sujet de recherches en mathématiques pures et un outil de modélisation dont le potentiel d'applications est immense. Si elles « sont le sujet, actuellement, d'études théoriques délicates (telles que celles de Leray, Schwartz et leurs élèves) »²⁴ (Legras pense certainement à J.-L. Lions, son condisciple à Nancy), elles conduisent aussi à des problèmes simples d'un grand intérêt pour la physique ou les applications techniques. Or elles sont mal connues des ingénieurs et des étudiants en sciences appliquées, les manuels qui en traitent étant trop théoriques. Les EDP à plus de deux variables sont d'une étude malaisée, les méthodes courantes s'y appliquent mal, « la méthode numérique elle-même devient rapidement trop lourde pour être utilisable » – et aucun ordinateur commercialisé en 1960 ne peut traiter d'EDP à quatre variables indépendantes. Il ne reste guère que la méthode de séparation des variables... même des problèmes simples introduisent des « fonctions spéciales » (sphériques, de Bessel, etc.) peu connues en France. Les méthodes numériques sont souvent les seules possibles, mais elles sont imprécises et fastidieuses. Encore difficiles à traiter sur ordinateur, ces équations sont couramment résolues par les calculateurs analogiques, mais avec une précision limitée.

Faire sauter ce verrou permettrait d'étendre le champ d'aptitudes des ordinateurs, et de s'attaquer à des problèmes jusque-là peu abordables,

24 J. Legras, *Techniques de résolution des équations aux dérivées partielles. Équation de la chaleur, équation de Laplace, équation des ondes*, op. cit., p. XI. Un colloque sur *Les Équations aux dérivées partielles* se tient précisément en 1956 à Nancy avec ces chercheurs et divers représentants de l'école américaine. Simultanément, le CEMA publie un fascicule sur le même sujet, mais d'orientation appliquée, dirigé par Fréchet. Le livre de Legras est sans doute l'un des premiers en France à décrire la méthode des éléments finis.

notamment d'étudier des phénomènes non linéaires²⁵. En combinant les rapides progrès technologiques des ordinateurs et le perfectionnement de la méthode numérique, on rendra celle-ci de plus en plus praticable – la mise au point de la méthode des éléments finis, par exemple, est une avancée décisive²⁶. Ceux qui comprennent cette interaction s'ouvrent les voies de l'avenir. Bref les EDP sont un outil essentiel pour résoudre, traiter ou modéliser de nombreux problèmes techniques civils ou militaires, mais un outil qu'on ne saura bien employer à pleine puissance, notamment sur les nouvelles machines électroniques, qu'au prix de recherches approfondies. C'est un sujet d'études mobilisateur pour les mathématiques appliquées, et répondant aussi à la demande des autres sciences. Voilà donc un problème crucial qui détermine un *agenda* scientifique pour les années à venir.

Parallèlement, une source de renouvellement des mathématiques appliquées apparaît avec la « théorie des distributions » de Laurent Schwartz. La théorie des distributions, qui vaudra à Schwartz la médaille Fields, est un paradigme unifiant le calcul différentiel et le calcul intégral : elle transforme les calculs formels des physiciens en une véritable théorie mathématique. Proche de Bourbaki et unanimement considéré dans le milieu mathématicien, Schwartz ne se mêle pas d'informatique, mais son enseignement exerce une profonde influence sur des étudiants ou des chercheurs qui se consacrent ensuite à l'analyse numérique et à la programmation. C'est le cas par exemple de Jacques Arsac (qui publie en 1961 *Transformée de Fourier et Théorie des*

- 25 En 1951, les ingénieurs et les clients militaires d'IBM Corp. avaient considéré l'aptitude à résoudre numériquement les équations aux dérivées partielles comme un test crucial pour le « Defense Calculator » alors en développement (C. Bashe, *et al. IBM's Early Computers, op. cit.*, p. 144-158). Le prototype parvint, en 1952, à traiter un programme de résolution de l'équation de Laplace ; l'application envisagée était la répartition de la chaleur dans un réacteur nucléaire. À l'époque, la France n'avait ni la possibilité de concevoir une machine aussi puissante, ni le besoin de l'utiliser pour un programme nucléaire à l'échelle industrielle, qui n'existait pas encore. La « solution d'équations aux dérivées partielles » est également citée parmi les applications importantes de l'ordinateur dans les revendications du brevet de l'Univac 1103.
- 26 Un article écrit en 1928 par Courant, Friedrichs et Lewy proposait d'utiliser une méthode d'approximation numérique, la méthode des différences finies, pour construire une démonstration d'*existence* des solutions des équations aux dérivées partielles. Un appendice à l'article énonçait des conditions restrictives fortes qui devaient s'avérer d'une importance décisive pour le développement des méthodes de calcul numérique pendant la guerre. Les trois mathématiciens ont mis en évidence un phénomène totalement nouveau, la « stabilité numérique », et montré que lorsqu'on remplace un certain type d'équations aux dérivées partielles par un ensemble d'approximations numériques, même arbitrairement proches de l'équation donnée, les solutions qui en résultent peuvent n'avoir rien à voir avec la « vraie » solution du problème initial. L'article aura une influence profonde sur l'analyse numérique. Rétrospectivement, ce travail de 1928 apparaît très en avance sur son époque, car seule l'utilisation des calculateurs électroniques permettra d'en tirer vraiment profit (A. Dahan Dalmedico, « L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis : l'impact de la seconde guerre mondiale », art. cit.).

*distributions*²⁷) ou de François Sallé, émerveillé par le cours de Schwartz en année de licence, et qui jouera ensuite un rôle central dans l'émergence d'une direction « Software de base » chez Bull et à la CII. C'est l'un des deux premiers élèves de Schwartz, B. Malgrange (l'autre étant J.-L. Lions), qui organise à Paris en juin 1962 un colloque sur les équations aux dérivées partielles, faisant le point sur l'état de l'art, indiquant les nouvelles orientations et manifestant la vitalité de l'école française dans ce domaine.

d. Un nouveau sujet éditorial

D'autres ouvrages sur l'analyse numérique sortent en librairie, à mesure que les besoins s'accroissent dans l'enseignement et la recherche appliquée. Les pionniers universitaires en sont les premiers auteurs²⁸.

400

Le livre de Kuntzmann signale que, s'il y a « en France, en ce moment, pénurie à peu près complète d'ouvrages sur le calcul numérique [...] il suffit d'utiliser ceux publiés en Anglais »²⁹. Plutôt que de faire un livre généraliste, le mathématicien Grenoblois se positionne sur un « centre d'intérêt actuel », l'interpolation : sujet limité et assez classique, mais encore vaste et dont certains points « méritent de nouvelles études, car ils conditionnent le progrès d'une théorie telle que celle des équations aux dérivées partielles ». Il ne fait aucune allusion aux machines et à la pratique du calcul.

Le livre de Durand est « résolument pratique et utilitaire », comme celui de Legras, mais sans polémique. Il a d'ailleurs été précédé d'un traité monumental sur l'Électrostatique (Masson, 1953), où Durand présentait d'une façon encore classique les méthodes de résolution d'équations aux dérivées partielles. L'exposé de chaque méthode est complété par une série « d'exemples nombreux et variés », tirés de la pratique du calcul sur IBM 650 ou sur machines à clavier. À côté des deux branches fondamentales que sont les mathématiques pures et appliquées, il distingue l'apparition d'un nouvel aspect

27 « Laurent Schwartz m'a personnellement fortement influencé. Dans nos mathématiques approximatives, nous utilisons la fonction de Dirac, qui vaut 0 partout sauf à l'origine où elle est infinie, et dont l'intégrale vaut 1. Un jeune normalien de l'époque me signala que c'était dangereux et que je devrais regarder du côté des distributions. Le livre de Schwartz était pour moi illisible, mais son polycopié en Sorbonne fut très fructueux. C'est de là que tout est parti. J'ai écrit mon livre [...], puis je me suis lancé dans l'approximation des opérateurs linéaires, ce qui m'a valu d'être invité comme conférencier au colloque de l'IFIP à New York en 1965 » (correspondance avec J. Arsac, 14 décembre 2008).

28 J. Legras, *Techniques de résolution des équations aux dérivées partielles*, op. cit., J. Peltier, *Résolution numériques des équations algébriques*, Paris, Gauthier-Villars, 1957. J. Kuntzmann, *Méthodes numériques. Interpolation. Dérivées*, Paris, Dunod, 1958. É. Durand, *Solutions numériques des équations algébriques*, Paris, Masson, 1960, t. 1.

29 L'absence d'ouvrages français sur le calcul numérique a déjà été déplorée 6 ans plus tôt par Mineur dans le livre de 600 pages qu'il a consacré à ce sujet, alors qu'une production régulière de manuels sortait du CEMA et des éditions Dunod et Masson.

des mathématiques : le calcul numérique qui « a pris une importance nouvelle avec le développement des calculateurs automatiques ». Cette distinction entre le calcul et les mathématiques appliquées prendra plus tard une place centrale dans l'argumentation des Toulousains en faveur de l'autonomie de l'informatique.

À ces traités de calcul scientifique s'ajoutent les premiers livres sur les machines à calculer, leurs structures, leurs caractéristiques et leurs utilisations, écrits par des Français compétents sur la question et destinés au petit milieu professionnel qui se constitue³⁰. Sur les 11 ouvrages cités ici, 4 sont dus à des ingénieurs militaires (Naslin, Sestier, Pélegrin, Boucher), 3 à des ingénieurs travaillant dans l'industrie, 4 à des universitaires (en comptant celui de Legras) qui traitent d'analyse numérique, rarement de calculateurs. Quel que soit le statut professionnel des auteurs, tous ces livres sont la synthèse de leurs cours dans l'enseignement supérieur. Trois éditeurs créent des collections spécialisées : Gauthier-Villars, Masson et Dunod – lequel publie par ailleurs la revue *Automatisme*³¹.

- 30 F.-H. Raymond, « Les calculatrices numériques automatiques », *Mémorial de l'Artillerie française* (1955, n° 3, 1955, n° 4), et *L'Automatique des informations*, Paris, Masson, 1957.
 P. Naslin, *Principes des calculatrices numériques automatiques*, Paris, Dunod, 1958.
 A. Sestier, *Les Calculateurs numériques automatiques et leurs applications*, Paris, Dunod, 1958.
 M. Pélegrin, *Machines à calculer électroniques arithmétiques et analogiques*, Paris, Dunod, 1959.
 P. Demarne et M. Rouquerol, *Les Ordinateurs*, Paris, PUF, 1959.
 H. Boucher, *Organisation et fonctionnement des machines arithmétiques*, Paris, Masson, 1960.
 A. Korganoff, L. Bosset. J.-L. Grosboillot et J. Johnson, *Méthodes de calcul numérique*, Paris, Dunod, 1960, 375 p., préface de R. Fortet. Publié par un groupe d'ingénieurs de Bull, ce traité commence par présenter une bibliographie internationale sur les méthodes du calcul numérique, les principales revues et les sociétés savantes actives en ce domaine ; et explique le fonctionnement d'un ordinateur du point de vue de l'utilisateur.
 On peut y ajouter les ouvrages sur les calculateurs analogiques, notamment F.-H. Raymond, « Calcul analogique : principes et contribution à une théorie générale », *Revue d'optique*, 1955, M. Danloux-Dumesnils (professeur suppléant de M. Pélegrin à Supaéro), *Le Calcul analogique par courants continus*, Paris, Dunod, 1958) et Rajko Tomovic (pionnier hongaro-yougoslave de l'automatique), *Calculateurs analogiques répétitifs*, Paris, Masson, 1958, ouvrage assorti d'une bibliographie considérable.
 M. Pélegrin cite aussi Jean-Claude Radix, *Principes des calculateurs électroniques*, édité par le Centre d'instruction technique de détection électromagnétique (vraisemblablement destiné à instruire des opérateurs sur des appareils OTAN) ; l'auteur (ENSTélécom 1953) deviendra un spécialiste du traitement du signal et des accéléromètres.
- 31 Notons qu'aucun de ces universitaires ne publie dans la collection dirigée par L. Couffignal chez Gauthier-Villars. Après sa mort, cet éditeur confiera une nouvelle collection d'informatique à A. Lentin. Dunod est sans doute celui qui publie le plus de livres en ce domaine, à partir d'un fond préexistant en mathématiques appliquées ; J. Arsac y crée au milieu des années 1960 une collection « Monographies d'informatique », qui publie notamment les actes de congrès AFIRO/AF CET, tandis qu'André Brunet, professeur au CNAM et à Sciences-Po., dirige une collection « Économie de l'entreprise » vouée aux sciences de gestion. Masson accueille plutôt, au début, des ouvrages et des actes de colloques sur le calcul analogique, la théorie de l'information (Brillouin) et l'automatique.

Les actes de congrès donnent une vision plus variée du domaine en train de se définir. S'il n'y en a aucun en France de 1951 à 1954, les colloques reprennent dès l'installation des premiers ordinateurs : *Journées alpines de calcul numérique* (mai 1955, Grenoble, co-organisé par Neyrpic et l'IMAG³²) ; *Congrès international d'automatique* (juin 1956, CNAM, F.-H. Raymond) ; *Le Calcul des probabilités et ses applications* (juillet 1958 à l'IHP avec le soutien du CNRS, G. Darmois) ; 2^e Journées internationales de calcul analogique (1958, Strasbourg) ; *La Décision* (mai 1959, CASDN). À partir de 1960, les congrès annuels de l'AFCALTI et des organisations internationales prennent le relais en ce qui concerne le calcul et l'informatique proprement dits.

402

Dans l'enseignement supérieur commencent à se multiplier les polycopiés de cours d'analyse numérique et de programmation, où chaque professeur met son enseignement par écrit. Si l'on ajoute les revues *Chiffres et Automatismes* et les traductions en Français des bons ouvrages étrangers³³, ainsi que les brevets déposés en France, on trouve dans l'Hexagone, dès 1960, un solide corpus d'initiation aux technologies de l'information.

L'auteur le plus prolifique est alors F.-H. Raymond qui, dès 1957, définit explicitement un nouveau champ de recherches, *L'Automatique des informations* :

Notre sujet concerne un sujet bien plus vaste que celui des machines à calculer : il deviendra, sans doute, la science d'une famille générale de machines dans lesquelles l'*information* est la matière d'œuvre, l'énergie y étant nécessaire, certes, mais accessoire et d'ailleurs totalement transformée en chaleur. Ce fait conduit à une nouvelle conception du rendement et rapproche un concept lentement dégagé au cours du temps, celui d'énergie, de travail, d'un concept quantitatif plus récent, celui d'information³⁴.

Un an après la défense et illustration de l'analyse numérique par Legras, l'ingénieur savant qui a construit les premiers ordinateurs français présente donc un véritable manifeste pour une recomposition des sciences appliquées autour de la notion d'information.

Notons que ses écrits ne révèlent aucun conflit entre l'analogique et le numérique. Raymond s'intéresse aux deux techniques, qu'il juge complémentaires, et son

32 CR des Journées alpines de calcul numérique, *La Houille blanche*, n°A-1955, p. 345.

33 M. Wilkes, *Calculatrices numériques automatiques*, Paris, Dunod, 1959. R. K. Richards, *Calculateurs numériques (Éléments et Circuits)*, Paris, Dunod, 1959. Ces deux livres sont traduits par des ingénieurs ESPCI, J. Ernest et H. Soubiès-Camy.

34 F.-H. Raymond, *L'Automatique des informations* [1957], Paris, Masson, 1982, p. XI. À la fin des années cinquante, F.-H. Raymond fait une véritable tournée de conférences dans toutes les universités françaises où l'on s'intéresse peu ou prou au calcul (Clermont, Marseille, Caen, etc.), un peu sans doute pour vendre sa CAB 500, mais surtout pour convaincre ses auditeurs du potentiel scientifique de ce nouveau domaine.

entreprise est investie simultanément dans les deux types de calculateurs. Si conflit il y a, il est limité à une firme comme la CSF, où les analogiciens ont effectivement étouffé le digital jusqu'en 1960, et à quelques cercles d'ingénieurs qui comparent simplement les mérites de ces appareils³⁵. Quels que soient les arguments opposés, le numérique s'impose dès lors que l'énorme marché « gestion », qui n'a rien à faire de l'analogique, acquiert des ordinateurs et leur fournit une dynamique de développement irrésistible. On ne fait pas de la comptabilité ou de la recherche opérationnelle avec des servomécanismes.

En conclusion de son livre, Raymond indique ce qui sépare le domaine qu'il vient de décrire et la cybernétique. D'une part, la question de savoir si les automates sont aptes à « penser », qui passionne les cybernéticiens, reste oiseuse tant qu'on ne s'est pas mis d'accord sur la définition de ce verbe. D'autre part, dans les ordinateurs l'essentiel des traitements, notamment les plus « intellectuels », est accompli grâce à la programmation. Or celle-ci est produite par l'intelligence humaine, non par la machine. C'est donc la programmation qu'il faut étudier si l'on veut progresser³⁶. Là aussi ce sont les ordinateurs numériques qui posent les problèmes les plus intéressants.

Dans la même optique, le livre de H. Boucher vise à donner une information technique solide aux lecteurs français, trop souvent perdus entre les « idées fausses du type “machine pensante” ou “cerveaux électroniques géants” » et « la propagande des constructeurs »³⁷.

Côté grand public, des intermédiaires culturels exploitent ce nouveau filon. Le plus connu est Albert Ducrocq³⁸, qui a déjà publié en 1952 *Appareils et cerveaux électroniques*, et fait l'article avec un égal enthousiasme sur les

35 Voir par exemple J. Carteron, « Calcul analogique ou calcul numérique ? Conflit ou harmonie ? », *Chiffres*, vol. II, n°4, 1959, p. 239-248. C'est une synthèse de la session que Carteron a organisée au congrès IFIP, d'après sa propre expérience à la direction des études et recherches d'EDF. Conclusion : il n'y a pas de forte concurrence entre analogique et numérique, chacun a son domaine d'utilisation optimale. Les ordinateurs numériques sont plus flexibles du point de vue des types de programmes et de la taille des problèmes (nombre de paramètres...), alors que les analyseurs différentiels doivent être conçus en fonction des dimensions d'un problème particulier.

36 F.-H. Raymond, *L'Automatique des informations*, *op. cit.*, p. 183-184. Cette réserve face à la question des “machines pensantes” est comparable à celle exprimée par Wilkes dans son livre *Automatic Digital Computers*, *op. cit.* (1955), que Raymond a lu. Raymond est un attentif lecteur de Wiener et partage dès le début des années 1950 sa réaction vis-à-vis d'une Cybernétique « qui est devenue un mot bien pratique à mettre dans le titre d'un projet pour obtenir des crédits » (entretien avec F.-H. Raymond et article cité dans *Ingénieurs et Techniciens*, 1954).

37 H. Boucher, *Organisation et fonctionnement des machines arithmétiques*, Paris, Masson, 1960. Ce livre contient plusieurs tableaux donnent une description de tous les ordinateurs de série existant à l'époque, ainsi que des premières machines temps réel connues, ce qui en fait une source exceptionnelle. Boucher animera au cours des années 1960 un séminaire à l'AFCALI-AFCET sur les architectures de machines et de systèmes.

38 A. Ducrocq, *Découverte de la cybernétique*, Paris, Julliard, 1955.

calculateurs en cours de développement, sur leurs applications réelles, sur les usages hyper futuristes et sur les plus improbables rossignols (machine de Couffignal ou machine à lire de McCulloch) : technologies qui, bien entendu, « ne remplaceront pas l'homme » mais « le libèreront ».

La presse et la télévision embrayent simultanément : désormais, le journal télévisé de la RTF offre, environ une fois par an, un reportage sur les « calculateurs électroniques » – ainsi, l'inauguration du Gamma Extension Tambour de la faculté de Grenoble en 1957, le KL 901 de la Météorologie nationale en 1960, le centre de calcul CSF-Analac en 1961, etc. Les émissions spécialisées, notamment scientifiques, abordent bien sûr ce sujet plus fréquemment³⁹. Le mathématicien oulipiste François Le Lionnais anime, à la fin des années 1950, une émission de radio sur la RTF-France III ; il y invite par exemple Claude Berge et Schützenberger à parler « Des divertissements et des jeux, aux confits de la guerre et de la diplomatie », Raymond et Schützenberger de « La notion d'information en cybernétique »⁴⁰.

404

Cette dynamique s'appuie sur un tissu institutionnel encore léger, si l'on excepte les constructeurs de matériels, mais qui s'étouffe depuis le milieu des années cinquante : laboratoires, centres voués à promouvoir « l'automatisme », manifestations scientifiques ou commerciales, périodiques spécialisés, associations dont la principale, de notre point de vue, est l'Association française de calcul.

e. Sociétés savantes et clubs d'utilisateurs

Au milieu des années cinquante, une vague de créations associatives manifeste l'émergence de préoccupations intellectuelles et professionnelles dans des domaines d'avenir, et le besoin de les promouvoir en commun par-delà les cloisonnements institutionnels⁴¹. Elles affirment en même temps un regain de vitalité des mathématiques appliquées. C'est peut-être dans ces associations que l'on met en pratique le meilleur de l'esprit cybernéticien : une volonté de corriger les excès du réductionnisme scientifique et de la spécialisation en regagnant une vision globale des problèmes, notamment grâce à l'universalité des mathématiques.

La Société française de recherche opérationnelle (SoFRO) a été créée début 1956 à partir du séminaire de recherche opérationnelle de G.-T. Guilbaud à l'Institut Henri Poincaré. Ce statisticien est l'auteur d'un bon livre sur la

³⁹ Archives Institut national de l'audiovisuel, Fonds de l'ORTF.

⁴⁰ Émissions de ½ h diffusées respectivement les 6 mars 1958 et 14 mai 1959.

⁴¹ L'histoire de ces associations et de l'AFCEP a été bien exposée dans le *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, *op. cit.* par A. Brygoo, C. Hoffsaës et F. Paoletti. Malheureusement, les archives de ces associations ont disparu. Il en reste des bribes, dispersées entre les archives des universités et des autres membres qui les ont éventuellement conservées. La principale source reste donc leurs périodiques et les actes de leurs congrès.

cybernétique, définie comme un exercice de fertilisation croisée de disciplines en écartant « la ménagerie électronique et la mythologie des machines ». Le but est de promouvoir la RO dans les milieux scientifiques, industriels et administratifs, où elle est vite l'objet d'un véritable engouement. RO et cybernétique ont essentiellement la même justification : optimiser l'efficacité de l'action en appliquant les mathématiques à la décision, à l'organisation et aux systèmes. Des mathématiques probabilistes, intégrant notamment la théorie des jeux, donc profondément différentes des modèles déterministes qui inspiraient le management classique. D'une cinquantaine de membres à l'origine, la SoFRO passe en 1961 à 700 adhérents représentant 150 entreprises⁴². Soutenue par le Centre national de l'automatisme et le Fonds national de la production, elle se développe en relation avec des organismes qui font de la RO leur cœur de métier : le service scientifique de l'Armée de l'air, qui comprend dès 1947 un bureau de recherche opérationnelle ; plus tard le Centre interarmées de recherche opérationnelle ; des firmes comme la SEMA, le CFRO ou AERO, ces deux dernières travaillant en relation avec le *SHAPE Air Defense Technical Center* de l'OTAN. Des spécialistes de plus en plus nombreux, généralement statisticiens par formation, œuvrent dans diverses grandes entreprises et dans les centres de calcul des constructeurs d'ordinateurs. Ils diffusent la recherche opérationnelle dans l'enseignement supérieur, notamment dans le cadre des cursus d'informatique.

L'Association française de régulation et d'automatique (AFRA) a été fondée en juin 1956 par les organisateurs du premier Congrès international de l'automatique, au CNAM autour d'A. Métral, P. Naslin, F.-H. Raymond, et d'autres pionniers de l'automatisation associés aux militants de la productivité. C'est alors que *automatique* est apparu comme nom commun pour désigner une discipline, certainement dans le but de la séparer nettement de la *cybernétique*. Liée à la Société des ingénieurs civils (centraliens), notamment par son premier président, Marcel Véron, professeur au CNAM et spécialiste des centrales thermiques, elle s'appuie elle aussi sur des organisations professionnelles : Syndicat national de l'automatisation, Centre national de l'automatisation, et sur les praticiens et les chercheurs travaillant dans l'industrie et l'armement, plus que sur le milieu universitaire. Les dispositifs analogiques règnent encore sur ce domaine, mais les progrès des calculateurs numériques promettent un renouvellement des possibilités d'applications, pourvu que l'on arrive à maîtriser les techniques et

42 Note sur la SoFRO, dossier COMIRO, Arch. nat. 85/195/77. Le conseil de la SoFRO est formé initialement de : P. Bize, M. Boiteux, G. Darmois, Dessus, Dugas, G-Th. Guilbaud, Cl. Gruson, R. Henon, G. Kreweras, M. Lartisien, P. Massé, E. Morice, M. Pottier, B. Roy, J. Ullmo, E. Ventura. Les articles sont publiés dans la *Revue de statistique appliquée*, puis dans le *Bulletin du Séminaire de recherche opérationnelle* de l'ISUP, devenu *Cahiers du Bureau universitaire de RO*.

les concepts du « temps réel ». Sur le plan académique, enseignements et équipes de recherches sont apparus depuis le début des années cinquante, souvent dans les mêmes pôles que les pionniers du calcul électronique. La revue *Automatisme*, lancée début 1956, est le premier périodique français qui publie régulièrement des articles de fond sur les ordinateurs et leurs emplois⁴³.

406

L'Association française de calcul (AFCAL) est fondée en mai 1957 à partir d'un séminaire de mathématiques appliquées parisiennes, par la volonté de divers universitaires et directeurs de centres de calcul. Peut-être la création de la British Computer Society par M. Wilkes, quelques mois plus tôt, l'a-t-elle stimulée ? L'AFCAL est centrée sur l'analyse numérique, avec une composante croissante de méthodes de programmation pour le calcul scientifique. Cette focalisation initiale est explicite dans son nom comme dans le titre de sa revue trimestrielle, *Chiffres*, créée en mars 1958. Financée par une petite subvention annuelle du CNRS et hébergée par l'Institut d'astrophysique, elle est soutenue avec une grande ouverture d'esprit par l'astronome A. Danjon.

Le rôle de cet institut ne s'explique pas seulement par l'importance du calcul dans les sciences de l'univers. Il est sans doute lié au fait que l'astrophysique a dû, elle aussi, s'imposer comme discipline autonome face au conservatisme de l'astronomie traditionnelle. Celle-ci était, en France, entièrement mathématicienne et avait des raisons de considérer l'astrophysique comme une science incertaine, manquant de rigueur : « À l'extrême, l'astrophysique ne pouvait être considérée comme une science »⁴⁴.

La liste des membres de l'AFCAL (200 dès sa création, quelque 500 en 1963) et de leurs institutions d'appartenance offre une photographie assez complète des mathématiques appliquées françaises⁴⁵ : établissements de recherche et d'enseignement supérieur, laboratoires de grandes sociétés publiques ou privées (EDF notamment), constructeurs de calculatrices et premières sociétés de service informatique⁴⁶. Ces divers spécialistes éprouvent le besoin de mettre

43 Le comité de rédaction d'*Automatisme* est formé de : M. Lachin (rédacteur en chef), V. Broïda, L. Chevillotte, F. Esclangon, J. Løeb, P. Naslin, P. Nicolau, A. Pommier, V. Pomper, F.-H. Raymond, R. Robert, P. Schnerb, M. Surdin, U. Zeltstein.

44 Entretien d'Evry Schatzman avec J.-F. Picard, le 24 février 1987. La différence avec l'informatique est sans doute que l'astrophysique, dès son origine, « sait » sans doute plus précisément ce qu'elle cherche.

45 Annexe/*Annuaire 1963 de l'AFCALTI*. L'association a une petite dimension internationale, ayant quelques membres suisses (Blanc, Banderet, etc.), italiens (notamment d'Olivetti-Bull) et belges (Burniat). Environ 10 % des membres de l'AFCAL au début des années 1960 travaillent à l'étranger. L'audience de l'AFCAL et de ses successeurs est toutefois limitée aux pays francophones ou aux lecteurs comprenant le français, ses publications ne comportant pas de résumés en anglais.

46 Les débuts de l'AFCAL sont évoqués par J. Carteron, « Naissance du calcul électronique en France (1950-1958) », dans *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, *op. cit.*, p. 111.

en commun leurs expériences et de promouvoir leurs méthodes, fonction principale de l'association et de sa revue.

Les clubs d'utilisateurs

À une plus petite échelle et de manière plus spécialisée, les clubs d'utilisateurs d'ordinateurs IBM, SEA ou Bull remplissent la même fonction et mettent en relations des spécialistes de domaines très différents, mais qui ont en commun le besoin d'exploiter au mieux ces machines et d'améliorer l'efficacité des centres de calcul. Les constructeurs vendant essentiellement du *hardware*, les acquéreurs doivent développer eux-mêmes la plupart de leurs programmes, y compris des fonctions élémentaires (utilitaires, etc.), ce qui coûte de plus en plus cher en proportion de l'investissement informatique total. Les clubs sont des organisations coopératives visant à réduire la duplication de ces efforts. Ils peuvent aussi élaborer des normes techniques ou chercher des solutions aux problèmes plus généraux posés par le coût de la main d'œuvre et la rareté des programmeurs qualifiés. Le premier club est fondé par les clients d'IBM 650 :

Nous nous réunissions deux fois par an. [...] Chacun vantait les mérites de "son" langage. Nous échangeons des astuces pour l'emploi des machines. Nous discutons de la gestion du centre de calcul et de la meilleure façon d'utiliser l'ordinateur. IBM nous annonçait ses nouveaux produits... En 1963, attendant la livraison à Meudon d'un IBM 7040, je participai aux réunions de la branche française du groupe SHARE [utilisateurs des gros calculateurs IBM série 700 et 7000]. Les activités en étaient sensiblement les mêmes⁴⁷.

Les constructeurs assurent la tâche essentielle d'éditer les documents résultant de ces réunions. Les membres des clubs se communiquent les logiciels d'intérêt général qu'ils ont élaborés, recueillent les critiques et améliorent leurs programmes en conséquence. « Une machine est d'autant mieux utilisable qu'elle a plus d'utilisateurs et que ceux-ci entretiennent des contacts plus suivis »⁴⁸.

47 J. Arsac, « Des ordinateurs à l'informatique », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 1, p. 34. Le club d'utilisateurs d'IBM 650 rassemble notamment Evelyne Andreevsky (faculté des sciences de Paris), J. Arsac (Observatoire de Meudon), Fr. Genuys (IBM), M. Laudet (Toulouse), J. Legras (Nancy), L. Nolin (IBP), A. Sestier (LCA), etc. (voir liste des IBM 650 installés en France, annexe du volume suivant). Sur SHARE, voir notamment A. Aker, « Voluntarism and the Fruits of Collaboration: The IBM User Group, Share », *Technology and Culture*, octobre 2001, vol. 42, n° 4, p. 710-736.

48 Rapport de L. Nolin à R. de Possel. *Sur les inconvénients du système actuel d'attribution de subventions pour missions*, 3 juillet 1960, p. 1 (Arch. IBP). Nolin s'efforce de montrer que le CNRS gagnerait beaucoup sur le coût du calcul en dépensant un peu pour envoyer ses agents à ces réunions. Il obtient gain de cause et participe, avec quatre autres membres de l'IBP, à la 25^e réunion du Groupe des utilisateurs de Gamma tambour à Amsterdam en 1961.

Les « utilisateurs » sont d'ailleurs nettement plus nombreux que les « possesseurs », car chaque ordinateur sert à plusieurs équipes ou organismes : ainsi, l'IBM 650 de l'Observatoire de Meudon est utilisé par le Bureau des longitudes, le Groupe de recherches ionosphériques et d'autres spécialistes des sciences de l'univers. Il fonctionne 24 h/24 en libre service. Vite saturé, il est remplacé par un gros IBM 7040 pour lequel on envisage, en 1964, une connexion par télétype à divers observatoires de Province⁴⁹.

Les clubs d'utilisateurs ont anticipé de 30 ans sur le modèle économique du logiciel libre... Ils constituent un cas parfait de formule « gagnant-gagnant » : plus nombreux sont les logiciels disponibles pour une machine, plus elle est commercialement convaincante ; en même temps, les clubs d'utilisateurs permettent de réduire l'asymétrie d'information entre les grands constructeurs et leurs multiples clients, et augmentent la capacité de négociation de ceux-ci.

408

En 1960, l'AFCAL est l'enjeu d'un débat opposant ses membres les plus axés sur le calcul scientifique, comme Kuntzmann, aux partisans d'un élargissement à l'emploi des ordinateurs en gestion. Les seconds, menés par Carteron, Dreyfus et Boucher, parviennent à faire ajouter au titre les initiales « TI » (traitement de l'information)⁵⁰ : l'« AFCALTI » affirme l'unité d'un domaine pour lequel, lors de l'assemblée générale de 1962, Philippe Dreyfus et Robert Lattès définissent un mot nouveau : *Informatique*⁵¹. Au fond, la controverse oppose ceux qui pensent essentiellement en termes de « mathématiques appliquées » et ceux pour qui il s'agit de reconnaître la place centrale prise désormais par les ordinateurs dans différentes activités. Branche ou application des *mathématiques* ? Ou bien technique, voire science des *ordinateurs* – ou de *l'information* ? La définition donnée en 1962 est « technique du traitement logique et automatique de l'information, support des connaissances et des communications humaines ». Mais chacun peut en proposer des variantes, et le mot *science* sera ajouté en 1966 dans la définition par l'Académie française. Ce débat va continuer pendant

49 CNRS, *Rapport de conjoncture 1963-1964*, s. 3, tome 1, p. 141.

50 Selon Louis Bolliet, lui-même et Kuntzmann s'élevaient surtout, ici comme ailleurs, « contre la manie française de changements d'appellations et de sigles qui brouille l'image » (courriel de L. Bolliet, 27 février 2008), rappelant que l'informatique américaine ne se porte pas plus mal d'avoir conservé le nom archaïque de son *Association for Computing Machinery*, tandis que les AFCAL, AFCALTI, AFIRO, AFCET, deviennent vite aussi illisibles pour le commun des mortels que les sigles successifs des modes d'action du CNRS ou des administrations militaires.

51 Ph. Dreyfus, « L'Informatique », *RFTI*, 1963, n° 1, p. XII-XIV (réédition de l'article paru dans *Gestion*, juin 1962). Ph. Dreyfus explique l'invention de *Informatique* par le simple besoin qu'il éprouvait à nommer son métier. Occupant une position hybride de promoteur du calcul scientifique chez un constructeur mécanographique, il cherchait un terme qui englobât les activités couvertes par les nouvelles machines. Le terme *Traitement de l'information* serait dû au physicien Pierre Auger – simple traduction de *Information processing*.

plusieurs décennies, traçant l'une des lignes de clivage du milieu universitaire et déterminant son organisation institutionnelle.

L'IFIP et son agenda scientifique

Entre temps, l'Association a contribué à fonder l'internationale des informaticiens. La première conférence mondiale des sociétés savantes d'*Information Processing* s'est tenue en juin 1959 à Paris dans les locaux de l'UNESCO, réunissant 1 800 congressistes venus de 38 pays⁵². C'est, depuis le colloque CNRS de 1951, le premier congrès parisien voué essentiellement au traitement de l'information. La plupart des spécialistes français de l'époque évoquent cette manifestation comme un jalon important de leur évolution vers la recherche en informatique. Beaucoup y ont eu pour la première fois l'occasion d'entendre de nombreux chercheurs étrangers, notamment américains, et de découvrir l'état de l'art en matière de programmation et d'applications non numériques des ordinateurs : à côté de l'architecture d'ordinateurs ou des méthodes de calcul et de codage, des sessions sont consacrées à la traduction automatique, à la reconnaissance des formes, à l'apprentissage par la machine et à une prospective du domaine. Cette diffusion de l'information au profit des pays les moins avancés, comme ceux de l'Europe, est précisément le but poursuivi par les initiateurs, Isaac Auerbach et Pierre Auger⁵³.

La conférence s'accompagne de visites des usines et des centres de calcul Bull, IBM, SEA. Une exposition de matériels, dans le cadre d'un salon « Automath » au Grand Palais, montre les derniers ordinateurs anglais et américains voisinant avec le japonais NEAC 2201, l'un des tout premiers calculateurs commerciaux transistorisés, et avec le mini-ordinateur français CAB 500 : les machines de « 2^e génération » ont des aptitudes qui vont permettre d'élargir les applications au-delà du calcul – et des prix qui les rendent accessibles à toutes les universités,

52 Les premiers contacts ont été établis fin 1957 par I. L. Auerbach avec l'AFCAL. Dès juin 1958, un comité d'experts a tenu à Paris plusieurs réunions préparatoires. Sa composition offre une photographie partielle du petit monde informatique d'alors : S. N. Alexander (USA, NBS), I. L. Auerbach (USA), J. Carteron (France, EDF), J. Coales (UK), S. Comet (Suède), Ph. Dreyfus (France, Bull), E. Durand (Univ. Toulouse), A. Ghizzetti (Italie), M. Goto (Japon), A. S. Householder (USA), C. Manneback (Belgique), P. Namian (France, SEA et Univ. Grenoble), D. Panov (URSS), W. L. van der Poel (Pays-Bas), R. de Possel (France, CNRS), R. Rind (France, IBM), C. S. Scholten (Pays-Bas), K. Steinbuch (RFA), A. Walther (RFA, Univ. Darmstadt), A. van Wijngaarden (Pays-Bas, Univ. Amsterdam), M. V. Wilkes (Angleterre, Univ. Cambridge), H. Yamashita (Univ. Tokyo).

53 Les actes, *Traitement numérique de l'information : comptes rendus des travaux de la conférence internationale sur le traitement numérique de l'information* (Unesco, Paris 15-20 Juin 1959), sont publiés chez Dunod, 1960, 600 p., et à Londres, *Information processing : Proceedings of the International conference on information processing*, London, Butterworths, 1960, 520 p. On trouve le Journal du congrès à <<http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001537/153718fb.pdf>>.

même les plus modestes. Le salon « Automath » fournit aussi une structure d'accueil pour les exposés techniques décrivant ces matériels, permettant de les séparer nettement des sessions à contenu plus scientifique.

La conférence de 1959 donne naissance à l'International Federation for Information Processing (IFIP)⁵⁴, qui par la suite réunit tous les trois ans un congrès mondial dans une grande capitale : Munich en 1962, New York en 1965 (4 500 participants), etc. L'IFIP se voue à organiser la coopération internationale entre les associations membres. La simple existence de cette société savante mondiale et de ses congrès, comme il en existe en astronomie ou en géophysique, contribue à établir un statut scientifique du traitement de l'information. De plus, l'IFIP crée, au fil des années, des commissions spécialisées sur des thèmes jugés importants, établissant ainsi des directions de recherche : *Software theory and practice*, *Algorithmic languages and calculi*, *Formal description of programming concepts*, *Programming languages* (dont un groupe de travail Algol), *Programming methodology*. Les branches correspondantes des mathématiques appliquées trouvent une structure d'accueil à l'IFIP et dans les sociétés sœurs s'occupant d'automation ou de recherche opérationnelle, ce qui explique leur reflux dans les congrès internationaux de mathématiques.

410

L'informatique : contenus et frontières

Parallèlement fonctionne une Association internationale pour le calcul analogique, où l'on trouve une partie des mêmes personnes. Créée en 1955, cette AICA a son siège à Bruxelles⁵⁵. Elle publie ses *Annales* et tient congrès tous les deux ans. Le deuxième congrès de l'AICA se réunit en septembre 1958 à l'université de Strasbourg. Les actes contiennent 84 exposés principalement en Anglais et en Français, traitant des technologies et surtout des applications. La

54 I.L. Auerbach, « The Start of IFIP. Personal recollections ». *Annals of the History of Computing*, Apr. 1986, vol. 8, n° 2, p. 180-192. Les représentants français à l'IFIP sont J. Carteron (qui en sera secrétaire général et trésorier), R. de Possel, Ph. Dreyfus, E. Durand, J.-L. Lions, J. Mussard (adjoint de P. Auger à l'Unesco), P. Namian et R. Rind.

J. Carteron donne un aperçu des tensions linguistiques entre les anglophones, qui veulent imposer l'anglais comme langue unique, et les autres qui l'admettent comme langue commune (« Memories of Bygone Times », *36 Years of IFIP*, edited by H. Zemanek, IFIP, 1996, <www.ifip.or.at/36years/a21cart2.html>). Des témoins français assurent même que l'anglais n'est devenu langue unique obligatoire qu'au congrès de New York en 1965.

55 Le choix de Bruxelles est lié d'abord à la facilité de création d'une association de droit belge, et vraisemblablement aussi à deux universitaires de cette ville, Georges Boulanger et Robert Vichnevetsky. Boulanger devient une figure de la cybernétique. Vichnevetsky, plus jeune, fait parallèlement une carrière industrielle, puis s'installe à Princeton où il enseigne les mathématiques appliquées à la modélisation et à l'optimisation de systèmes. Il prendra ensuite les rênes de l'AICA pour la transformer en International Association for Mathematics and Computers in Simulation (IMACS).

grande nouveauté, en 1958, est la combinaison des techniques analogiques et numériques, qui fait l'objet d'une session spéciale⁵⁶. Les deux principaux domaines d'application sont le calcul scientifique, notamment en mécanique des fluides, et l'automatisation de process. Les machines numériques y gagnent progressivement du terrain, offrant une meilleure précision, mais obligeant à repenser complètement les méthodes de traitement et de simulation.

Il ne reste alors plus grand-chose de la Cybernétique. Ce grand brassage interdisciplinaire a permis des croisements imprévus et des recompositions scientifiques. Comme après tout *brainstorming*, dès le milieu des années 1950 les participants ont éprouvé le besoin de faire le tri des idées et de se concentrer sur leurs métiers de base, renouvelés. Ses réflexions et ses rapprochements concernant l'ingénierie des réseaux de télécommunications, des systèmes automatiques ou de l'économie sont reprises, pour l'essentiel, par les associations professionnelles qu'on vient d'évoquer⁵⁷. Informaticiens et automaticiens font une véritable réaction de rejet vis-à-vis du reliquat, des digressions sur les machines pensantes ou le cerveau-machine, d'autant plus que ces thèmes restent un sujet médiatique et y perdent encore en crédibilité. S'ils ont participé au premier Congrès international de cybernétique, organisé à Namur (Belgique) les 26-29 juin 1956⁵⁸, ils délaissent les congrès suivants, réunis tous les deux ans à Namur autour de G.-R. Boulanger et de L. Couffignal, tandis que les colloques sur le calcul ou l'automatisation ont déjà exclu les sujets cybernétiques.

Au congrès IFIP 1962 (Munich), de nouveaux sujets apparaissent : temps réel, transmission digitale de l'information, progrès dans les fondements logiques et techniques du traitement de l'information, enseignement universitaire du traitement de l'information. Un thème « domaines frontières du traitement de l'information » contient des exposés sur l'analyse et l'imitation de processus mentaux, qui ne seraient sans doute plus programmés dans un congrès français d'informaticiens ; toutefois l'emploi de cette périphrase au lieu du mot *cybernétique* confirme que celui-ci est rejeté par la communauté internationale des informaticiens.

56 CR des « Actes des deuxièmes Journées internationales de calcul analogique », *Automatisme*, décembre 1960, t. V, n° 12, p. 465.

57 M. Pélegrin, dans l'introduction de son livre en 1959, expose clairement cette façon de garder l'opérateur et de rejeter le spéculatif de la Cybernétique (*Machines à calculer*, op. cit., p. 2-5). Même démarche, dès le début des années 1950, dans le « Que-sais-je? » sur *La Cybernétique* de G.-Th. Guilbaud qui se concentre ensuite sur la recherche opérationnelle et abandonne ce titre à Couffignal.

58 1^{er} Congrès international de cybernétique, Paris, Gauthier-Villars, 1958.

Les sentiments mêlés des informaticiens envers la cybernétique sont nettement exprimés dans un texte rétrospectif de Dominique Perrin et Jacques Sakarovitch⁵⁹, évoquant l'invention du concept d'automates finis par le logicien S. Kleene, liée

au foisonnement d'idées nouvelles, et pas toutes raisonnables, que l'on regroupait à l'époque sous le nom de cybernétique. Si ce terme a maintenant acquis une connotation péjorative, cela est probablement dû à la faillite des ambitions exprimées par certains de ses promoteurs : l'explication générale d'à peu près tout. En particulier, un des objectifs s'est avéré impossible à atteindre : donner du fonctionnement du cerveau humain une description comparable à celle d'un ordinateur. Ce thème rejaillit pourtant de ses cendres régulièrement et seule la courtoisie nous empêche d'en dire plus. Paradoxalement, la théorie de Kleene elle-même est liée à ces fariboles [...].

412

En effet, l'article fondateur de Kleene, « Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automatas »⁶⁰, a été inspiré en 1951 par la lecture du fameux papier de McCulloch et Pitts proposant, en 1943, un modèle du cerveau fondé sur des objets appelés *réseaux neuroniques*. « Le talent de Kleene est d'avoir vu qu'il y avait là la matière d'un théorème de mathématiques et d'en avoir soupçonné les applications. » Or le concept d'automate fini, cas « particulier » de la machine de Turing, est le modèle universel de description abstraite des ordinateurs, donc une base essentielle de la recherche informatique.

La cybernétique apparaît ainsi comme une aventure intellectuelle où, au prix d'un haut risque de bavardage, sont advenus ces chocs d'idées d'où jaillit la lumière et qui n'auraient pu se produire dans des structures scientifiques cloisonnées et régulées. Elle balaye trop large pour devenir elle-même une discipline, mais elle a formé la matrice de nouveaux champs scientifiques.

59 D. Perrin et J. Sakarovitch, « Automates finis », *Journées scientifiques UAP*, Paris, UAP, 1988, p. 36. Le mot *cybernétique* n'apparaît jamais dans les thèses d'informatique et d'automatique soutenues de 1955 à 1975 ; on n'en trouve que deux occurrences, dans deux thèses d'informatique appliquée à la gestion ou à la médecine, en 1973 et 1975. La plus cybernétique des thèses de cette époque se garde bien d'employer le mot : A. Fournier, *Transformée de Hadamard, application de la théorie de l'information à l'étude de l'opérateur humain* (3^e cycle en Sciences appliquées, université Paris 6, 1972).

60 S. Kleene, « Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automatas », dans C. E. Shannon & J. McCarthy (dir.), *Automata Studies*, Princeton, Princeton University Press, 1956.

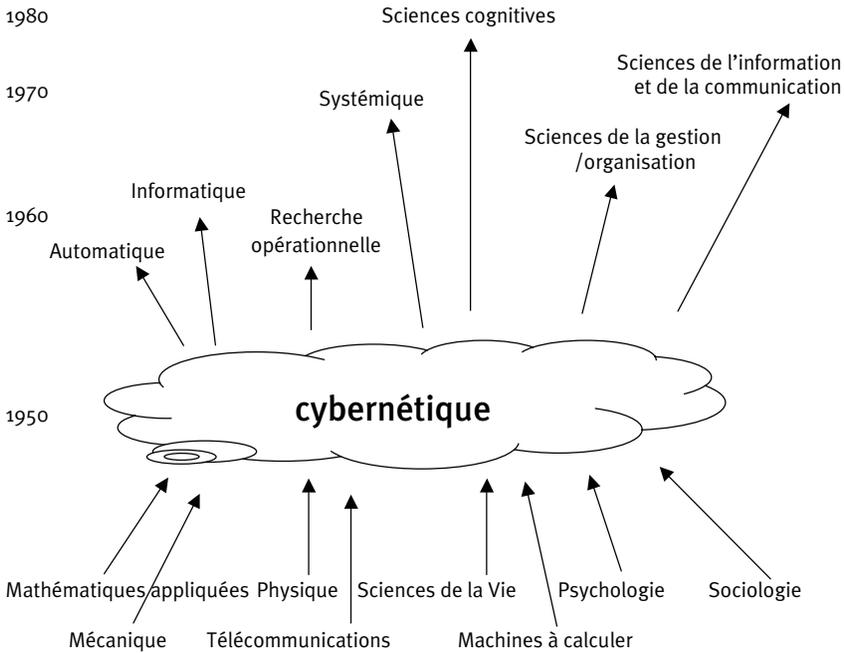


Figure 41. Cybernétique et recompositions scientifiques

À partir de 1960, l'AFCALTI organise son propre congrès annuel, chaque fois dans une ville différente, choisie parmi les pôles pionniers du calcul électronique. Ces grands rassemblements (3 ou 4 jours, 40 à 60 communications) donnent un bon aperçu de la population des informaticiens d'alors. Sont représentés les constructeurs d'ordinateurs (1/4 environ des orateurs), les utilisateurs (établissements publics notamment : EDF, ONERA, etc.) et les universitaires, qui se confondent parfois avec les précédents, ainsi qu'une poignée d'étrangers dont certains travaillent en France. Les actes – d'emblée de gros volumes de plus de 400 pages – constituent la source la plus régulière et la plus abondante sur le développement de la recherche informatique et l'évolution de ses thèmes. Ils permettent de diffuser les travaux et les conceptions de l'association au-delà de ses membres. La liste des sessions du premier congrès, tenu à Grenoble avec 250 participants⁶¹, reflète les centres d'intérêt de l'époque :

- Analyse numérique (3 sessions),
- Théorie des erreurs (qui relève aussi de l'analyse numérique),
- Programmation automatique et logique extérieure (3 sessions),
- Programmation
- Structure des machines,
- Traduction et documentation automatiques,

⁶¹ Un compte-rendu est publié dans la revue *Automatisme*, décembre 1960, t. V, n° 12, p. 505.

- Utilisation des calculateurs en gestion,
- Applications à la recherche opérationnelle,
- Applications industrielles,
- Problèmes généraux.

Quelle est la politique de l'Association concernant le statut scientifique du traitement de l'information ? À en juger par le contenu de la revue *Chiffres*, les préoccupations au début des années soixante sont dominées par les méthodes et les outils de calcul ou de programmation, ainsi que par l'organisation des centres de calcul. Les sujets de recherche abordés relèvent d'abord de l'analyse numérique, mais assez vite paraissent des articles sur l'intelligence artificielle et la traduction automatique. Les questions d'architecture et de technologie des ordinateurs se trouvent plutôt dans les revues d'électroniciens, *L'Onde électrique* et *Automatisme* – cette dernière se positionnant en revue généraliste de tous les professionnels de l'automatisme, « à l'usine » comme « au bureau ».

414

Mêmes orientations dans les congrès de l'association, qui donnent cependant plus de place aux applications (y compris en gestion) et à la technologie. Leurs programmes, notamment les exposés liminaires ou conférences invitées dont le choix est souvent révélateur des grandes orientations, montrent que l'analyse numérique et les techniques de programmation restent les principaux thèmes jusqu'au milieu des années 1960.

Le thème des « systèmes », encore peu visible au congrès de 1963 (seulement deux exposés dispersés, sur le superviseur du Ferranti Atlas 2 et le système C7 du Gamma 60), s'impose rapidement ensuite et ne cessera de prendre de l'importance. Il est mis en exergue au 4^e congrès (avril 1964, Versailles), avec un exposé du président sortant qui donne le ton : « L'informatique à l'ère des systèmes »⁶². En 1966 le sujet acquiert une importance stratégique justifiant une « Prospective des systèmes ».

Les mathématiques sont présentes non seulement à travers l'analyse numérique, mais aussi avec l'algèbre de Boole et l'analyse combinatoire qui concerne l'informatique non numérique, notamment la documentation automatique. L'idée générale qu'on retire de ces volumes est la richesse et la variété d'un vaste domaine d'activité qui mûrit et se donne des programmes de travail spécifiques : normalisation, identification d'axes prioritaires.

Les éditeurs des actes du 3^e congrès (Toulouse, 1963), profitant des facilités que donnent les brefs paragraphes d'une introduction, affirment que la programmation n'est plus seulement le moyen de communiquer avec la

62 J. Carteron, « L'informatique à l'ère des systèmes », exposé préliminaire au 4^e Congrès de l'AFIRO, avril 1964 (Versailles), Paris, Dunod & CNRS, 1965, 413 p.

machine, mais que, devenue « la science des langages et s'étendant de l'algèbre à la théorie de la décision », elle permet de définir « les modes d'expression aussi bien que la construction des compilateurs [...]. Enfin, des considérations sur la logique permettent de situer l'évolution des idées concernant l'informatique théorique »⁶³. *Science, informatique théorique* : ces affirmations hardies sont ainsi lancées au vol, sans développement explicatif, vraisemblablement dans le but de stimuler le débat et d'accélérer une évolution.

De l'AFCAL à l'AFCEC : une société savante en expansion

La principale question est celle des relations entre le calcul, le traitement de l'information et d'autres activités qui utilisent aussi l'ordinateur et partagent l'outillage conceptuel des mathématiques appliquées. La recherche opérationnelle et l'automatique ont déjà leurs associations spécialisées, la SoFRO et l'AFRA, créées un an avant l'AFCAL et qui comptent plus de membres – parfois les mêmes personnes. SoFRO et AFCALTI ont d'ailleurs en commun un groupe Gestion Automatisée et tiennent ensemble leurs congrès. Dès octobre 1960, l'AFCAL a organisé avec la SoFRO et la section française de l'*Institute of Management Sciences* des journées d'études sur les moyens automatiques de gestion⁶⁴.

En 1963, l'AFCALTI fusionne avec la SoFRO. La nouvelle « AFIRO » (le mot *informatique* apparaît pour la première fois dans le sigle) est dominée d'emblée par les représentants de la recherche opérationnelle. La recherche opérationnelle est d'abord une utilisatrice de puissants ordinateurs, sans lesquels elle n'aurait pu se développer. En retour, les constructeurs d'ordinateurs apprennent progressivement à se servir de ses concepts (théorie des graphes, etc.⁶⁵) pour concevoir leurs circuits en minimisant les longueurs de connexions et mettre au point des outils de mesure de performances. Comme l'analyse numérique, la recherche opérationnelle est désormais indissociable de l'informatique et fait partie intégrante des programmes de formation. La SoFRO apporte des ressources considérables, outre ses adhérents : des contrats d'études et le soutien des militaires à travers la DRME.

63 Présentation en 3^e page de couverture, 3^e Congrès de l'AFCALTI (14-17 mai 1963, Toulouse), Paris, Dunod, 1965. L'auteur de ces lignes est sans doute M. Laudet ou Cl.-Fr. Picard, directeur de la publication.

64 Journées d'études AFCAL-SoFRO-TIMS, *Moyens automatiques de gestion*, Paris, Dunod, 1960.

65 À titre de repère, au MIT Ernst A. Guillemin a dès l'après-guerre enseigné et publié des ouvrages fondamentaux sur ces matières : *Mathematics of Circuit Analysis* (1949), *Introductory Circuit Theory* (1953) qui expose les théories des graphes et des arborescences.

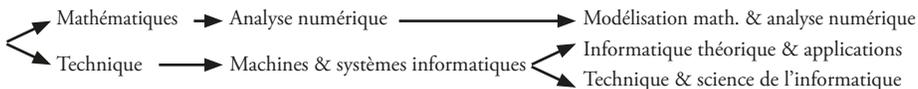
Tableau 18. Les dirigeants de l'AFCALTI en 1964

Membres dirigeants en 1964	AFCALTI	Revue <i>Chiffres</i>	
		Conseil	Comité de rédaction
André Danjon (astronome)	Fondateur		
Jean Kuntzmann (Univ. Grenoble)	Président	Fondateur	
Philippe Dreyfus (SEMA-SIA)	vice-Président		
René de Possel (Univ. Paris)		Directeur	
André Lichnerowicz (Collège de France)		x	
Jean Abadie (EDF, CNAM)			x
Albert Amouyal (CEA)	x	x	
Jacques Arsac (Observatoire Paris)	x		
Jean Auricoste (CAE)	x	x	
Claude Berge (Univ. Paris)		x	
Jacques Blamont (CNES)		x	
M. Blanchet (IBM)		x	
Jean-Paul Boss (Bull)	Secr.		
Henri Boucher (Marine)	x		x
Georges Brillouët (Univ. Nantes)		x	
Jean Caillon (EDF)			x
Pierre Capdeville (Sud-Aviation)	x		
Jean Carteron (SEMA-SACS)	x		
Joseph Crozier (CEA)			x
Marcel Courtillot (Shell)			x
R. Deléglise (SEA)			x
Émile Durand (Univ. Toulouse)		x	
Mme P. Février (CNRS-IBP)			x
Robert Fortet (Univ. Paris)		x	
Jean-R. Fouchet (CAPA-Assurances)	x	x	
Jean-Claude Gardin (CNRS-IBP)		x	
Noël Gastinel (Univ. Grenoble)			x
Jean Gaudferneau (CdC-SETI)		x	
François Genuys (IBM)			x
Georges Th. Guilbaud (EHES)	x		
Paul-L. Hennequin (Univ. Clermont)	x	x	
Daniel Hoffsaës (INSEE, OBM)	Secr.		
André Korganoff (Bull)			x
Bernard Lago (CEA, CEN Saclay)			x
Michel Laudet (Univ. Toulouse)	x		x
Henri Leroy (Bull)			x
Jean Legras (Univ. Nancy)		x	
André Lentin (CNRS-IBP)			
M. Letellier (SEMA-SIA)		Rédacteur en chef	x
Lucien Malavard (Univ. Paris)	x		
M. Masson (IBM)			x
Maurice Métivier (CIT)		x	
Georges Morlat (EDF, SoFRO)		x	
Louis Nolin (CNRS-IBP)			x
Claude-Fr. Picard (Collège de France)	Secr. Général		x
M. Pigot (CFRO)			x
Jean Raison (Bull)		x	
Jean Rapin (Peugeot)	x	x	
François-H. Raymond (SEA, CNAM)	x	x	
Bruno Renard (IBM)	Trésorier		
Jean-Louis Rigal (Univ. Besançon)		x	
Louis Robin (CNET)	x	x	
Roger Roy (CSF-Analac)		x	
Hubert-J. Uffler (CSF-Analac)			x
Bernard Vauquois (Univ. Grenoble)		x	
Jean Ville (Univ. Paris)	x	x	
Théodore Vogel (Univ. Marseille)		x	
Antoine Vosluisant (SNCF)	x		

416

L'informatique au début des années 1960 est un village de quelques centaines d'habitants où tout le monde se connaît, quelle que soit l'appartenance professionnelle. Celle-ci est d'ailleurs souvent multiple : beaucoup d'ingénieurs de l'industrie ou des armées enseignent dans les écoles et les universités, beaucoup de chercheurs « académiques » sont aussi consultants ou sous-traitants pour l'industrie ou les administrations techniques.

Compensant l'élargissement de l'association, des subdivisions y apparaissent sous forme de sections ou de groupes de travail : « Mathématiques » et « Théories et techniques informatiques » contribuent à définir des activités de recherche en recomposant les domaines préexistants. La même différenciation permet de conserver l'unicité formelle de la revue, malgré la diversité croissante des membres abonnés et face au besoin émergent de créer une revue d'informatique « de caractère universitaire »⁶⁶. Plutôt que de se laisser déborder ainsi, *Chiffres* fusionne en 1966 avec la *Revue française de recherche opérationnelle* et se scinde en deux livraisons⁶⁷ :



Deux ans plus tard la revue, devenue RIRO (*Revue d'informatique et de recherche opérationnelle*), paraît en trois couleurs : bleue pour les applications de l'informatique, verte pour la RO, rouge pour les articles « théoriques et méthodologiques ». La livraison bleue est une revue savante d'informatique à vocation généraliste : elle contient essentiellement des articles écrits par des chercheurs sur la programmation et les langages, sur les systèmes nouveaux, sur l'architecture d'ordinateur ou la technologie des écrans plats, etc., dont le lectorat principal semble être les ingénieurs qui développent des systèmes et les professeurs qui les enseignent. La version rouge s'affirme comme le périodique français de science informatique. À partir de 1969, les universitaires domineront dans le comité de rédaction des versions bleue et rouge⁶⁸.

L'association mène donc une politique de croissance externe et interne, se subdivisant pour tenir compte des spécialités variées qu'elle englobe ou qui apparaissent avec l'évolution du domaine, dans une stratégie générale d'unité affichée. Non sans conflits ou tiraillements, qui sont le prix à payer pour maintenir cet ensemble interdisciplinaire et interprofessionnel.

Le contenu des congrès annuels obéit aux mêmes principes rassembleurs. Plusieurs sessions sur trois jours permettent d'embrasser les aspects les plus

66 Suggestion de Kuntzmann au COMIRO, PV du 12 octobre 1966, p. 10 (Arch. nat. 85/0505/54).

67 C. Hoffsaës, « Histoire de l'AFCT et des sociétés l'ayant constituée », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 1, p. 269-291.

68 En 1968, les membres du comité de rédaction sont : président, R. Pallu de la Barrière (prof. fac. sc. Paris), C. Berge (DR CNRS), D. Dugue (prof. fac. sc. Paris, dir. ISUP), E. Durand (dir. de l'Institut de calcul numérique, fac. sc. de Toulouse), J. Kuntzmann (prof. fac. sc. Grenoble) J.-L. Lions (prof. fac. sc. Paris), E. Malinvaud (dir.), INSEE, M.-P. Schützenberger (prof. fac. sc. Paris), soit 6 parisiens, 1 grenoblois, 1 toulousain). Sur quelque 2 membres du comité de rédaction des versions bleue et rouge, au début des années 1970, 17 sont universitaires ; les seuls non-académiques sont P. Huard de la Marre (EDF), F. Sallé (CII), J.-C. Villard (GM, DRME, DGRST). Huard de la Marre crée aussi en 1969 une revue EDF semestrielle, le *Bulletin de la Direction des études et recherches, Mathématiques et informatique*.

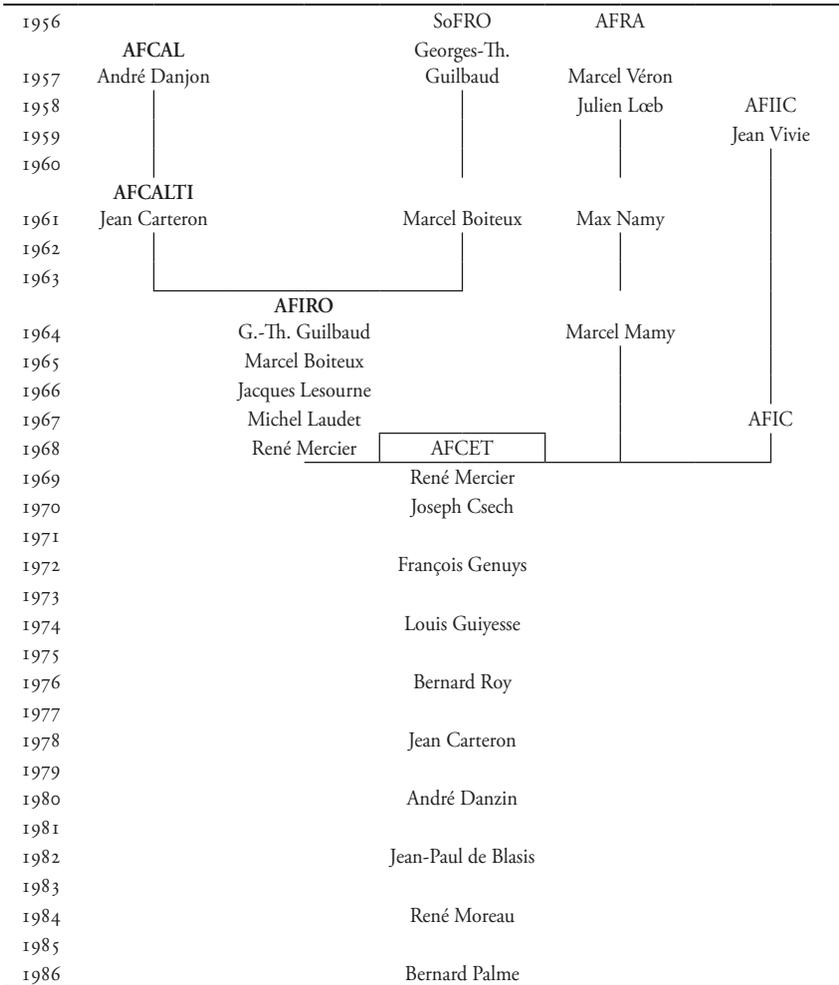
divers de l'informatique. Côté gestion, la plupart des communications sont des récits ou des projets d'informatisation de firmes, ponctués de quelques articles plus scientifiques sur la structure des données ou les écrans cathodiques : ce sont des échanges d'expérience, de savoir-faire, de réflexion sur l'état de l'art. Pour qui a parcouru les revues de mécanographie et d'organisation des années 1930, ils donnent le sentiment d'une certaine continuité, dans la mesure où ces réunions et ces publications jouent le même rôle dans le développement d'une culture professionnelle. Les actes paraissent désormais en plusieurs volumes, en raison à la fois de l'inflation des papiers et de l'impossibilité pour un spécialiste de lire tout ce qui paraît depuis les applications de gestion jusqu'aux modèles mathématiques du codage. Congrès et séminaires constituent les $\frac{3}{4}$ des revenus de l'association.

418

Ce mouvement de professionnalisation, entamé depuis le milieu des années cinquante, contribue à rendre possible l'affirmation progressive de l'informatique comme champ scientifique, ne serait-ce qu'en lui fournissant un forum et une relation organisée avec les associations similaires à l'étranger. Affirmation renforcée par les congrès et les publications de l'association, dont une partie importante a un contenu scientifique avec évaluation par des comités de lecture à dominante universitaire.

Face au milieu de la régulation et de l'automatisation, la question du périmètre des associations d'informaticiens s'est posée au niveau international dès la fondation de l'IFIP : les automaticiens de l'IFAC (créée comme l'AFRA au congrès d'automatisme à Paris en 1956) venaient de modifier leurs statuts « to include computers and their effect on control processes » et proposaient d'aller au bout de cette logique en englobant l'informatique. Le conflit de frontières dure quelques années. En France comme ailleurs, l'automatique fait figure d'aînée, établie quelques années avant le calcul dans la recherche, l'enseignement supérieur, l'armement et l'industrie, où les recouvrements ou les interfaces entre les deux activités sont nombreux⁶⁹. Comme le calcul, elle utilise les appareils analogiques et numériques. Les associations d'automaticiens fusionneront en 1968 avec l'AFIRO. Ce qui règlera du même coup la question des rapports

69 Un club EEA, créé en 1962 lors d'un colloque à Supélec à l'initiative de P. Aigrain et de Ph. Olmer, groupe électrotechniciens, électroniciens et automaticiens de la recherche et de l'enseignement supérieur. Il vise notamment à rapprocher les spécialistes travaillant dans les universités et les écoles d'ingénieurs, et à élaborer des programmes d'enseignement pour définir de nouveaux diplômes (maîtrise d'électronique, etc.). Ce lobby académique devient naturellement l'interlocuteur du Ministère. Les liens avec l'informatique sont ambivalents : la proximité technique est évidente, ainsi que la stratégie commune de promotion des « sciences pour l'ingénieur » ; toutefois l'informatique risque de devenir une puissance dominante, et sa filiation avec les mathématiques maintient une distance culturelle avec les gens du hardware (M.-Y. Bernard, *30 ans de la vie du club EEA*, Paris, Telexa, mai 1990).



- AFCAL : Association française de calcul
- AFCALTI : Association française de calcul et de traitement de l'information
- AFIRO : Association française d'informatique et de recherche opérationnelle
- AFRA : Association française de régulation et d'automatique
- AFIIC : Association française des ingénieurs de l'instrumentation et du contrôle
- AFIC : Association française de l'instrumentation et du contrôle
- SoFRO : Société française de recherche opérationnelle
- AFCET : Association française pour la cybernétique économique et technique

Tableau 19. AFCET : arbre généalogique et présidents (d'après C. Hoffsaës, 1988)

Le président fondateur de l'AFCAL, Danjon, est un personnage considérable dans la science française : membre de l'Académie des sciences, du Conseil supérieur de la recherche scientifique, du directoire du CNRS, du Conseil de l'enseignement supérieur, du Comité d'action scientifique de la défense nationale (CASDN), conseiller scientifique de l'OTAN. Les présidents suivants sont alternativement polytechniciens, normaliens ou issus d'autres écoles d'ingénieurs, et représentent les diverses composantes qui viennent s'agréger.

avec l'IFAC⁷⁰. Cette fusion donnera naissance à l'Association française pour la cybernétique économique et technique (AFCET, 2 300 membres).

Le mot *cybernétique* est alors un peu provocateur, ayant pris au cours des années soixante une connotation plutôt ringarde en réaction contre l'engouement excessif de la décennie précédente, longtemps avant sa remise en vogue par la génération Internet. Mais il reflète aussi l'importance centrale que les questions de « systèmes » et de communication prennent dans la recherche et la technique informatiques. Et, sur le plan scientifique, la convergence qui s'opère enfin réellement entre diverses disciplines, dont avaient rêvé les premiers cybernéticiens vingt ans plus tôt. C'est ce que souhaite son promoteur, l'automaticien Pierre Naslin, désireux que la nouvelle communauté renoue avec cet esprit holiste tout en y apportant plus de rigueur qu'autrefois⁷¹.

B. L'INFORMATIQUE VUE DU CNRS : DE LA TECHNIQUE À LA SCIENCE

Au début des années 1960, les principaux centres où se développent des recherches en informatique sont :

- Les laboratoires universitaires décrits dans la partie précédente, ainsi que l'Institut Blaise Pascal, laboratoire propre du CNRS lié à la faculté des sciences de Paris, et deux écoles d'ingénieurs : Supaéro avec son Centre d'Automatisme et, bientôt, Supélec.
- L'ensemble Observatoire de Meudon / Institut d'astrophysique ; et, à plus petite échelle, l'observatoire de Besançon, dont l'équipe informatique est de taille subcritique. Les observatoires disparaîtront vite de la liste des acteurs, la plupart des astronomes-informaticiens partant bientôt enseigner l'informatique dans les facultés des sciences et ne laissant derrière eux que des services de calcul, comme on l'a vu dans le cas de Strasbourg. Ils apportent avec eux un savoir-faire en gestion de grands équipements.
- Des centres de R&D militaires : le laboratoire central de l'armement (Armée de terre) ; l'Institut des recherches techniques de Saint-Louis (ISL), qui étudie notamment les ondes de choc ; les établissements des constructions et armes navales de Ruelle et de Paris, essentiellement le Centre de programmation de la Marine.
- De grands utilisateurs civils : EDF, CEA, Neyrpic-Sogréah, constructeurs aéronautiques, etc.

⁷⁰ Peu après s'effectue un rapprochement entre les associations internationales de la mesure, de l'automatique, de l'informatique, du calcul analogique ou hybride et de la RO, notamment l'IFAC (V. Broida) et l'IFIP (Zemanek, Bauer, Carteron), qui créent un comité de coordination consultatif (FIACC) sous l'égide de l'UNESCO.

⁷¹ Entretien avec Pierre Naslin, 1988.

- Les laboratoires et bureaux d'études des constructeurs d'ordinateurs : SEA, IBM France (Paris puis La Gaude), plus progressivement Bull, ainsi qu'Analac et l'Alsacienne de construction mécanique (SACM-Alcatel) à plus petite échelle ; on peut y assimiler de ce point de vue la division « Recherches sur les machines électroniques » du CNET, vouée au développement et au transfert de techniques vers l'industrie.

Les constructeurs d'ordinateurs ont formé au début des années 1950 des centres de calcul et des équipes de mathématiques appliquées. Le but est de se donner une image d'avant-garde et d'attirer les grands clients scientifiques. En effet, ceux-ci choisissent une machine en lui faisant subir des tests (par exemple mesurer le temps qu'elle met à inverser une matrice ou à effectuer un calcul ardu), ce qui nécessite une expertise en analyse numérique. D'autre part le constructeur doit développer lui-même une partie des applications, notamment dans des domaines pointus comme la recherche opérationnelle pour l'aide à la décision. Il doit donc disposer de spécialistes, généralement issus des universités et des Grandes Écoles, capables de développer des applications complexes, de dialoguer avec des clients qui ont le même profil et de conseiller les commerciaux. Au début des années 1960, de nouvelles orientations de recherche apparaissent, désormais dans les services de R&D : compilation, systèmes, mathématiques appliquées au codage et aux télécommunications numériques.

Les commissions du CNRS réunissent, en deux sessions d'une semaine par an, des universitaires, des chercheurs des grands organismes publics et parfois de l'industrie. Chargées à la fois de recruter et d'évaluer les chercheurs CNRS (généralement pour la durée d'une thèse avant de partir pour un poste dans l'enseignement supérieur) et d'attribuer des crédits aux laboratoires, elles recommandent aussi des priorités d'investissements scientifiques et se préoccupent des obstacles matériels qui entravent le développement de leur discipline.

On verra successivement la représentation de l'informatique dans la section 3, « Mécanique générale et mathématiques appliquées », et dans d'autres sections du Comité national. La prise de conscience progressive de l'essor et de la spécificité de ce domaine nouveau conduit à une concurrence pour le partage des ressources avec la mécanique, ce qui entraînera l'éclatement de la section 3 en 1966.

a. L'informatique dans les sections du Comité national

Les commissions du CNRS, chacune d'une vingtaine d'experts, ne peuvent inclure des représentants de tous les centres de recherche français. Elles sont

formées par un échantillonnage résultant du jeu des nominations, des élections et des « cuisines » électorales préparatoires.

Tableau 20. Les commissions du CNRS concernées par le calcul et l'informatique (1956-1966)

Secteurs / Départements	Commissions / Sections
<i>Mathématiques</i>	1 Mathématiques pures
	2 Théories physiques, Probabilités, Applications
	3 Mécanique générale & mathématiques appliquées
<i>Physique</i>	Mécanique du solide
	Électronique, électricité, magnétisme
	Physique nucléaire, etc.
<i>Sciences de la Terre</i>	Astronomie, etc.
<i>Sciences Humaines</i>	Linguistique, etc.

La section 3 représente, au début des années 1960, une cinquantaine de chercheurs CNRS – un peu plus qu'en mathématiques pures, trois fois moins qu'en section 2.

422

La section 3 du CNRS s'étoffe encore, à partir de 1963, de quatre spécialistes des mathématiques appliquées : Claude Benzaken (ENS 1954, combinatoire, Grenoble), Luc Gauthier (probabiliste, Nancy), François-Henri Raymond (directeur de la SEA), Jean-Louis Rigal (ENS 1947, astronomie et calcul, Besançon)⁷². L'informatique est désormais représentée sous ses diverses formes : analyse numérique, langages et programmation, architecture de machines, traitements non numériques, services de calcul.

Le renforcement effectué en 1963 résulte à la fois des décisions inscrites dans le IV^e Plan, des directives de la DGRST et des choix de la direction du CNRS. Celle-ci a classé l'informatique et l'analyse numérique parmi les disciplines à développer en priorité « A ». Toutefois, cette volonté affichée se heurte à la structure du Comité national. En effet, conformément aux distinctions traditionnelles entre les disciplines, les spécialistes des circuits électroniques, de l'analyse numérique, des statistiques et probabilités, dépendent de sections séparées qui mènent chacune leur politique. Sur le plan de la mise en œuvre des priorités, la modulation déterminée par les indices A, B, C n'est qu'une inflexion de la croissance des moyens distribués aux laboratoires. S'agissant de la répartition des postes de chercheurs, la modulation est beaucoup plus forte, mais elle porte seulement sur les attributions de postes nouveaux, non sur les orientations des chercheurs en place.

72 Les informaticiens L. Nolin et P. Pouzet se sont présentés à l'élection, mais avaient trop peu d'électeurs potentiels face à la cohorte des mécaniciens : « On a obtenu zéro voix ! » (entretien avec L. Nolin, 1986).

Le calcul électronique, en-dehors de quelques personnalités dispersées à travers le Comité national, est donc représenté en section 3 par une personne à partir de 1956, par deux en 1960, par six entre 1963 et 1966. Plusieurs de ces représentants se retrouvent aussi au comité scientifique de l'action concertée « Calculateurs » de la DGRST.

b. L'image de l'informatique au Comité national : les rapports de conjoncture

À partir de 1959, chaque commission du Comité national rédige, au cours de son mandat de quatre ans, un « rapport de conjoncture », dont la compilation forme le rapport de conjoncture publié par le CNRS. Même si le texte produit reflète les différents intérêts particuliers représentés dans chaque section et affirme régulièrement que la découverte fondamentale ne se programme pas, cet exercice est un moyen d'associer les membres du Comité national à l'élaboration d'une politique scientifique, c'est-à-dire à des choix de priorités d'investissements.

Notons qu'au même moment, un exercice similaire est effectué dans le cadre de l'ONU, sous la direction du physicien Pierre Auger. Le « Rapport Auger » est transmis de l'ONU au ministère des Affaires étrangères, qui demande à la DGRST de formuler les « observations du Gouvernement français » ; Pierre Piganiol (DGRST) répercute la demande vers le CNRS⁷³. On peut ainsi comparer, presque terme à terme, l'analyse de la conjoncture faite par les commissions du CNRS et par un organisme international. La section 3 du CNRS souligne les points communs des deux rapports : mesures pour favoriser la communication scientifique internationale ; priorité à donner au développement des recherches spatiales, des études sur la pollution des eaux et de l'atmosphère, du calcul numérique.

En général, dans chaque commission, quelques personnalités se chargent d'écrire un projet de rapport couvrant leur sous-discipline ; ce projet est diffusé au sein du petit groupe, discuté et enrichi, puis transmis au président de la section qui l'intègre dans une version finale, confiée à la direction du CNRS. Les versions successives du rapport, quand on les trouve, ressuscitent les discussions et les controverses qui agitaient un secteur scientifique à l'époque.

La lecture des rapports de conjoncture 1960 et 1964 du CNRS révèle la perception d'un « retard français » et l'émergence de l'informatique comme discipline scientifique.

73 Rapport Auger sur les tendances principales de la recherche, présenté au Conseil économique et social des Nations-Unies, 1960, Avis du Comité national (Arch. nat. 80/284/24 et 60) ; et P. Auger, *Tendances actuelles de la recherche scientifique*, Paris, Unesco, 1951.

Le rapport de conjoncture 1960 de la section 3 est avant tout un appel aux pouvoirs publics en vue d'investissements massifs. Il affirme à la fois « l'étendue du champ des applications des machines à traiter l'information » et « le retard de la France dans ce domaine » traduit par une pénurie de machines et surtout de personnel spécialisé⁷⁴. La pénurie matérielle peut se résorber facilement, moyennant finances : tous les centres de calcul doivent être dotés rapidement d'un calculateur analogique et d'un petit ordinateur, pour commencer à former des compétences, dès que les besoins locaux de « temps machine » dépassent 1 000 h/an ; trois grands centres (Paris, Grenoble, Toulouse) doivent être dotés d'ordinateurs puissants, IBM 704 ou Bull Gamma 60. On l'a vu, ce programme d'équipement, qui est aussi celui de la direction des Enseignements supérieurs au ministère de l'Éducation nationale, sera réalisé dans les deux années suivantes. Sous l'impulsion du IV^e Plan, la majeure partie est financée par l'université, environ deux fois plus que par le CNRS⁷⁵.

Plus difficile à résorber est la pénurie de personnel spécialisé. Un petit ordinateur exige 4 à 6 techniciens, un gros, 30 à 40. Le problème est double : il faut former des spécialistes, notamment en intégrant au calcul numérique les « personnes douées d'aptitudes [...] » qui « existent virtuellement dans les promotions de sortie des Grandes Écoles et des facultés des sciences ». Mais ces spécialistes iront dans l'industrie privée, tant que le statut des personnels du CNRS ne permettra pas de leur verser des salaires compétitifs. La rigidité de la grille de la fonction publique apparaît ainsi, implicitement, comme une cause majeure du retard français en informatique. Si l'on ne remédie pas à cet aspect humain du problème, laissent entendre les auteurs du rapport, les investissements en matériel seront gaspillés.

74 L'ingénieur militaire Sestier, dans son livre de 1958, estime le retard français de 2 à 5 ans selon la taille des machines, et de 6 ans pour les recherches techniques fondamentales – implicitement, par rapport aux États-Unis.

75 Une enquête de l'Inspection des finances signale que la comptabilité des universités est très floue, leurs petits services administratifs étant débordés par la croissance des facultés : leurs achats d'équipements sont anarchiques, d'ailleurs parfois payés sur le fonctionnement. Le CNRS, au contraire, a un service Achats centralisé, efficace, qui sait faire baisser les prix, obtenir des livraisons rapides et imposer ses conditions aux fournisseurs (J.-E. Roullier, « Note sur le problème des achats de matériel scientifique dans l'enseignement supérieur », Mission Recherche-Éducation-Finances, 29 août 1962, Arch. nat. 81/0401/60).

Tableau 21. Dépenses prévues pour les centres de calcul université & CNRS (1961-1964)

Machines digitales	Matériel	32,7 MF (+ 1,7 MF/an à partir de 1965)
	Personnel	12 MF
Machines analogiques	Matériel	2,2 MF
	Personnel	0,7 MF
Machines de bureau		0,8 MF

L'acquisition d'ordinateurs et de périphériques fait déjà partie des opérations normales du CNRS, qui commande en 1962 une trentaine de machines pour un total de 5 MF. Les frais de fonctionnement des centres de calcul sont estimés à 10% de la valeur de l'équipement⁷⁶.

À côté de ces demandes d'investissements, la réflexion sur les recherches à mener occupe peu de place dans le rapport de conjoncture 1960. On envisage de construire une calculatrice rapide pour le calcul scientifique, ce qui n'est pas très original. Et l'on veut entreprendre des recherches en traduction et en documentation automatiques – opérations déjà en cours depuis un an à Grenoble et à Paris. Les auteurs sont conscients que ces derniers projets exigent, avant tout résultat opérationnel, de longues recherches fondamentales et « un effort massif pendant une période de 10 à 15 ans pour mettre au point des méthodes et des matériels ».

La commission considère que l'instrument privilégié du rattrapage serait une action concertée de la DGRST – qui sera effectivement lancée deux ans plus tard⁷⁷.

Le rapport de conjoncture 1964

En quatre ans, les universitaires du Comité national ont fait des progrès dans cet exercice de prévision et de programmation très nouveau pour eux. Le rapport de conjoncture 1964 de la section 3 accorde une place beaucoup plus grande que celui de 1960 aux recherches sur la conception et l'emploi des ordinateurs. Il révèle que s'est dégagée, dans une fraction du Comité national, une vision précise de l'objet, du domaine et des possibilités des mathématiques appliquées ainsi définies : « Il s'agit essentiellement du traitement de l'information, tant numérique que non-numérique »⁷⁸.

⁷⁶ CNRS, RC 1960, s. 3, p. 56-57.

⁷⁷ Ce diagnostic d'un retard est largement partagé, par exemple dans les milieux qui se préoccupent de productivité, ainsi R. Saint-Paul, « L'Automation : Peu de recherches en France », *L'Expansion scientifique*, avril 1961, n° 9.

⁷⁸ Exemples de traitement non-numérique : la documentation automatique, le décryptage d'un message chiffré, un classement alphabétique, un tri. Une opération de tri, classique en mécanographie, peut devenir extrêmement complexe en fonction du nombre de paramètres choisis, donc consommer du temps-machine. C'est pourquoi l'on cherche à mettre au point des méthodes logiques et des algorithmes « économiques ».

Rédigé dans le cadre de la préparation du V^e Plan, le rapport 1964 contient un ensemble de recommandations assorties de tableaux d'investissements, qui dépassent de loin les possibilités du CNRS en la matière et s'articulent avec les réflexions menées parallèlement à la DGRST, à l'AFIRO et dans d'autres instances. On les comprend mieux dans la mesure où l'on a pu trouver, dans les archives des laboratoires, quelques-unes des contributions détaillées des membres de la commission ou des spécialistes qu'ils ont consultés. Ces recommandations peuvent se grouper sous deux rubriques (j'ai noté entre parenthèses des remarques et des précisions) :

- Thèmes de recherche :

426

- La France doit s'engager dans la réalisation d'ordinateurs de 3^e génération et développer des machines puissantes pour le calcul scientifique (la DGRST et la DRME financent effectivement des études en ce sens, en matière d'architecture comme de miniaturisation des composants) ;
- « centrer certains groupes de chercheurs sur l'étude de l'organisation générale (*logical design*) des machines futures » (il s'agit vraisemblablement du rêve de R. de Possel de développer un ordinateur à l'IBP⁷⁹, mais d'autres projets sont en cours au CNET, à Toulouse et à Grenoble) ;
- étudier les conditions de « la circulation optimale de l'information à l'intérieur des machines »⁸⁰ (architecture de circuits et de systèmes, recherches en théories des graphes, des questionnaires, en RO, développement d'outils de CAO) ;
- Les machines analogiques doivent être plus largement utilisées, et leurs usagers se rapprocher de ceux des ordinateurs numériques (orientation vers le calcul hybride) ;

79 Ce thème est apparu dans le rapport de conjoncture 1961-1962, p. 19. Il s'agit d'étudier des calculateurs adaptés à des « opérations de substitution ou à manipuler les très grandes matrices », que les constructeurs ne font pas car ce marché est trop petit. Un programme sur 4 ans permettrait de développer des technologies d'assemblage (soudure) et des composants, en collaboration avec l'industrie.

80 Cette expression vient littéralement de la contribution de Rigal (Besançon) au rapport de conjoncture du CNRS, p. 4 (Arch. IBP). La note détaillée de Rigal précisait : « le goulet essentiel d'étranglement en traitement de l'information (autre bien entendu que celui créé par la pénurie de personnel) réside dans [...] les grands problèmes de circulation de l'information à l'intérieur des machines, qu'il s'agisse des problèmes de rangement (particulièrement cruciaux lorsqu'il s'agit de machines disposant d'un grand nombre d'entrées et de sorties, notamment sous forme de bandes magnétiques), que des problèmes du "questionnaire" le plus efficace. » Cette étude, « pratiquement guère entreprise à ce jour », « peu de personnes sont actuellement capables de l'entreprendre, tant le sujet est nouveau » et nécessite de former un personnel de niveau élevé, ce qui prendra des années. « Cela nous semble tout-à-fait la tâche du CNRS ».

- étudier la transmission de l'information à distance (télétraitement, réseaux de données) ;
- « mettre l'accent sur la résolution des équations aux dérivées partielles » (l'un des contributeurs souligne que dans maints domaines comme les grands systèmes linéaires creux ou les équations différentielles, il n'existe guère de méthodes adaptées à la résolution numérique et que « de longs et difficiles travaux de recherche doivent être effectués [...]. La plupart de ces problèmes sont d'origine expérimentale ou physique, et une collaboration avec les utilisateurs ne consiste pas à "résoudre" le plus économiquement et le plus rapidement possible des problèmes à court terme, abstraction faite de la signification des résultats ainsi trouvés »⁸¹) ;
- « Une très forte majorité se dégage également pour le sujet : langages de programmation. Il s'agit d'améliorer la communication hommes-machines [...] » ;
- Enfin, le rapport insiste, comme d'autres documents de l'époque, sur l'écriture de programmes normalisés en Algol, que l'on espère rendre ainsi « portables » d'un ordinateur à l'autre.

Cette énumération n'a rien de visionnaire, dans le paysage informatique de l'époque. Beaucoup de ces thèmes correspondent à des travaux, certes récents, mais déjà en cours dans les labos représentés à la commission ou dans l'industrie. Il faut tenir compte du fait que le rapport de conjoncture est destiné, non aux spécialistes, mais à des décideurs à qui il faut faire prendre conscience des urgences et de l'état de l'art.

- Questions d'ordre institutionnel :

- Il faut créer un organisme d'État, faire travailler concurremment les équipes de recherche en informatique, maintenir des rapports très étroits avec l'industrie (recommandations qui résument visiblement la politique de la DGRST ; c'est un vœu assez général de disposer d'un organisme commun constituant une bibliothèque de programmes, servant d'organe de liaison entre les laboratoires et orientant leurs recherches vers les grands problèmes à résoudre) ;
- L'effort de formation à l'informatique, qui a touché l'enseignement supérieur, doit maintenant s'étendre à l'enseignement secondaire. [...] « Il y aurait lieu d'encourager la fabrication de très petites machines (d'un prix de 100 000 à 200 000 francs) pouvant être utilisées aussi dans l'enseignement secondaire » (c'est, à ma connaissance, la première mention de l'enseignement de

81 Notes de M. Rigal concernant le rapport de conjoncture du CNRS, p. 3 (Arch. de l'IBP).

l'informatique au lycée, qui fera l'objet de diverses cogitations par la suite, mais dont les premières expérimentations ne seront lancées qu'en 1971) ;
- « La plupart des spécialistes valables se trouvant dans des firmes industrielles, il serait nécessaire, pour le recrutement, de faire un assez large appel à l'industrie, et par conséquent d'avoir, pour les rétribuer, une liberté d'action beaucoup plus grande ».

c. L'essor de l'informatique au CNRS et la concurrence entre disciplines

Les rapports de conjoncture de 1960 et 1964 sont partiellement suivis d'effets. Un membre des instances dirigeantes du CNRS, l'ancien surréaliste devenu sociologue Pierre Naville, en exprime crûment l'une des raisons :

On trouve dans les sections du CNRS qui rédigent les rapports de conjoncture, à peu près les mêmes bonshommes que l'on va retrouver dans les commissions du Plan, afin de les écrire d'une autre façon⁸².

428

Le Directoire du 15 avril 1964, réuni pour tirer les conséquences du rapport de conjoncture et hiérarchiser les priorités, voit les mathématiques appliquées comme « l'un des secteurs où le développement des moyens est essentiel ». La partie « mathématiques appliquées, traitement de l'information » de la section 3 est classée en A (« effort tout à fait prioritaire »). Par comparaison, la mécanique générale n'est classée qu'en B (« un certain redressement à opérer »), ainsi que les mathématiques pures et l'électronique ; la section 2 est classée en C (« Développement normal, équilibré »). Ces coefficients de priorité seront réexaminés et confirmés en 1967, l'automatique et le traitement de l'information se retrouvant « A ».

Qu'obtiennent les représentants de l'informatique ? À partir de 1955, le CNRS a aidé certains laboratoires universitaires, principalement ceux de Grenoble et, un peu plus tard, de Toulouse. Au milieu des années soixante, la section 3 du CNRS verse 130 000 F/an de crédits hors personnel à l'IMAG, 100 000 F à Toulouse⁸³. Les petits centres, comme Besançon ou Clermont, reçoivent 30 à 50 000 F. Un ou deux collaborateurs techniques et autant de postes de chercheurs sont affectés chaque année aux principaux centres. La RCP 30 du CNRS (Recherche coopérative sur programme) finance les recherches sur les langages de programmation dans diverses équipes à partir de 1963. Après 1966, lorsque le CNRS instituera les laboratoires associés, les équipes d'informatique seront parmi les premières à en bénéficier.

⁸² PV du Directoire du CNRS, 10 décembre 1963, p. 23.

⁸³ PV s. 3, 12 novembre 1965.

C'est un complément utile, mais mineur face aux moyens investis par la direction de l'Enseignement supérieur, près de 100 MaF en « machines mathématiques » dans le seul laboratoire Kuntzmann au cours des années cinquante, ou un peu plus tard dans les centres de calcul de Jussieu et d'Orsay. En 1967 la faculté des sciences de Grenoble est en mesure de proposer de « mettre les moyens de l'IMAG prévus au V^e Plan au service des laboratoires CNRS de la région »⁸⁴. On observe donc un renversement complet par rapport au schéma qui inspirait la création du CNRS : l'université investit de gros moyens dans la science lourde, tandis que le CNRS à travers la RCP 30 distribue de petits contrats de prestations intellectuelles.

Bref, les « priorités » ne peuvent se concrétiser par de fortes inflexions dans le cadre du CNRS :

La direction du CNRS fait preuve d'une certaine compréhension pour les besoins des calculatrices, mais envisage une lente évolution plutôt qu'une révolution. Le nombre des chercheurs nouveaux en section 3 [par an] a été de 8 à 10 (avec en compensation 5 à 6 départs au service militaire). Le nombre des techniciens s'est également augmenté de quelques unités (3 à 5)⁸⁵.

Les centres de calcul, entre l'explosion des besoins et les contraintes administratives

La création en 1963 d'une « Commission d'implantation des calculatrices » et d'autres instances chargées de planifier l'économie de ces grands équipements contribue à affirmer la distinction entre service de calcul et recherche informatique. Fin 1963, cette commission analyse les causes du manque d'efficacité qu'elle diagnostique :

- La multiplication de petits ordinateurs dans les facultés coûte cher, sans donner les moyens de faire du travail sérieux, car « il faut infiniment mieux avoir un seul ordinateur de 1 MF que 4 de 250 000 F⁸⁶ » (d'autant qu'on peut maintenant « multiplier les pupitres d'interrogation »). Ce genre de saupoudrage, constaté à Strasbourg comme à Marseille, contribue sans doute au non-décollage de l'informatique dans ces universités. Or, tandis que « le gouvernement pousse à l'harmonisation des tâches », les règles administratives entravent la mise en commun de ressources de différents laboratoires avec différents modes de financement pour acquérir une grosse

⁸⁴ Lettre de J. Kuntzmann à G. Jobert, directeur scientifique au CNRS, 11 janvier 1967. G. Jobert juge la proposition « très intéressante » (note du 26 janvier 1967), Arch. nat. 85/0505/9.

⁸⁵ J. Kuntzmann, « Point sur la formation de spécialistes du calcul en France », 1^{er} décembre 1963 (IMAG 12, COPEP 1960-1964).

⁸⁶ CR de la sous-commission Harmonisation de la Commission d'implantation des calculatrices en France, 12 novembre [1963], MM. de Possel, Daudel, Rigal (R. Daudel est un chimiste, grand utilisateur des ordinateurs de l'IBP et théoricien de l'interdisciplinarité).

machine en partage ; il est beaucoup plus facile à un labo de louer un petit calculeur et de demander à des étudiants ou à des techniciens d'écrire un compilateur que d'obtenir une machine plus puissante sur laquelle on ferait des recherches plus avancées. Résultat : « récemment encore quatre centres différents préparaient quatre compilateurs Algol [pour IBM] 1620 ».

- Les règles d'affectation des enseignants relèvent du même saupoudrage. Alors qu'existent trois grands centres bien équipés (Paris, Toulouse, Grenoble), dès qu'un doctorant y a fini sa thèse, on l'envoie comme maître de conférences dans une université dénuée de tout moyen de calcul sérieux, où il ne peut guère qu'enseigner l'analyse numérique comme on le faisait en 1950. On gaspille donc une ressource humaine particulièrement rare.
- Quant aux constructeurs que « l'université est particulièrement bien placée pour aider », en matière de compilateurs notamment, on souhaite qu'ils adoptent des standards facilitant le portage de programmes, au moins la migration d'un modèle à l'autre : code ISO (défini par tous, mais que seule la SETI utilise), systèmes permettant « de passer tout programme écrit en Algol ».
- Les étudiants ont trop peu accès aux ordinateurs, sauf à Toulouse et à Grenoble, où le « nombre d'utilisateurs ayant effectivement touché à la programmation » dépasse respectivement 400 et 1 000 fin 1964. Dans la plupart des facultés équipées de calculeurs, ce nombre ne se chiffre qu'en dizaines⁸⁷. Un rapport d'Arsac, partisan convaincu du libre service, insiste sur la nécessité d'enseigner la programmation à des utilisateurs aussi nombreux que possible et à tous les niveaux, ce qui « nécessite un effort considérable de l'enseignement supérieur ».
- Les responsables des centres de calcul manquent d'une formation appropriée. Ils sont surtout en butte au manque de souplesse de l'administration : lenteur dans la construction des locaux et défauts de climatisation, attribution insuffisante de postes d'opérateurs et difficultés pour rémunérer convenablement le travail de nuit, qui ne permettent pas d'exploiter les machines à plein rendement⁸⁸.

Tous les scientifiques ne partagent pas la conception centralisatrice de la Commission d'implantation des calculatrices, où l'on reconnaît la « loi de

87 MM. Arsac, Daudel, Gastinel, Commission d'implantation des calculatrices scientifiques, Rapport de la commission de l'inventaire, 18 novembre 1964 (Arch. nat. 85/195/77).

88 « Les structures des centres de calcul devraient être adaptées au fait qu'ils sont tous amenés à travailler sous contrat : possibilité de recettes, facilité d'embauche, salaires compétitifs par rapport au secteur privé » (J. Kuntzmann, « Point sur la formation de spécialistes du calcul en France », 1^{er} décembre 1963, IMAG 12, COPEP 1960-1964).

Grosch ». Celle-ci est sans doute valable du point de vue de la gestion d'un centre de calcul, équipé d'un gros ordinateur exploité à fond par une équipe nombreuse d'informaticiens compétents. Mais, du point de vue plus global d'une discipline comme la géophysique, par exemple, il est rationnel d'utiliser à la fois un grand service de calcul collectif, tel celui de l'IBP ou de l'Observatoire de Meudon, et des petits ordinateurs répartis qui permettent à la fois de former des chercheurs à la programmation, « de les habituer à l'emploi des machines digitales », de « mettre au point élément par élément les programmes complexes destinés à un gros ordinateur » et d'améliorer ainsi le rendement de ce dernier⁸⁹. Les géophysiciens retournent ainsi l'argument de la « loi de Grosch » en changeant, avec l'échelle d'analyse, la définition de la rentabilité.

L'équipement en ordinateurs : un enjeu très politique

Le monde universitaire est bien équipé au milieu des années soixante : les facultés des sciences de Grenoble et de Toulouse ont chacune un IBM 7044, l'Institut Blaise Pascal acquiert un IBM 704 puis un Control Data 3600. Les quelques pôles qui se sont investis dans ce domaine disposent ainsi de machines puissantes. C'est le résultat d'une politique délibérée, visant le rattrapage du retard français et inscrite au IV^e Plan, de la priorité donnée à la R&D par le régime gaulliste et du *lobbying* mené par les informaticiens. À cette époque les deux tiers de la puissance de grande informatique sont installés en milieu scientifique – proportion qui sera divisée par dix ou vingt, comme on le soulignera deux décennies plus tard avec regret⁹⁰. Il faut toutefois nuancer. Ces centres bien équipés sont très minoritaires. Et ce sont des machines de conception ancienne – l'IBM 704 date de dix longues années, l'IBM 7044 en est la version transistorisée : on a de la puissance de calcul, mais les étudiants des meilleurs centres français apprennent l'informatique sur des architectures dépassées, tandis que les universités britanniques, par exemple, ont les machines les plus récentes – il est vrai qu'elles les construisent parfois elles-mêmes... Les seuls ordinateurs de conception vraiment moderne dont disposent les étudiants sont l'IBM 1620 et surtout la CAB 500, mais ce sont de petites machines.

Cet essor matériel est d'ailleurs cassé en 1964 par le « plan de refroidissement » ourdi par le ministre des Finances V. Giscard d'Estaing pour tenter de juguler

89 CNRS, *Rapport de conjoncture 1963-1964*, s. 4 (astronomie, astrophysique, physique du globe), tome 1, p. 170. D'autres disciplines (cristallographie, etc.) argumentent dans le même sens, ajoutant que les petits ordinateurs sont de toute façon nécessaires pour piloter des instruments de mesure et contrôler des expériences.

90 J. Sakarovitch, *L'Informatisation de la recherche publique en France*, Paris, ADI, 1986, p. 58.

l'inflation⁹¹. De tous les laboratoires montent réclamaions et imprécations : le blocage des crédits d'équipement bloque du même coup la modernisation de la recherche et de l'enseignement, et nous replonge dans le retard que l'on commençait à rattraper. Il est contre-productif : non seulement les centres de calcul perdent du temps en utilisant de vieilles machines peu productives qui coûtent de plus en plus cher en maintenance ; mais, faute d'ordinateurs, on ne peut former les nombreux programmeurs dont l'industrie a besoin et dont la rareté motive les hauts salaires, donc contribue à l'inflation ! En outre ce plan est catastrophique pour les constructeurs français d'ordinateurs, trop fragiles pour supporter une telle baisse des commandes, tandis que les multinationales américaines la sentiront à peine : « Nous disposons de bon matériel français [...] ; si les crédits qui existent restent bloqués, nous en serons quittes dans un an ou deux pour acheter de l'IBM ou du GE », proteste le centre de Besançon, qui vient de faire l'effort de négocier une association de plusieurs labos pour mutualiser l'acquisition d'une nouvelle machine :

432

Conséquences : un laboratoire groupant une douzaine de personnes, un des rares professeurs d'analyse numérique rendu inefficace, incapable de faire de la recherche ou de l'enseignement, et même de satisfaire des contrats de plusieurs centaines de milliers de FF annuels qu'il a signés⁹².

Le problème de la main d'œuvre

Ce problème, déjà signalé comme pressant dans le rapport de conjoncture 1960, n'a pas été résolu. Ainsi, l'Institut Blaise Pascal est coincé entre la demande croissante de calculs émanant des laboratoires, et l'extrême difficulté qu'il éprouve, dans le cadre contraignant du statut des personnels CNRS, à payer des programmeurs que les entreprises s'arrachent à prix d'or. La plupart des ingénieurs que recrute l'IBP y restent un an ou deux, le temps de se former à l'informatique, puis partent dans l'industrie.

Ni l'enseignement supérieur ni les organismes civils de recherche ne peuvent offrir de salaires attrayants aux programmeurs, et la Cour des Comptes veille sévèrement aux tentatives de tourner les règlements par des structures de droit privé. Par exemple, à la suite du colloque « Université-Industrie » de Grenoble en 1957, les Grenoblois ont fondé l'ADR (Association pour le développement

91 Le plan de refroidissement est annoncé aux laboratoires par une lettre de Mme Niéva (CNRS), le 18 juin 1964 : « Les opérations d'achats et de location d'ensembles électroniques sont suspendus pour tous les services publics ».

92 Lettre de Rigal à De Possel, 30 octobre 1964 (Arch. de l'IBP). Rigal insiste sur cette « situation aberrante » à la réunion de la Commission d'implantation des calculatrices le 28 novembre 1964.

Le calcul électronique, voie des carrières rapides

David da Costa, âgé de 20 ans et titulaire d'un brevet de radiotechnicien, travaille en 1957 à *La Téléphonie moderne* (Marseille) quand il est recruté comme contractuel au CNRS pour assurer l'entretien de l'Elliott 402 de l'IBP. Il succède à un autre technicien, démissionnaire. Il complète sa formation par de l'Anglais et des cours du soir au CNAM. Après 10 jours d'initiation au fonctionnement de l'ordinateur par le logicien J. Porte et par un technicien anglais d'Elliott, il peut s'occuper de cette machine et participer à des modifications de son schéma logique. Aucune panne n'est signalée de février à octobre 1958, quand da Costa démissionne à son tour pour suivre des études d'ingénieur et repartir dans l'industrie, au grand regret de son patron René de Possel.

des recherches, sans but lucratif). Celle-ci permet, hors des rigides circuits administratifs, de gérer les sommes versées par les entreprises à la faculté pour rémunérer des personnels sur contrats, payer des honoraires de consultants aux universitaires, financer du matériel ou des bourses de thèse⁹³. En 1965 l'ADR gère 9,136 MF et assure plus de 700 salaires ! Le laboratoire Kuntzmann en est alors le deuxième bénéficiaire avec 1 257 780 F (derrière celui de Néel), suivi de près par le laboratoire d'automatique de René Perret (614 000 F). L'ADR est bientôt imitée dans d'autres universités, ainsi qu'au CNRS à l'Institut Blaise Pascal⁹⁴. Les principaux pourvoyeurs ne sont plus les industriels, mais les organismes publics (CEA, DGRST, DRME), et c'est ce qui fait tiquer les Finances et la Cour des Comptes. À la fin de 1965, un décret est pris pour obliger l'ADR à limiter ses activités aux fonds d'origine privée. À Orsay, la nouvelle direction du CIRCÉ, le centre interrégional de calcul du CNRS, s'efforce de retenir ses ingénieurs en leur attribuant tous les avantages permis par le statut : primes maximales, aménagement du temps de travail (le centre fonctionne 24 h/24).

Autre concession possible : laisser les programmeurs s'adonner à la recherche. Ce croisement d'activités a ses avantages : les praticiens de l'informatique peuvent développer réflexions et outils, approfondir leur culture professionnelle. Mais cette confusion des genres pose dans les services de calcul des problèmes de gestion, que le CNRS résoudra dix ans plus tard par de pénibles séparations forcées. Notons qu'à la même époque, le milieu militaire fonde diverses sociétés de services permettant de recruter des programmeurs sous statut privé ; la SYSECA qui travaille pour le Centre de programmation de la Marine, la SESA, issue du projet STRIDA de l'Armée de l'air. Les Armées ont en effet les moyens de payer

⁹³ D. Pestre, « Louis Néel et le magnétisme à Grenoble », art. cit., p. 116-123.

⁹⁴ ADRINORD (Association pour le développement des recherches scientifiques et informatiques dans le Nord), destinée à favoriser la collaboration des laboratoires de l'université de Lille avec l'industrie, SERTI fondée en 1965 à l'Institut Blaise Pascal, etc.

les prestations de service au prix du marché, contrairement à la recherche civile qui négocie des tarifs préférentiels (« ticket modérateur ») dans ses centres de calcul.

La solution la plus sûre au problème de la main d'œuvre, recommandé dès 1959 dans le rapport de conjoncture, consiste à former massivement les chercheurs à la programmation et à leur offrir le libre accès aux ordinateurs. Cette formule d'*open shop* limite les frais d'exploitation et freine efficacement les calculs sans intérêt. Elle nécessite simplement une petite équipe d'exploitation de la machine, chargée de répartir les heures d'utilisation, d'instruire et de conseiller les utilisateurs, d'effectuer certains travaux.

C. « UN VASTE DOMAINE DE RECHERCHES »

434

Si l'on compare les deux rapports de conjoncture, entre 1960 et 1964 le CNRS, par la voix de ses experts, a dépassé le stade des intentions, pris plus nettement conscience de son retard et consacré une part autonome et importante de sa réflexion à l'informatique comme activité scientifique⁹⁵. La première page du rapport de conjoncture 1964 contient une phrase significative à cet égard : « S'agissant du *traitement de l'information* en général, l'aspect théorique offre aux spécialistes un vaste domaine de recherches ». Cette prise de conscience est nettement partagée par la direction du CNRS, qui diagnostique en même temps son caractère tardif :

Le traitement de l'information est une discipline toute récente dont l'expansion est extrêmement rapide. Malgré le retard considérable pris dans ce domaine en France, où l'on n'a pas su apprécier à temps l'importance essentielle de cette branche d'activité, plusieurs équipes, certes très rares mais d'un grand dynamisme et d'une classe internationale, ont pu se constituer. [...] On doit noter en outre que 10% des interventions au prochain congrès de l'IFIP à New York en mathématiques appliquées seront d'origine française⁹⁶.

Parallèlement au développement de l'analyse numérique, qui depuis la fin des années 1950 est une force qui va, le CNRS et la DGRST soutiennent les travaux en informatique non numérique. Ceux-ci, orientés d'abord vers des applications à court terme, débouchent sur de vastes programmes de recherche

95 Pour sa propre gestion, le CNRS s'informatise au même moment avec de petits ordinateurs IBM : de 1964 à 1965, ses investissements en « mécanographie » passent de 1,9 à 13 MF (*Rapport d'activité 1964-1965*, p. 44).

96 Brochure *25 ans de CNRS*, chap. « Mathématiques appliquées », CNRS Éditions, 1964. Les Français sont fiers de constituer la principale participation, après celle des Américains, à ce congrès de l'IFIP (PV section 3, 12 novembre 1965, p. 1). La proportion diminue par la suite : au congrès IFIP d'Edimbourg, en août 1968, sur plus de 200 communications seulement 10 sont françaises.

fondamentale : documentation ou traduction automatiques, théories des automates, des codes, des langages.

a. La documentation automatique

L'aventure de la documentation automatique « commence avec la publication d'un fichier mécanographique relatif à 4 000 outils de l'âge du bronze, trouvés dans les fouilles du Proche-Orient, et aboutit vingt ans plus tard à un programme de recherches sur l'analyse des raisonnements en archéologie qui s'inscrit aujourd'hui dans les voies de l'intelligence artificielle »⁹⁷. Jean-Claude Gardin avait lancé en 1955, à l'Institut d'archéologie de Beyrouth, un projet de documentation mécanographique, utilisant d'abord des machines à cartes perforées classiques. Le projet est soutenu à l'Unesco par Roger Caillois, puis par son successeur Jean d'Ormesson. En 1960, il est rattaché à l'Institut Blaise Pascal où il constitue une Section d'automatique documentaire.

Le problème de base peut être résumé ainsi. Les codifications décimales classiques sont insuffisantes, car un « article » (plus petite structure organisée d'information) est mal encadré par une seule cellule codifiée. Aussi a-t-on préféré mettre au point les « mots-clés » ou « vedettes », constituant les descripteurs de l'article.

Se pose alors le problème fondamental d'une recherche documentaire. L'utilisateur veut que le système automatique réponde à sa question :

- sans *silence* : que tous les documents correspondant à sa demande soient pointés,
- sans *bruit* (au sens de la théorie de l'information) : qu'aucun document pointé ne soit hors sujet.

Bref l'utilisateur veut tous les signaux, et pas de bruit parasite. Comment définir un compromis ?

La recherche automatique s'appuie sur un *thesaurus* mis en mémoire : synonymes, mots voisins ou composés... réseau reliant les mots les uns aux autres. Ainsi informé, l'ordinateur peut satisfaire à la condition « pas de silence », mais non encore à « pas de bruit ».

Pour réduire l'indétermination génératrice de bruit, il faut introduire la syntaxe. C'est l'objet central des travaux de Gardin, qui associe dans son langage documentaire Syntol des couples de mots-clés comportant une relation causale... et démontre que « pas de silence » et « pas de bruit » sont incompatibles. Nous le constatons tous les jours en faisant nos recherches sur

97 J.-C. Gardin, « Une contribution des "Humanités" à l'informatique : de Pénélope (1955) à Zethos (1974) et au-delà », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 2, p. 135. Cet article a été reproduit dans un livre magnifique : J.-C. Gardin, *Le Calcul et la raison. Essai sur la formalisation du discours savant*, Paris, EHESS, 1991.

les moteurs de recherche Internet, qui ont nettement donné la priorité à « pas de silence » ! En précisant les relations qui unissent les mots-clés, la syntaxe diminue bien le bruit (en éliminant les documents non pertinents), mais elle augmente automatiquement le silence, en négligeant des documents qui nous intéresseraient. L'information parfaitement filtrée risque d'être stérile...

436

Parallèlement, des recherches effectuées dans les grands organismes de physique nucléaire, à partir du calcul, convergent vers ces thématiques. Au CEA qui dispose à Saclay du plus important centre de calcul analogique en Europe, le responsable du centre, Paul Braffort, initie des recherches sur « l'Automatique des Mathématiques » menées avec un groupe informel comprenant Benoit Mandelbrojt, Jacques Riguet et Marcel-Paul Schützenberger, « dans l'esprit unitaire ou encyclopédique de Gaston Bachelard et plus tard de Raymond Queneau »⁹⁸ : des mathématiciens proches de Bourbaki, mais qui s'intéressent à la logique des machines et à la théorie des automates. À partir de 1959, P. Braffort est appelé à organiser des centres de calcul pour l'ESTEC (European Space Technology Centre) et pour EURATOM. Il crée en même temps à EURATOM un Centre européen de traitement de l'information scientifique, comprenant un Groupe de recherches sur l'information scientifique automatique (le thème « documentation automatique » est animé par Yves Lecerf, un polytechnicien que l'on retrouvera plus tard à la Délégation à l'informatique) et un sous-groupe « machines à traduire »⁹⁹. Celui-ci coopère avec le Centre d'études pour la traduction automatique CNRS-DEFA. Braffort enseignera ensuite l'informatique à l'université d'Orsay, tout en s'aventurant en 1976 dans la direction scientifique d'une société de services.

La petite équipe du CNRS dirigée par Gardin, partie de questionnements d'ordre pratique, entreprend donc rapidement des recherches fondamentales. Cl. Picard, qui a déjà une longue expérience comme chef de services de calcul, s'y intègre et consacre ses deux thèses à la théorie des questionnaires, développant une idée de Schützenberger, et à la documentation automatique.

⁹⁸ Il les évoquera dans un article de 1988, tissé de poésie médiévale : P. Braffort, « Les digitales du mont Analogue », dans *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, *op. cit.* L'auteur signale que l'avènement du structuralisme dans les sciences humaines est directement lié aux rapports noués vers 1950 entre Cl. Lévi-Strauss et les mathématiciens J. Riguet et M.-P. Schützenberger, notamment dans le cadre du Cercle d'études cybernétiques.

⁹⁹ Les recherches menées au sein d'EURATOM, à Bruxelles et dans un séminaire « Leibniz » réunissant de nombreux spécialistes européens au centre d'Ispra (Italie), aboutissent à un traité : P. Braffort, *L'Intelligence artificielle*, Paris, PUF, coll. « La science vivante », 1968. C'est le premier livre paru sur le sujet, avant les ouvrages publiés aux États-Unis par Herbert Simon (*The Sciences of the Artificial*, 1969) et par John Slagle (*Artificial Intelligence: The Heuristic Programming Approach*, 1971). La principale interface avec la recherche informatique est l'étude des techniques de représentation, notamment des langages.

En 1963 la Section d'analyse documentaire a entrepris, sous contrat DGRST, d'inventorier « les études et applications intéressant le traitement automatique de l'information non numérique, principalement la documentation et la traduction automatiques. » Le but est de permettre aux chercheurs de s'informer des principaux travaux menés dans ces domaines à travers le monde. Ce Groupe d'études sur l'information scientifique constitue un premier fichier, indexant et parfois résumant 4 000 documents, consultable aux laboratoires de calcul de Marseille et de l'IBP, c'est-à-dire auprès de Gardin.

Le groupe devient en 1966 « laboratoire d'automatique documentaire et linguistique ». Ses travaux bénéficient de contrats d'Euratom, de la DGRST et de la Fondation pour la Maison des Sciences de l'Homme. L'un des premiers résultats est la mise au point d'un langage et d'un système spécialisés, Syntol (Syntagmatic Organisation Language, langage systématique d'organisation), conçu comme modèle général d'un système d'indexation automatique. En 1970, l'équipe publiera une analyse automatique de textes scientifiques. Gardin, se consacrant entièrement à ses recherches en a confié la direction à Maurice Gross (X 1955). Celui-ci, venu en 1964 de l'équipe de traduction automatique du laboratoire central de l'Armement, passe au CNRS comme attaché de recherche. Il entreprend une description systématique de la langue française et une refondation de la linguistique « au crible de l'analyse automatique »¹⁰⁰.

Retenons les principaux traits de l'histoire de l'automatique documentaire au CNRS :

- Elle est initiée par des utilisateurs de machines informatiques, qui veulent développer des applications nouvelles, sont confrontés à des problèmes fondamentaux et décident de s'y attaquer en quittant leur discipline d'origine.
- Elle n'a rien à voir avec le calcul ou l'analyse numérique – comme le souligne Gardin, la plupart des acteurs étaient de formation littéraire.
- La discipline vers laquelle ils se tournent d'abord pour chercher des solutions est la linguistique. Et c'est à travers la linguistique formelle qu'ils rencontrent des travaux de logique mathématique qui s'avèrent, au même moment, extrêmement utiles pour aider les programmeurs à comprendre ce qu'ils font.
- Au-delà des recherches dont elle est l'objet, l'automatique documentaire a de considérables enjeux économiques dans la défense, les administrations et les grandes entreprises. Toutefois la vision prophétique de la recherche d'information, de l'indexation, du dictionnaire des paradigmes est sans doute trop en avance pour avoir des impacts directs sur le plan pratique.

¹⁰⁰ Amr Helmy Ibrahim, « Maurice Gross : une refondation de la linguistique au crible de l'analyse automatique », *TALN 2002*, Nancy, juin 2002.

Que l'on vise la documentation ou la traduction, l'émergence de l'informatique rencontre les agenda d'une autre discipline en plein renouvellement, en France comme à l'étranger : la linguistique¹⁰¹.

b. La traduction automatique

La traduction par ordinateur a fait l'objet de recherches depuis le début des années 1950, notamment aux États-Unis, en Angleterre et en URSS. Des scientifiques français en ont été informés par divers canaux, notamment par le directeur du services des publications de l'Unesco, Émile Delavenay, qui crée un groupe de travail puis une Association pour la traduction automatique des langues (ATALA)¹⁰², peu après le congrès fondateur de l'IFIP tenu dans le même Unesco, où l'on a beaucoup parlé de *machine translation*. Les membres de l'ATALA sont des linguistes, des mathématiciens, informaticiens ou logiciens, des militaires – une centaine de membres dès 1960. Sa revue, *La Traduction automatique*, produite par Bull et IBM France, est un vecteur de diffusion en France de la linguistique américaine et des langages formels¹⁰³.

438

En même temps l'ATALA crée à l'Institut Henri Poincaré un séminaire de linguistique quantitative. L'on y enseigne à la fois la linguistique aux mathématiciens et, aux non-spécialistes, les mathématiques, la logique mathématique, la théorie de l'information. Ses animateurs sont Daniel Hérault, linguiste, et René Moreau, officier venu par la cryptographie aux théories du codage, puis à la linguistique algorithmique, chez IBM et dans l'enseignement supérieur.

Par diffusion, d'autres recherches se mettent en place, de façon un peu désordonnée. Ainsi, la Défense nationale s'intéresse aux compilations de vocabulaire pour établir des méthodes de décryptage. Le capitaine René Moreau est détaché à cet effet et vient à Besançon. C'est un exemple assez curieux d'activité : d'abord parce que le capitaine, devenu responsable du centre scientifique d'IBM, est un des rares cas de liaison entre les groupes d'analyse formelle qui sont surtout parisiens, farcis d'agrégés et de polytechniciens, et le groupe des non-agrégés ; ensuite parce que les qualités d'enseignant du

101 J.-Cl. Chevalier et P. Encrevé, *Combats pour la linguistique, de Martinet à Kristeva : essai de dramaturgie*, Paris, ENS, 2006.

102 L'ATALA est présidée par Émile Delavenay, puis par Pierre Nicolau, ancien directeur de l'École supérieure de l'Armement et fut l'un des premiers en France à s'intéresser aux questions de calcul automatique ; il dirige la revue *Automatisme*, qui accueille vite des publications de l'ATALA. Le bureau comprend, outre plusieurs linguistes (Yves Gentilhomme, spécialiste du russe), le mathématicien André Lentin (IBP), puis Bernard Vauquois.

103 J. Léon, « Le CNRS et les débuts de la traduction automatique en France », *Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2002, n° 6.

capitaine René Moreau (nous avons tous suivi ses cours si limpides) feront de lui le partenaire obligé de toutes les entreprises de recyclage¹⁰⁴.

Officier de gendarmerie voué aux transmissions (ESM St-Cyr et Supélec), René Moreau a été placé par la gabegie des états-majors en Indochine à la tête d'un commando franco-vietnamien et grièvement blessé en opération. Au milieu des années 1950, il se spécialise dans la cryptographie et les théories du codage et se rapproche des grands centres de calcul (mise sur cartes perforées des *Misérables* de Victor Hugo au LCA...). Il quitte ensuite l'Armée pour IBM, où il devient directeur scientifique – il sera notamment responsable de la création du centre scientifique IBM de Grenoble. La lecture des travaux de Chomsky sur la linguistique *computative* détermine la suite de son parcours intellectuel. Il enseigne la linguistique à la faculté des sciences de Paris (IHP), puis à l'université d'Aix-Marseille et à l'Institut d'informatique d'entreprise de Paris¹⁰⁵.

Le CETA, un laboratoire conjoint CNRS-Armement

Le petit groupe autour de l'ATALA obtient rapidement la création d'un laboratoire. En décembre 1959, le Centre d'études pour la traduction automatique (CETA) est fondé conjointement par le CNRS, le Comité d'action scientifique de la Défense nationale (CASDN) et la Direction des études et fabrications d'armement. Le CETA, rattaché administrativement à l'Institut Blaise Pascal, comprend en fait deux centres :

- L'équipe de Bernard Vauquois, installée à Grenoble auprès de l'IMAG dont elle utilise le Bull Gamma ET.
- L'équipe parisienne d'Aimé Sestier, au laboratoire central de l'Armement (fort de Montrouge à Arcueil) dont elle utilise l'IBM 650. Sestier a complété sa formation au calcul scientifique en suivant les cours de Kuntzmann et a enseigné un an comme professeur associé à Grenoble, avant de se tourner vers la TA.

Sestier et Vauquois sont membres de la section 22 du CNRS (Linguistique générale, langues modernes et littérature comparée) – Sestier en 1960-1962, Vauquois en 1963-1966.

Tous deux ont l'expérience du calcul et de l'analyse numérique. L'équipe militaire a, de plus, une expérience du traitement de l'information non-numérique acquise par la cryptographie avec René Moreau. Après avoir utilisé l'ordinateur comme

¹⁰⁴ Entretien avec B. Quemada, dans J.-Cl. Chevalier et P. Encrevé, *Combats pour la linguistique, de Martinet à Kristeva : essai de dramaturgie*, Paris, ENS, 2006, p. 221.

¹⁰⁵ R. Moreau publiera l'essentiel de ses cours dans une *Introduction à la théorie des langages*, Paris, Hachette, 1975.

outil de calcul, ils s'efforcent de le transformer en machine à traduire, puis en font le support de recherches en intelligence artificielle. L'histoire du CETA ayant été bien retracée dans plusieurs articles du point de vue de la linguistique¹⁰⁶, on se contentera ici de la résumer en se focalisant sur sa contribution à l'émergence de recherches en informatique.

Le but principal est de réaliser rapidement des traductions du russe en français, afin de se tenir facilement au courant des publications scientifiques et techniques soviétiques ; on espère des résultats opérationnels en 1965. La croyance dans la faisabilité rapide de la TA se fonde à la fois sur un optimisme technique, sur l'ignorance des informaticiens en matière de linguistique (c'est précisément le projet de TA qui rapproche ces deux milieux) et sur la conviction que les Soviétiques ont une longueur d'avance sur les occidentaux, en matière de TA comme de missiles.

440

On prévoit aussi des recherches appliquées pour mettre au point des outils de traductions d'autres langues. Et des recherches fondamentales en linguistique. Mais il s'agit avant tout de développer une ingénierie linguistique pour faire du CETA une usine de traductions en série, tout comme les centres informatiques débitent du calcul¹⁰⁷. Cette perspective explique la forte représentation de la Défense au comité de direction du CETA (CASDN puis DRME, DEFA, SDECE¹⁰⁸), ainsi que son soutien financier : 25 % du budget total jusqu'en 1967, servant surtout à payer des personnels sous contrat. S'y ajoutent la participation d'autres ministères, un contrat avec l'Euratom et divers contrats du CETA grenoblois avec des organismes de défense transatlantiques (Rand Corporation, US Air Force, OTAN). Les deux équipes participent dès 1960 à tous les congrès organisés en Europe dans leur domaine (AFCAL, IFIP, OTAN, etc.).

Controverses linguistiques et reconversions

Toutefois la tentative de collaboration entre les équipes achoppe bientôt. Les caractères personnels de leurs chefs ne s'accordent pas pour remédier à une division du travail mal conçue entre les deux centres (morphologie / syntaxe), à la différence des modèles théoriques, à l'incompatibilité de leurs ordinateurs – les

¹⁰⁶ Voir C. Boitet, « L'apport de Bernard Vauquois à la traduction automatique des langues naturelles », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., t. 2 ; et H. Zinglé, « Évolution de la traduction automatique de 1947 à nos jours », dans *3^e colloque sur l'histoire de l'informatique*, op. cit. Pour une synthèse sur la TA au CNRS, voir J. Léon, « Les débuts de la traduction automatique en France (1959-1968) : à contretemps ? », *Modèles linguistiques*, 1998, t. XIX, n° 2 ; et « Le CNRS et les débuts de la traduction automatique en France », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2002, n° 6. Pour une synthèse sur la TA dans le monde, W. J. Hutchins (dir.), *Early Years in Machine Translation: Memoirs and Biographies of Pioneers*, Amsterdam, John Benjamins, 2000.

¹⁰⁷ J. Léon, « Les débuts de la traduction automatique en France (1959-1968) : à contretemps ? », art. cit.

¹⁰⁸ Le service de documentation extérieure et de contre-espionnage (rebaptisé DGSE en 1983) a été le premier organisme français équipé d'un ordinateur pour la cryptanalyse.

deux machines, de puissances comparables, sont d'ailleurs beaucoup trop faibles pour traiter les masses d'information nécessitées par une TA opérationnelle. Surtout, le naïf *technoptimisme* du début laisse bientôt place à de cruelles désillusions : la confrontation avec l'ordinateur révèle que la traduction humaine est un processus complexe, subtil, difficilement automatisable. En 1960 la National Science Foundation publie les résultats d'une mission d'évaluation des expériences de TA qu'elle avait confiée à J. Bar-Hillel, un logicien qui critique depuis longtemps la fragilité théorique des projets de TA¹⁰⁹. Le rapport Bar-Hillel fait des ravages dans les budgets de TA outre-Atlantique. La fondation du CETA en France, dans l'ignorance de cette enquête menée ouvertement depuis un an aux États-Unis, donne la mesure du décalage entre les deux pays, en informatique comme en linguistique formelle.

Sestier diffuse le rapport Bar-Hillel et en tire les conclusions avec autant de détermination qu'il avait mis à investir dans la TA : il se retire de l'opération fin 1962 et recentre son équipe sur le calcul et l'analyse numérique¹¹⁰. La plupart de ses chercheurs rejoignent l'enseignement supérieur à travers l'Institut Blaise Pascal : Maurice Gross (X 1955) et Jacques Pitrat (X 1954) passent des doctorats et développeront d'importants travaux théoriques en linguistique formelle et en intelligence artificielle ; Jacques Perriault rejoint avec M. Gross la Section d'automatique documentaire de J.-C. Gardin, puis s'oriente vers les réflexions sur la technique et la communication ; le linguiste Yves Gentilhomme quitte l'IBP en 1965 pour la faculté de lettres de Besançon. Un nouveau coup est porté à la TA par le rapport ALPAC (1966), qui dresse un bilan négatif de dix ans de recherches et conseille de réduire les investissements.

Parallèlement, une autre équipe de TA se forme à l'université de Nancy autour des linguistes Antoine Culioli et Bernard Pottier, utilisant l'IBM 650 du labo Legras. Elle se focalise, non sur des résultats pratiques à court terme, mais sur les problèmes linguistiques posés par la TA, et propage un modèle d'analyse qui sera l'un des enjeux scientifiques de l'éclatement du CETA grenoblois. Elle aussi obtient quelques moyens du CNRS qui l'associera en 1969.

109 Y. Bar-Hillel, « The Present Status of Automatic Translation of Languages », dans *Advances in Computers*, 1960, t. 1, p. 91-163.

110 A. Sestier, « La traduction automatique des langues, mythes et réalités », *Automatisme*, 1961, t. VI, n° 11, p. 445-454. Ce retrait suit immédiatement le congrès IFIP de Munich d'août 1962, « où j'ai été le coordinateur de la session sur la TA, et donné en connaissance de cause une place de choix à un Pr. de l'université de Jérusalem [Bar-Hillel], bien connu pour ses prédictions sur l'impossibilité d'une TA correcte – bien avant que Philippe Meyer, sur France-Inter, ne prenne la TA pour cible ! » (lettre d'A. Sestier à l'auteur). M. Gross, devenu linguiste, conclura lui aussi à l'impossibilité d'une véritable TA et plus généralement de l'intelligence artificielle : toutes deux reposent en effet sur le fragile postulat que, si une activité peut être effectuée par un cerveau humain, elle est simulable par un cerveau électronique après une étape de formalisation. La difficulté essentielle est justement dans cette formalisation.

Le CETA se confond désormais avec l'équipe grenobloise devenue laboratoire propre du CNRS. Son approche est fondée sur la mise au point d'un « langage-pivot », intermédiaire entre les langages source et cible. Vauquois travaille à partir de l'hypothèse de l'analogie entre traduction et compilation, ce qui le place au cœur des problèmes de programmation – en cohérence avec sa participation de la première heure au groupe international Algol. Cette stratégie scientifique repose sur une approche de « 2^e génération », assez neuve pour que les Français n'aient qu'un faible retard à combler : la 1^{ère}, pratiquée depuis les années 1950 à Georgetown, ne vise qu'une traduction mot à mot rudimentaire sans grand intérêt scientifique ; la 3^e, nécessitant des études préalables de sémantique et repoussant toute réalisation à un avenir lointain, paraît « irréaliste et prématurée ». En se concentrant sur les aspects syntaxiques de l'analyse et de la génération de phrases, on peut espérer des résultats probants et féconds. En 1971, le CETA parviendra à un taux de 50 à 75 % de phrases traduites sans erreur, résultat jugé insuffisant par le CNRS qui mettra fin à l'expérience.

Du point de vue de la politique scientifique, l'histoire du CETA peut s'interpréter comme le récit de l'exploration d'une impasse, maintenue par le jeu des financements publics et du consensus dans les commissions, malgré l'échec de son ambition pratique¹¹¹. Ou comme l'histoire d'une voie féconde par la formation de compétences pour la programmation, les recherches en linguistique,

Processus de compilation

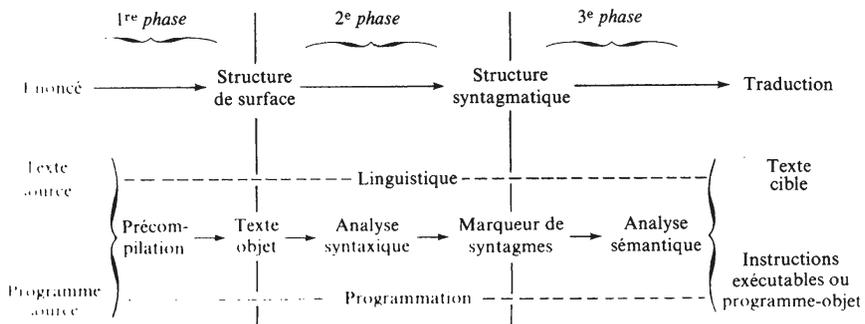


Figure 42. Convergence des théories de la linguistique et de la programmation

Percevoir des structures communes à des phénomènes différents est une démarche fondatrice de la recherche en informatique, ainsi la similitude entre « texte source » et « programme source » schématisée ici (René Moreau, *Introduction à la théorie des langages*, Paris, Hachette, 1975, p. 45).

¹¹¹ Ainsi M. Gross décrit la TA comme la rencontre entre une forte demande politique et des informaticiens ou des linguistes qui veulent explorer ce domaine en sachant que les risques d'échec sont élevés – une situation « où technologie et vœux pieux interagissent fortement » (M. Gross, « Quelques éléments de l'histoire de la traduction automatique », *Actes du 5^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., p. 111).

en intelligence artificielle, en informatique documentaire, en communication homme-machine. Disciplines désormais associées dans ce que l'on appellera plus modestement le traitement automatique des langues. C'est aussi l'un des premiers exemples de vraie collaboration entre sciences humaines et sciences pour l'ingénieur, dans le cadre du CNRS qui les englobe. Enfin l'importance maintenue de la traduction automatique, des questionnements et des croisements qu'elle induit, singularise la recherche informatique française en Europe.

Qu'elle aboutisse à des résultats pratiques ou non, l'entreprise de TA met en relation deux activités jusque-là distantes : l'emploi des ordinateurs et la linguistique. Pour collaborer, trouver un vocabulaire et des concepts communs, ces deux activités doivent se placer à des niveaux théoriques élevés, où ils rencontrent la logique mathématique et l'algèbre¹¹². Ce qui les conduit à se redéfinir dans le cadre d'un ensemble théorique en amont de la programmation. La linguistique formelle constitue donc à son tour un « agenda », un programme de recherches parallèle à celui de l'analyse numérique. Au même moment, les praticiens de l'informatique se heurtent aux limites de l'empirisme et ressentent le besoin d'un cadre conceptuel rigoureux, pour développer des systèmes comme pour former des informaticiens. Dynamique des sciences et demande sociale se rejoignent donc pour faire de l'informatique une discipline académique.

c. La circulation des concepts : Schützenberger et la théorie de l'information

D'autres trajectoires conduisent, au milieu des années soixante, à la rencontre des problèmes posés par la pratique des ordinateurs avec des questionnements essentiellement mathématiques, parfois bien loin du calcul numérique. Des travaux sur la théorie de l'information ont été menés depuis l'après-guerre, d'abord pour modéliser le comportement de l'information dans les circuits de télécommunications. On a mentionné plus haut les travaux d'ingénieurs français de Thomson et de LCT.

¹¹² Cette rencontre est brièvement décrite, par exemple, dans l'introduction de J.-M. Autebert, *Théorie des langages et des automates*, Paris, Masson, 1994, 179 p. (J.-M. Autebert a lui-même été formé, comme J. Berstel, dans le groupe Schützenberger-Nivat qu'il a dirigée ensuite à Paris VII) : la théorie des langages formels est née d'une tentative de modélisation des langues naturelles. Son adéquation à la description des langages de programmation a entraîné son développement très rapide. Elle a connu une expansion considérable quand on s'est aperçu que ses concepts (langages algébriques, arbres, grammaires, dérivation, automates à pile) « sont à la base de tous les algorithmes d'analyse syntaxique, et par conséquent des compilateurs » – eux-mêmes nécessaires pour programmer en langage évolué, donc pour rendre plus efficace l'emploi des ordinateurs. « Outre cette éclatante réussite », la théorie des langages a des implications dans de nombreux domaines informatiques où elle rencontre les machines de Turing, la complexité algorithmique et la théorie de la calculabilité. Elle constitue l'un des fondements de l'informatique. L'école française en ce domaine est reconnue mondialement.

La théorisation est poussée plus haut par Marcel-Paul Schützenberger. Personnage très original au savoir encyclopédique, considéré comme l'un des fondateurs de l'informatique théorique sur le plan mondial, Schützenberger a été résistant, communiste, médecin et statisticien à l'OMS, mais il est mathématicien par nature et par destination¹¹³.

« Tous ses travaux, observe Arsac, prennent pour départ des problèmes concrets, mais sont conduits comme des recherches en mathématiques dont ne sont pas absentes les considérations esthétiques. » Schützenberger a passé en 1951 une thèse dirigée par Darmois sur les *Applications statistiques de la théorie de l'information*, dont il est l'un des premiers spécialistes français. Recruté au CNRS, il est devenu ensuite turbo-prof de statistiques à Poitiers. D. Perrin signale que le point de départ du travail de Schützenberger en informatique théorique est la théorie des codes à longueur variable, esquissée dès 1955 dans « Une théorie algébrique du codage », texte qui contient déjà nombre d'idées de son œuvre future sur les automates¹¹⁴.

444

Ce parcours intellectuel est jalonné par ses séjours et ses rencontres aux États-Unis : en 1956, il passe une année au MIT auprès de Shannon et participe au *workshop* organisé par McCarthy, où se définit le projet d'intelligence artificielle (que Schützenberger dénoncera toute sa vie comme utopique) ; en 1961, il est invité à Chapel Hill (North Carolina) par Chandra Bose qui vient de concevoir, avec Ray-Chaudhury, la famille des codes correcteurs d'erreur qui portent leurs noms associés à celui de Hocquenghem (codes BCH) ; revenu au MIT en 1961, il perçoit que ses travaux d'algèbre recourent ceux de Noam Chomsky sur les grammaires génératives (projet de formaliser les langages) et publie avec Chomsky un article sur la théorie algébrique des langages, qui fournit un outil puissant pour décrire les langages de programmation.

C'est seulement en 1963 qu'il commence à enseigner officiellement dans des centres où l'informatique se développe : Toulouse et surtout Paris où il rejoint l'Institut Blaise Pascal comme directeur de recherche au CNRS, avant d'être élu l'année suivante à la faculté des sciences. Le fait que des notices nécrologiques publiées en 1996 lui attribuent dès 1964 une chaire « d'informatique théorique » (intitulé impensable à l'époque) est factuellement erroné, mais exprime une

113 On trouve sur Internet de vibrants hommages rendus à Schützenberger après la mort de ce terrible fumeur. Parmi d'autres, A. Lichnérowicz, « M.-P. Schützenberger : Informaticien de génie, esprit paradoxal et gentilhomme de la science », *La Recherche*, octobre 1996, n° 291.

114 M. Lothaire (D. Perrin, protonotaire), *Mots. Mélanges offerts à M.-P. Schützenberger*, Paris, Hermès, 1990. Schützenberger avait déjà publié des « Remarques sur un problème de codage binaire », *Publications de l'Institut de statistique de l'université de Paris*, t. 2, 1953, p. 125-128. Son étude sur le codage est présentée au séminaire d'algèbre de Paul Dubreil.

vérité... en devenir¹¹⁵. Schützenberger dirige à l'IBP un groupe de recherche « Traitement de l'information non numérique en algèbre appliquée » (théorie des codes, des automates et compilateurs, langages formels, etc.) et anime un séminaire hebdomadaire sur ces thèmes, attirant des chercheurs de divers horizons qui produisent bientôt thèses et publications. Retenons en particulier quatre traits de ce profil intellectuel :

- On est très loin de l'analyse numérique et du calcul électronique : avec Schützenberger apparaît en France une micro-circulation de concepts entre les mathématiques pures et l'informatique.
- Concernant les relations entre mathématiques et technique, Schützenberger voit dans les applications « une source extérieure de théorèmes et d'intuitions de techniques de preuve pouvant être utilisées pour le progrès de la science mathématique, en supplément des motivations internes que fournit la structure, le mouvement même de cette science »¹¹⁶. « L'informatique ne l'a vraiment intéressé que comme un moyen pour faire de bonnes mathématiques : d'abord comme source de phénomènes et de problèmes nouveaux, ensuite comme instrument d'investigation, pour mettre ses conjectures à l'épreuve par des calculs à grande échelle »¹¹⁷. C'est donc une conception schématiquement assez proche de celle de Lions et à l'opposé de l'idée de « science appliquée » : chez lui, c'est la technique qui se justifie par les problèmes intellectuels nouveaux qu'elle offre à la science. Faut-il préciser qu'à ses yeux, l'informatique est d'ordre technique et n'est évidemment pas une « science »¹¹⁸ ?
- Sans jamais s'occuper d'ordinateurs, Schützenberger a établi les principes fondamentaux de la génération de langages de programmation et de leur compilation (l'ensemble des mots que l'on peut écrire avec un alphabet donné peut être décrit comme un demi-groupe ou « monoïde libre »). À l'époque où il commence à collaborer avec l'IBP, Schützenberger montre qu'une catégorie abstraite d'automates, les automates à piles, constitue « en quelque sorte l'algorithme universel de compilation ». Associée aux idées véhiculées par Algol, cette démonstration influence, dans l'industrie, plusieurs architectes d'ordinateurs qui s'efforcent d'orienter en conséquence l'évolution des machines (SEA, SETI)... d'ailleurs sans succès.

¹¹⁵ Schützenberger est d'abord professeur sans chaire. Il fait un cours « Automates et codages » au niveau DEA, dès 1964, et assure avec Mme Dubreil un certificat d'« Algèbre appliquée à l'informatique » en maîtrise de Physique.

¹¹⁶ M.-P. Schützenberger, *Discours de réception à l'Académie des sciences*, 1988. M.-P. Schützenberger publie parfois ses travaux théoriques dans des revues techniques où ils auront un impact certain, notamment « On context-free languages and push-down automata », *Information and Control*, 1963, t. 6, p. 246-264.

¹¹⁷ J.-F. Perrot « M.-P. Schützenberger (1920-1996) ».

¹¹⁸ Entretien avec M.-P. Schützenberger, 1987.

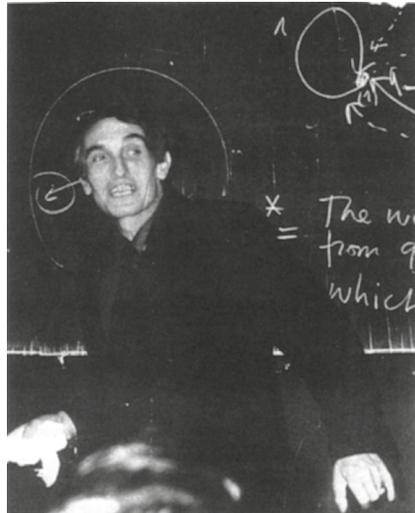
– La rencontre de ses théories avec l’informatique est progressive. En 1962 encore, R. de Possel considère que la théorie de l’information concerne les télécommunications, non les machines de traitement de l’information où ce terme a un autre sens ; en revanche la logique mathématique trouve dans ces machines, pour la première fois de son histoire, un domaine d’application hors de la littérature : logique et structures algébriques peuvent se décrire mutuellement, formant un cercle vertueux, et doivent entrer dans la formation des concepteurs comme des utilisateurs d’ordinateurs, car elles offrent une compréhension fondamentale des problèmes linguistiques (qu’il s’agisse de traduction automatique ou de programmation), comme des problèmes de documentation, de tri de données ou de reconnaissance de formes¹¹⁹. Plus tard, Arzac qui a connu Schützenberger en 1964, note rétrospectivement que :

Mes relations scientifiques avec Marco furent d’abord distantes. Nous avions des domaines de recherche sans guère de points communs. Marco était un théoricien, j’étais un praticien. Je ne comprenais pas grand’chose aux mathématiques qu’il étudiait, je ne voyais pas encore l’importance de la théorie des grammaires formelles qu’il développait avec Noam Chomsky. De son côté, Marco trouvait fort bien que l’on écrive des systèmes d’exploitation ou que l’on crée de nouveaux langages de programmation, mais notre empirisme ne lui fournissait guère matière à réflexion.

Cependant, le mouvement de la science ne pouvant s’effectuer sans une formalisation fondée sur les mathématiques, « il était fatal que nos efforts, si éloignés soient-ils au début, finissent par converger »¹²⁰.

Figure 43. M.-P. Schützenberger :
le seul cybernéticien que les
informaticiens prennent au sérieux.

L’aura de Schützenberger auprès de ses disciples apparaît dans la dédicace de la thèse de Perrot, qui reprend l’apostrophe de Dante à Virgile : *Tu duca, tu signore e tu maestro*. Cet anarchiste au pouvoir intellectuel rayonnant décide malheureusement, après mai 68, de ne plus former d’élèves (photo prise sans doute au congrès IFIP 1965, New York).



¹¹⁹ R. de Possel, « Présentation du Colloque International de Mathématiques », *Annales de la faculté des sciences de l’université de Clermont*, 1962, vol. 7, n° 1, p. 9-13.

¹²⁰ J. Arzac, « Mon maître Schützenberger », art. cit.

d. Algol : du langage scientifique à la « science informatique »

Le caractère à la fois formalisateur et appliqué de ce qu'on appelle alors la « recherche » en informatique est bien illustré par le développement d'Algol, effort euro-américain pour définir un langage de programmation universel et rigoureux.

Les premiers outils de programmation (codes machine, assembleurs, etc.) ont été développés à partir des caractéristiques matérielles des ordinateurs, en essayant de les adapter de mieux en mieux à l'utilisateur humain et d'automatiser certaines fonctions. Les langages évolués, à commencer par Fortran, ont ensuite apporté aux programmeurs un confort d'utilisation et une productivité inédits – Fr. Genuys se rappelle le sentiment d'émerveillement suscité par l'initiation à Fortran, chez IBM France en 1957, et par la découverte que l'on pouvait communiquer avec une machine dans un dialecte presque humain. Mais ces langages restaient liés à la structure de chaque type d'ordinateur.

Cette démarche empirique commençait à montrer ses limites à la fin des années cinquante. D'où la recherche d'une approche diamétralement opposée : partir du mode de raisonnement le plus rigoureux, les mathématiques, pour concevoir *in abstracto* un langage de haut niveau que l'on adapterait ensuite aux machines.

Algol fut élaboré dans cet esprit à partir de 1958 par un comité de mathématiciens européens et américains, universitaires pour la plupart¹²¹. Du même coup, il répondait à deux autres exigences : – l'indépendance vis-à-vis des constructeurs, alors que Fortran était encore fortement identifié à IBM et lié à l'architecture de l'IBM 704 ; – une standardisation (que l'on cherchait simultanément en spécifiant COBOL) visant à faciliter la « portabilité » des programmes d'applications d'un ordinateur à un autre, indépendamment des particularités des machines, donc à économiser sur le coût de la (re-)programmation.

Le but principal était de dégager la programmation des « recettes de cuisine »¹²² logicielles et de trouver des bases théoriques permettant de progresser. Algol est vite allé au bout de cette démarche en se situant à l'interface de l'analyse

¹²¹ Le groupe Algol a commencé par être une coopération informelle entre les associations américaine (ACM) et allemande (GAMM), puis est devenu un groupe de travail de l'IFIP. Sur l'histoire d'Algol, voir notamment le traité classique de J. Sammet, *Programming Languages: History and Fundamentals*, *op. cit.*, p. 172-215 ; puis les colloques initiés par elle, *History of Programming Languages Conference* (HOPL), ACM SIGPLAN, 1978, et HOPL-II en 1993. En français, voir R. Moreau, *Ainsi naquit l'informatique*, *op. cit.*, p. 208-216 ; et « Libres questions à Niklaus Wirth, inventeur du langage Pascal », *o.1. Informatique*, mai 1979, p. 107-112.

¹²² Cette expression revient souvent dans les témoignages. C'est notamment ainsi que G. Jobert, directeur scientifique en charge des mathématiques appliquées au CNRS dans la seconde moitié des années soixante, considérait les premiers travaux français d'analyse numérique tels ceux de Mineur.

numérique, de la linguistique chomskienne et de la conception des ordinateurs : proche du raisonnement algébrique, éliminant verbiage et ambiguïtés dans les instructions, répondant aux exigences logiques et esthétiques des mathématiciens, il doit pouvoir décrire clairement tout algorithme.

Le groupe Algol se réunit à Paris en janvier 1960 avec le soutien financier d'IBM Europe, puis chez Bull¹²³, et définit une version améliorée, Algol 60. Son influence va bien au-delà de la création d'un outil de programmation. Son apport essentiel, durable, est une définition syntaxique formelle d'un langage et la publication d'un rapport bien diffusé, « fournissant pour plusieurs années un cadre formel aux langages de programmation, notamment grâce à une définition rigoureuse de la syntaxe »¹²⁴. Ce faisant, il ouvre les voies d'un véritable programme de recherche visant globalement à exploiter plus rationnellement les ordinateurs : il faut à la fois perfectionner Algol (ce qui implique des réunions internationales régulières pour valider les modifications afin de préserver son universalité), concevoir et rédiger des compilateurs Algol pour expérimenter son emploi et former des spécialistes, écrire des programmes d'application qui fonctionneront avec ces compilateurs et amélioreront le calcul scientifique. Sur un plan plus fondamental, cela conduit à étudier les méthodes de définition de langages et d'expression des algorithmes. À l'horizon de ses versions futures, on espère dépasser Algol et les autoprogrammations pour donner naissance à de nouveaux procédés de programmation. C'est le cadre où émerge une discipline nouvelle, l'algorithmique. Et c'est seulement alors que les informaticiens peuvent vraiment intégrer les travaux de Turing sur la calculabilité.

448

Tous les centres de recherche français en « calcul », publics et privés, s'investissent dans Algol : on l'enseigne, on écrit des compilateurs et des programmes, on en tire des réflexions méthodologiques ; à Grenoble, l'IMAG lui consacre un *Manuel pratique*¹²⁵ ; à Lille, on en dérive un langage symbolique « APB » pour faciliter les travaux pratiques de programmation des étudiants. Les Français, tout en jouant honorablement leur partie, n'apporteront pas de contribution fondamentale à la hauteur de la notation Bacchus-Naur ou de l'article de Dijkstra sur la récursivité – concept essentiel pour la compilation.

123 F. Genuys, J. Poyen et B. Vauquois « Rapport sur le langage algorithmique Algol 60 », *Chiffres*, 1960, n° 3, 45 p. Il s'agit de la traduction de l'exposé de A. J. Perlis et K. Samelson sur le projet Algol, initialement publié dans *Numerische Mathematik* (1959, Bd. 1, S. 41, 60). Bull adopte Algol.

124 R. Moreau, *Ainsi naquit l'informatique*, op. cit., p. 210. Le groupe Algol est alors composé notamment de F. Bauer (Munich), H. Rutishauser, K. Samelson (Zurich), P. Naur (Danemark), B. Vauquois (France), M. Woodger (GB), J. Backus et A. Perlis (USA) ; participent aussi aux réunions F. Genuys (IBM France), F. Sallé et H. Leroy (Bull), L. Bolliet (IMAG), etc.

125 L. Bolliet, N. Gastinel, P.-J. Laurent, *Un nouveau langage scientifique : Algol 60. Manuel pratique*, Paris, Hermann, 1964.

Mais, tout aussi important de notre point de vue, ce programme nécessite des réunions régulières et constitue bientôt une véritable communauté.

Le séminaire d'analyse numérique animé par François Genuys, à l'Institut d'Astrophysique de Paris, se recentre à partir de 1960 sur les langages de programmation. Genuys (ENS 1946) est un professeur de mathématiques qu'IBM France a recruté en 1957 pour assurer les relations entre son centre de calcul et le milieu scientifique, et qui s'est passionné pour les langages de programmation dès son premier stage Fortran. Il relie cet intérêt à son goût profond pour Bourbaki. Genuys retrouve en effet dans les langages l'esprit affirmé dès le premier volume de Bourbaki : les mathématiques sont un langage formel¹²⁶. Les séminaires parisiens de Genuys et de Schützenberger constituent donc des points de communication entre les mathématiques pures et l'informatique, sans équivalent dans les autres universités françaises.

Esprit clair et diplomate attentif, Genuys organise plusieurs réunions Algol et participe à la diffusion d'Algol parmi les informaticiens, y compris dans son cours d'analyse numérique à la faculté des sciences et à l'Institut de programmation. Il représente l'AFCALTI au comité IFIP TC2 (*programming languages*).

Parallèlement, Genuys organise avec Jean Abadie (EDF) des écoles d'été financées par l'OTAN, qui contribuent elles aussi à créer une communauté et à intégrer les informaticiens français dans un réseau international. L'OTAN fournit environ 100 000 F pour chaque réunion, somme rondelette à l'époque, permettant d'inviter une trentaine de chercheurs de l'industrie ou du monde universitaire et de publier des actes.

Lieu de formation et de discussions, son séminaire attire des physiciens, des astronomes, des logiciens aussi bien que des mathématiciens compromis dans la programmation – une dizaine de personnes par séance. Comme l'ordinateur, le langage Algol fournit donc un sujet commun, des problèmes, des projets qui rassemblent des spécialistes venus de différents environnements professionnels, dans une dimension naturellement internationale – de ce point de vue aussi, Algol profite de l'existence préalable d'une communauté européenne des « numériciens ». En retour, il contribue à convertir à la programmation évoluée les spécialistes du calcul, parfois assez dubitatifs envers ce nouveau moyen d'expression coûteux en performances.

¹²⁶ Pour les mêmes raisons, F. Genuys est enthousiasmé par la démarche d'un Chomsky et par les idées sous-jacentes de LISP. Dans un domaine voisin, Genuys remplace Cl. Berge chaque fois que celui-ci, malade, ne peut assurer son séminaire de théorie des graphes. Il poursuivra toute sa carrière chez IBM France et IBM Europe.

Simultanément, quatre chercheurs de l'IBP, familiers du séminaire, rédigent ensemble un traité, *Algol, théorie et pratique*¹²⁷. Le fait que deux de ses quatre auteurs sont normaliens ne nuit pas à la légitimation de ce domaine de recherche. Au-delà de l'objectif pédagogique affiché, ils ambitionnent de dissiper la confusion entre syntaxe et sémantique qui caractérise les manuels d'alors : il faut définir non seulement la syntaxe du langage (qui caractérise sa rigueur, donc la fiabilité des opérations), mais aussi sa sémantique (qui caractérise sa puissance d'expression). Le livre propose « une théorie bien construite » sur le modèle de l'arithmétique, fondée sur un petit nombre de concepts primitifs, à partir desquels on forme des notions dérivées. Il souligne l'équivalence entre la nouvelle notion de *procédure* et la notion de *fonction* en mathématiques. En germe, c'est l'idée d'une informatique théorique distincte des mathématiques appliquées.

450

Algol est implémenté sur divers modèles d'ordinateurs au cours des années soixante et a été adopté au plan mondial par l'IFIP : après la promulgation d'Algol 60, le groupe spécialisé de l'IFIP s'attelle à la définition d'un successeur officiel, les auteurs d'Algol 60 se trouvant évidemment bien placés pour apprécier les qualités et les défauts du langage d'origine. Mais il ne bénéficie pas d'un soutien comparable à celui qu'apportent IBM et ses clients à Fortran, ou l'administration américaine à Cobol. De plus, ses qualités mêmes (récursivité) le rendent gourmand en mémoire, ressource rare et chère sur les ordinateurs d'alors. Son principal défaut, outre qu'il est inadapté aux applications de gestion, est que ses auteurs ont refusé de considérer la question des entrées / sorties, pour ne pas le lier à un type d'ordinateur (cette réticence aurait moins lieu d'être aujourd'hui, étant donnée la standardisation des I/O). Il subit la concurrence de nouvelles versions de Fortran, améliorées et plus universelles, et de PL/1 développé chez IBM, qui résulte de la même recherche de rigueur mais tient plus compte des nécessités pratiques d'exploitation des ordinateurs.

La tentative d'une refondation sous le nom d'Algol 68 divisera la communauté Algol (les minoritaires suivront N. Wirth et son projet de langage Pascal, les majoritaires édifieront un chef d'œuvre sémantique) et achèvera de lui donner l'image d'une construction théorique intéressante pour l'enseignement

127 J. Arsac, A. Lentin, L. Nolin, M. Nivat, *Algol, théorie et pratique*, Paris, Gauthier-Villars, 1965. Cet ouvrage est le premier d'une collection « Programmation » créée par Louis Nolin chez cet éditeur pour publier les cours de l'Institut de programmation ; M. Gross et A. Lentin y publient ensuite leurs *Notions sur les grammaires formelles* (préf. de N. Chomsky). Gauthier-Villars est l'éditeur établi des *Annales de l'Institut Henri Poincaré*.

fondamental, mais impraticable dans l'industrie¹²⁸. Nouvelle tension, qui est au cœur du problème toujours actuel du *software engineering* : les maîtres veulent enseigner un langage pour ses qualités intrinsèques d'efficacité, les élèves veulent apprendre ceux qu'ils croient adaptés à telle famille de machines ou d'utilisations.

Algol a néanmoins une influence sur l'architecture de certains ordinateurs (machines-langages à piles câblées de Burroughs et CAB 1500 de la SEA), sur l'écriture de software de base en langage évolué, sur la conception de nouveaux langages et surtout sur la formation universitaire des informaticiens, en France et dans d'autres pays européens : Algol lui-même, ou d'autres langages inspirés des mêmes principes (Pascal), seront longtemps enseignés. L'exemple le plus connu de la fécondité d'Algol comme programme de recherche est sans doute le parcours d'Alain Colmerauer, ingénieur ENSIMAG puis chercheur CNRS formé par la compilation d'Algol 60 sous la direction de Kuntzmann et de Bolliet, qui dix ans plus tard inventera une algorithmique profondément nouvelle et concevra le langage Prolog.

Le CNRS investit dans Algol en y consacrant une « Recherche coopérative sur programme ». Une RCP est une formule de cofinancement par la direction du CNRS et par la commission concernée du Comité national. Ce mode d'action permet, avec des moyens limités, attribués par contrats, de soutenir un thème jugé prioritaire en facilitant les collaborations entre équipes et l'éclosion d'une communauté scientifique : commençant par un appel d'offres, une RCP fait apparaître un marché des compétences dans son domaine. Lancée en 1963, la RCP 30 « Études d'analyse numérique et de programmation », dirigée par Jean Kuntzmann, fédère et finance les recherches initiées dans diverses équipes sur les méthodes de calcul et les langages de programmation, notamment Algol. Cette action aboutit en 1967 à la publication d'un ouvrage collectif, *Procédures Algol en analyse numérique*, exposant une centaine de procédures et d'algorithmes, élaborés et testés, utilisables pour résoudre diverses équations courantes dans la recherche scientifique et technique. C'est du développement d'instruments scientifiques, réparti et coordonné entre tous les laboratoires français compétents¹²⁹. Des instruments scientifiques implémentés en instructions symboliques et non plus en engrenages ou en circuits électriques.

¹²⁸ L. Trilling, « ALGOL 68, une culture informatique perdue ? », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit., vol. 1, p. 447-453. L'une des étapes est la réunion du groupe ALGOL WG 2.1 en 1965 à St-Pierre de Chartreuse.

¹²⁹ RCP 30, J. Kuntzmann (dir.), *Procédures Algol en analyse numérique*, Paris, CNRS Éditions, 1967, 324 p. Un 2^e volume paraîtra en 1971.

Tableau 22. La RCP 30 : répartition géographique des contributions

Sous-thèmes	Responsable	Besançon	Clermont	Grenoble	Lille	Nancy	Paris	Toulouse	Total
Algèbre linéaire, Systèmes linéaires	Bonnemoy, Clermont	1	0	9	2	0	1	0	12
Algèbre linéaire, Calcul d'éléments propres	Rigal, Besançon	4	0	4	0	3	4	0	11
Résolution d'équations algébriques	Lagouanelle, Toulouse	0	0	4	0	1	0	6	11
Équations intégrales & différentielles	Pouzet, Lille	0	0	0	6	0	0	0	6
Calculs d'intégrales	Legras, Nancy	0	0	3	0	7	0	0	10
Approximations	Laurent, Grenoble	0	0	12	0	0	0	0	12
Probabilités & fonctions spéciales	Hennequin, Clermont	0	5	1	0	0	2	0	8
Total		5	5	33	8	11	7	6	76

On compte une contribution étrangère (Amérique du Sud, Approximations), donnant lieu à une communication à l'ACM en 1962. Les équipes les plus impliquées sont dans des centres à forte dominante mathématique.

452

Les travaux sur Algol débouchent donc à la fois sur des recherches appliquées aux méthodes et aux instruments de calcul et sur des réflexions théoriques associant la logique mathématique, la linguistique et l'algèbre, explorant des impasses et des voies fécondes, rebondissant vers de nouveaux développements comme l'algorithmique.

e. Les premières thèses

Attirant des étudiants, suscitant des thèses, l'informatique se constitue progressivement en champ scientifique autonome. Les quelques enseignements qui existent vers 1960 contiennent schématiquement 50 % d'analyse numérique, de proba-stat et de recherche opérationnelle, 30 % de Fortran et d'Algol, 20 % d'une mixture où l'on trouve, selon les endroits, les tores de ferrite, l'algèbre de Boole, la théorie des automates, la structure des machines, etc.¹³⁰. Ensuite s'imposent, dans l'enseignement spécialisé et surtout dans les sujets de recherche, les langages et les outils de programmation (théorie des langages, compilation). Puis, dans la seconde moitié des années soixante, les systèmes : systèmes temps réel, évaluation de performances, méthodologie et fiabilité qui débouchent sur le génie logiciel dans la décennie suivante.

Les premières thèses de 3^e cycle ou de docteur ingénieur traitant des sujets proprement informatiques (programmation, documentation ou traduction automatique), non plus de calcul, sont soutenues au début des années 1960. Sans doute une partie d'entre elles sont des travaux essentiellement techniques, portant par exemple sur l'architecture ou la technologie de machine ou sur

¹³⁰ J. Hebenstreit, « Informatique et enseignement », *La Vie des sciences, comptes rendus de l'Académie des sciences*, Paris, Gauthier-Villars, série générale, t. 1, 1985, p. 381-398.

la programmation optimale (comment arranger un programme pour que la lecture des instructions coïncide avec une rotation du tambour magnétique afin de gagner un cycle), et ont de ce fait une durée de vie scientifique d'autant plus brève que le progrès des machines est rapide. Mais il faut bien commencer. Algol (compilation, syntaxe, extensions) fait l'objet d'au moins 11 thèses soutenues entre 1964 et 1968, 9 entre 1969 et 1973.

Au milieu des années soixante apparaissent des thèses d'État. Si l'analyse numérique continue d'être un sujet considérable, d'autres thèmes émergent¹³¹. D'une part, quelques étudiants et jeunes chercheurs (plusieurs à Toulouse, un à Lille) consacrent leurs thèses à la conception des ordinateurs qu'ils ont contribué à réaliser dans ces universités. La plus importante sera la thèse d'État de R. Beaufils¹³².

D'autre part, des travaux de plus en plus nombreux représentent un élargissement conceptuel dans la mesure où ils se rattachent, non à l'analyse numérique qui était jusqu'ici la principale discipline en amont du « calcul électronique », mais plutôt à la théorie de l'information, à l'algèbre, aux probabilités & statistiques, à la théorie des graphes (Paris et Nancy notamment), à la logique ou aux théories récentes en linguistique. En 1963, patronné par Ville et Schützenberger, Cl. Picard présente à l'Institut Blaise Pascal une thèse de doctorat sur la « théorie des questionnaires », qui établit un lien entre les théories de l'information, des graphes et du codage et débouche à la fois sur les codes correcteurs d'erreurs, l'optimisation de la structure des machines et les méthodes de tri en documentation automatique, sujet d'une deuxième thèse¹³³. L'année suivante J.-Cl. Boussard soutient à Grenoble une thèse d'État de « sciences appliquées » sur la compilation d'Algol ; en 1965 Cl. Pair, qui a eu lui aussi la révélation par Algol de la possibilité d'une informatique formalisée, soutient à Nancy une thèse d'État sur la notion de pile (essentielle pour traduire de façon opératoire le concept de récursivité, transféré de la logique à la programmation dans le contexte des réflexions sur Algol). Issus du laboratoire central de l'Armement, J. Pitrat soutient en 1966 une thèse d'État en mathématiques sur un démonstrateur de théorèmes et de méta-théorèmes (première thèse française sur

131 Laissons de côté la question métaphysique de savoir quelle fut la « première thèse en *computer science* »...

132 R. Beaufils, *Étude et réalisation d'un système informatique destiné à l'enseignement*, Toulouse, thèse d'État, 1970. Malgré ce titre très explicite, elle est encore répertoriée en « Mathématiques ».

133 C'est ainsi que Ville résume ce travail dans sa lettre annexée au CV de Picard en 1965, ainsi que dans sa préface à la thèse publiée : Cl. Picard, *Théorie des questionnaires*, préf. de J.-A. Ville, Paris, Gauthier-Villars, 1965.

l'intelligence artificielle)¹³⁴ et M. Gross, proche de Lentin et de Schützenberger, travaille sur les grammaires formelles et passe à la Sorbonne un doctorat de troisième cycle en 1967, un doctorat d'État deux ans plus tard¹³⁵. À la suite de Gross et de Pitrat, l'équipe de l'IBP attire un petit flux régulier de chercheurs, notamment de jeunes polytechniciens qui, orientés par J.-L. Lions, viennent y préparer des doctorats¹³⁶.

D'autres thèses vont dans le même sens, comme celle de Louis Bolliet en 1967 (*Notation et processus de traduction des langages symboliques*), celle d'Alain Colmerauer la même année, toutes deux soutenues à Grenoble. La thèse de Maurice Nivat, soutenue à l'IHP en 1967, et celle de Michael Griffiths, soutenue en 1969 à Grenoble, sont parmi les premières thèses d'État en informatique¹³⁷. Les doctorats d'État, qui permettent d'être candidat à un poste de professeur, se multiplient à la fin des années soixante.

454

Ces domaines, numériques ou non, relèvent pour la plupart de diverses branches des mathématiques, parfois de la linguistique. Mais ils ne prennent un tel développement qu'en réponse, soit aux besoins techniques nés de l'emploi des ordinateurs, soit aux possibilités nouvelles de traitement ouvertes par la puissance des ordinateurs, soit au fait que les ordinateurs et leur programmation posent des problèmes fondamentaux de méthode ou de modélisation – problèmes qui sont intéressants en eux-mêmes, comme les objets mathématiques, mais où l'expérimentation joue un rôle complémentaire du raisonnement abstrait.

Tandis que d'autres (sous-)disciplines se développent à partir d'un tronc commun par embranchement et spécialisation, l'informatique se constitue donc en rassemblant des problèmes et des approches issus de plusieurs disciplines.

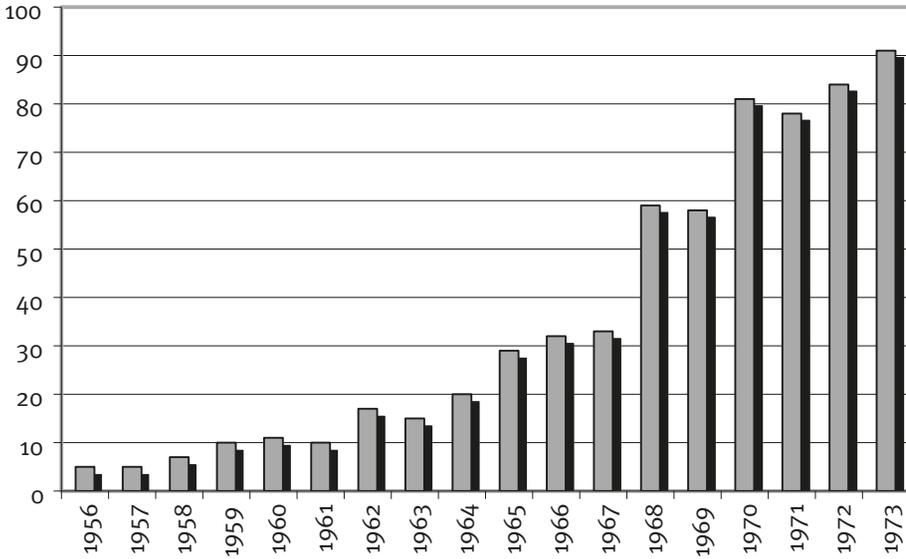
¹³⁴ J. Pitrat, *Réalisation de programmes de démonstration de théorèmes par des méthodes heuristiques*, Paris, faculté des sciences, 1966. Le jury comprend Arzac, de Possel et Ville (directeur de thèse).

¹³⁵ Le livre de Gross et Lentin, *Notions sur les grammaires formelles*, préfacé par Noam Chomsky, a un grand retentissement. Ces savoirs nouveaux circulent rapidement : Gross et Lentin les enseignent partout où on les invite — Centre de linguistique quantitative créé à la Sorbonne par le Pr. Favard, Institut de programmation et chaire d'analyse numérique de J.-L. Lions (3^e cycle), chaire de Physique mathématique de Laudet à Toulouse (niveau DEA), université de Pennsylvanie, etc. Lentin est le gendre du linguiste Marcel Cohen.

¹³⁶ C'est notamment le cas d'A. Bensoussan (X 1960) et de R. Glowinski (X 1958). Jean-François Perrot (X 1961), cherchant un directeur de thèse, rejoint en 1964 M. Gross et M. Nivat pour travailler en informatique théorique avec Schützenberger (théorie des automates, puis langages de programmation et intelligence artificielle). Il mènera sa carrière comme enseignant-chercheur à l'université de Paris 6, devenant notamment directeur du LAFORIA.

¹³⁷ Respectivement M. Nivat, *Transduction des langages de Chomsky*, Ann. Inst. Fourier, Grenoble, 1968, n° 18, p. 339-455 ; et M. Griffiths, *Analyse déterministe et compilateurs*, Grenoble, 1969. Michael Griffiths, formé à Oxford, a été attiré par Bolliet à Grenoble.

Tableau 23. Nombre de thèses soutenues en calcul numérique et informatique (1956-1973)



Notre recensement englobe tous les types de thèses : d'État, de 3^e cycle, d'ingénieur-docteur, d'université. D'une dizaine annuelle au début des années 1960, on passe à une soixantaine en 1968-1969 et l'on dépasse les 80 au début des années 1970 (voir détail des thèses en annexe). Le nombre de docteurs est un peu moins élevé que le nombre de thèses. C'est le « vivier » dans lequel se recrutent les enseignants, les chercheurs et une part croissante des ingénieurs en informatique de l'industrie.

Faute d'un système national fournissant des informations fiables et complètes, ces statistiques sont approximatives – d'autant que les frontières sont floues entre (sous-) disciplines. Elles sont sans doute inférieures au nombre réel de doctorats. On trouve plus de 600 thèses soutenues entre le milieu des années 1950 et 1973. La moitié sont des doctorats de 3^e cycle, ce qui confirme le succès de ce nouveau diplôme instauré en 1954 pour les sciences. La statistique fait apparaître un flux régulier et nombreux de thèses d'ingénieur-docteur (environ 150). Celles-ci orientent principalement leurs titulaires vers l'industrie, mais dans quelques cas elles sont la première étape d'une carrière universitaire, attestée quelques années plus tard par une thèse d'État. Inversement, des thèses de 3^e cycle peuvent déboucher sur une carrière dans l'industrie. Une soixantaine de doctorats d'État apparaissent.

La forte accélération observée à la fin des années 1960 résulte des efforts d'accroissement de l'encadrement universitaire et des moyens matériels disponibles, ainsi que de la variété grandissante des problèmes scientifiques posés par le développement de l'informatique. On dépasse la centaine de thèses en informatique par an au milieu des années 1970.

Il faut ajouter les quelques Français qui passent chaque année des Masters, plus rarement des Ph.D. en Computer Science dans des universités américaines, généralement financés par des bourses DGRST. La plupart font carrière, par la suite, dans l'industrie ou dans la recherche française. Quelques-uns retourneront aux États-Unis.

Le mot *informatique* ne figure pas officiellement avant 1969. Les thèses sont référencées « mathématiques », « mathématiques appliquées », « sciences appliquées »¹³⁸, plus rarement « traitement de l'information », « servomécanismes », « physique », selon les sujets et les universités. Non sans difficultés, étant donnée la difficulté à insérer la nouvelle discipline dans les cadres existants ; à Nancy, par exemple, Jean Legras bataille pour imposer la thèse de Claude Pair comme thèse d'État : les mathématiciens refusant de lui accorder le titre « Mathématiques », il la baptise d'une expression *ad hoc* et plutôt provocante : « Sciences de l'ingénieur ». La première thèse d'État répertoriée en « *informatique* » est celle de Jacques Hebenstreit en 1969. Quel que soit leur titre, les soutenances de thèses obligent à choisir, puis à réunir en jury des experts venus d'institutions diverses, et amènent le nouveau docteur à se présenter au recrutement dans d'autres universités. Elles contribuent ainsi à bâtir une communauté informaticienne.

456

Les postes de professeurs d'informatique, avec ou sans chaire, apparaissent au milieu des années soixante. Le premier est celui d'Arsac, nommé maître de conférences de programmation en 1964, puis titulaire d'une nouvelle chaire de Programmation en 1965. Ils se multiplient à la fin de la décennie. Raymond, Nolin et Nivat seront les premiers à en obtenir à Paris sous l'intitulé *Informatique*.

f. La DGRST : la politique d'orientation des recherches

Le bouillonnement de réflexions sur l'organisation et la politique de la recherche et sur les liaisons recherche-industrie, impulsées depuis le gouvernement Mendès-France en 1955, avait contribué à sensibiliser les esprits à la nécessité d'un vaste effort de formation et favorisé l'avancement de quelques dossiers. Mais le CSRSPT n'était qu'une instance consultative, d'ailleurs trop nombreuse pour produire des décisions.

La création de la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST), en 1959, donnait à ce mouvement des moyens d'action et visait à renouer le lien entre la recherche de pointe et les besoins d'une société en pleine expansion. Directement rattachée au Premier Ministre, non à l'Éducation nationale, la DGRST est chapeautée par un groupe d'experts, le « comité des 12 sages » (CCRST), et dispose d'un pouvoir essentiel : la répartition du budget civil de recherche. Cette « enveloppe recherche » en forte hausse passe

¹³⁸ Un décret de 1961, visant à favoriser la formation technique dans les facultés des sciences, a créé un doctorat ès sciences mention *sciences appliquées* ; sa préparation est accessible aux titulaires d'une licence ès sciences, aux titulaires d'une licence ès sciences appliquées munis d'un certificat d'études supérieures complémentaire et aux titulaires de certains diplômes d'ingénieur munis d'un certificat d'études supérieures complémentaire.

de 120 MF en 1958 à plus d'un milliard de francs en 1964, permettant un recrutement régulier de chercheurs et la création de nouveaux organismes scientifiques.

La DGRST est donc devenue l'organisme central de la politique scientifique gouvernementale. Agence de moyens, elle adopte un dispositif d'inspiration anglo-américaine : la recherche sur contrat. Son principal mode d'intervention, les « actions concertées », consiste à identifier des thèmes prioritaires et à y soutenir des recherches en apportant des compléments de moyens aux laboratoires, en encourageant rencontres et synergies entre disciplines, institutions et milieux professionnels différents. Ces contrats offrent une souplesse de gestion pluriannuelle plus pratique que les crédits budgétaires annuels des administrations. En échange, pour les obtenir, les candidats doivent élaborer un projet détaillé, chose habituelle en recherche appliquée, mais qui nécessite un véritable apprentissage pour beaucoup d'universitaires.

En 1959, le mathématicien André Lichnérowicz a proposé de créer un institut de « calcul effectif » destiné à remplacer le CNRS dans cette tâche, « le budget nécessaire constituant une trop forte proportion du budget total du CNRS »¹³⁹. Le « Calcul effectif » est inscrit en tête des « grandes options », avec la Biologie moléculaire et les Processus électroniques. À la réunion du CCRST le 3 mai 1960, Lichnérowicz rappelle son projet, toujours d'actualité : les conditions de l'efficacité ne sont pas remplies au CNRS,

le matériel étant dispersé [entre Châtillon, l'Institut Henri Poincaré et la rue du Maroc], sous-employé ou mal employé. Par ailleurs, l'Institut Blaise Pascal n'a ni le statut, ni le volume, ni les moyens nécessaires à un centre-pilote.

Lichnérowicz suggère de créer un comité pour étudier ce problème et proposer des solutions. Le projet piétine pendant deux ans et c'est finalement un projet d'action concertée « Électronique » qui est adopté à la réunion du CCRST le 22 septembre 1961. Pierre Lelong recommande toutefois d'y inclure une orientation « calcul électronique ».

En même temps, la DGRST prépare le volet « recherche » du IV^e Plan, en phase avec le rapport de conjoncture du CNRS¹⁴⁰. Elle reprend l'argumentaire du CSRSPT, soulignant le contraste entre la situation brillante des mathématiques pures françaises et le « retard considérable » en mathématiques appliquées. Celui-ci est dû au manque d'hommes et d'équipes « pour

¹³⁹ Options envisagées aux réunions du CCRST, 20 et 27 mai 1959 (Arch. nat., 81/0401/58, liasse 143).

¹⁴⁰ DGRST, Rapport pour le IV^e Plan, « Les Mathématiques pures et appliquées », 23 juin 1961 (Arch. nat., DGRST RE 130/14).

secondement efficacement les chefs d'école », ainsi qu'à la pauvreté en machines électroniques modernes. Un grand effort doit donc être fourni pendant le IV^e Plan pour le rattraper : équipement, création de cours d'Automatique et de Programmation dans les universités. Les recherches en ces matières ne sont que mentionnées dans la dernière phrase du rapport d'analyse – à peine plus que dans le rapport de conjoncture du CNRS : en 1961, la recherche informatique est encore invisible.

L'action concertée « Calculateurs » de la DGRST : la première instance autonome pour la recherche en informatique

458

Dès sa première réunion, le 16 mars 1962, le comité d'action concertée Électronique charge J. Kuntzmann de s'occuper de l'orientation Calcul. En avril, le comité se divise en deux sous-comités, l'un pour les semi-conducteurs, l'autre pour les calculateurs¹⁴¹. Présidé par Kuntzmann, ce groupe de travail prépare une étude générale du domaine « machines à calculer ». Il se transforme en comité d'action concertée Calculateurs qui démarre, d'abord au sein de l'énorme action Électronique, puis de façon autonome en 1964¹⁴². Ses quatorze membres viennent de la recherche publique, de l'industrie et des grandes administrations techniques¹⁴³. Un budget de 17,1 MF est alloué pour 1962-1965. Les 2/3 de ses crédits vont à la recherche fondamentale, 1/3 à la recherche appliquée ; le coût moyen d'un projet dans l'action Calculateurs est de 259 kF, permettant de payer quelques programmeurs et thésards ou d'acheter un petit ordinateur.

Kuntzmann sait utiliser ces ressources à bon escient : sur les 66 projets recommandés par le comité d'action concertée, 10 sont présentés par son IMAG (1963-1965), 24 laboratoires étant sur les rangs. L'IBP et Toulouse en reçoivent un peu moins.

L'action concertée Calculateurs finance aussi des missions :

- Soit pour inviter en France des professeurs étrangers, notamment à l'école d'été CEA-EDF d'analyse numérique, une nouveauté importante qui

¹⁴¹ Les membres du sous-comité Calculateurs sont A. Danzin, B. Delapalme, A. Messiah (X-Mines, physicien au CEA) et F.-H. Raymond.

¹⁴² J. Ramunni, « L'action de la DGRST en faveur de l'informatique », 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, CNAM, Paris, 1990.

¹⁴³ Les membres du comité de l'AC Calculateurs (1963-1965) sont : J.-P. Delcourt, président (SN des Pétroles d'Aquitaine, remplacé après sa mort par J. Kuntzmann), vice-présidents J. Kuntzmann et L.-J. Libois (CNET), P. Aigrain (faculté des Sciences de Paris, directeur scientifique de la DRME), A. Amouyal (CEA), J. Arzac, F. Bazin (artillerie navale), P. Belayche (CEA), C. Davidoff (DEFA), B. Delapalme (Société Rhône-Alpes), J. Dondoux (CNET), P. Gaussens (EDF), M. Laudet (université de Toulouse), G. Senouillet (Génie maritime) et J. d'Olier (un X-GM faisant fonction de secrétaire, et qui partira ensuite au Centre de documentation du CNRS).

contribue à intensifier les échanges entre les Français et les *computing scientists* américains.

- Soit pour envoyer des étudiants ou de jeunes ingénieurs compléter leur formation pendant un an ou deux dans un *Computer Department* d'une université américaine. Près d'une dizaine de bourses sont attribuées chaque année. Ces stages, généralement couronnés par un Master ou un Ph.D., fourniront d'excellents spécialistes des systèmes qui reviendront en France à l'époque du Plan Calcul.

L'action concertée *Calculateurs* soutient des recherches dans trois domaines¹⁴⁴ :

- *Technologie et structures logiques des calculateurs*, aboutissant à quelques études novatrices en matière de mémoires, de CAO et de systèmes auto-organisant, essentiellement dans des laboratoires industriels. Bien que ce soit le plus gros poste de l'action concertée (42 %), la DGRST est consciente que ses moyens budgétaires ne peuvent qu'être marginaux comparés aux investissements des grandes entreprises et de la Défense¹⁴⁵.
- *Langages et programmation* (25 % des crédits), aboutissant en 1965 à un ensemble de travaux sur les compilateurs (théorie et réalisation) et à des études comparatives de langages :

L'un des principaux objectifs de l'action concertée a été atteint puisqu'il existe maintenant, dans plusieurs universités, des équipes de chercheurs valables et capables de développer des recherches fondamentales et de participer très largement à des travaux d'application.

- *Applications des calculateurs et analyse numérique* (26% des crédits). L'analyse numérique constitue d'abord l'essentiel de cet axe, avec deux thèmes directeurs : calcul matriciel et résolution numérique des équations aux dérivées partielles, très importante « car elle constitue un facteur de progrès essentiel dans plusieurs domaines scientifiques ». En 1965, des objections s'étant élevées contre la focalisation sur l'analyse numérique, on l'élargit à des « applications » considérées comme « présentant un intérêt réel pour les progrès de l'informatique » : documentation automatique, applications médicales (problèmes assez proches du précédent) et en général applications

¹⁴⁴ On se fonde ici principalement sur le *Rapport d'activité 1965 des actions concertées*, Paris, DGRST-Fonds de la recherche, p. 35-46. De 1961 à 1965, les crédits se montent à 17, 1 MF pour l'AC Calculateurs, 10, 9 MF pour l'AC Automatisation et 67, 9 MF pour l'AC Électronique, sur un budget total de 430 MF finançant 1075 projets.

¹⁴⁵ Dans une firme comme Bull, d'ailleurs en crise financière à cette époque, le budget prévisionnel des Études pour 1964 totalise 34 MF, dont 6 MF d'études « avancées de caractère général », c'est-à-dire de recherche.

non numériques (traitement des graphes, grammaires formelles). Il s'agit donc toujours de recherches.

460

Côté éducatif, l'AFICALTI constitue en 1963 un Bureau d'information sur le calcul électronique et le traitement de l'information (BICETI), financé par un contrat DGRST (1964-1965). Le BICETI fait de la propagande en faveur de l'informatique, notamment auprès des jeunes qu'il invite à se former et à s'orienter vers les carrières offertes par le calcul électronique. Il organise pour cela conférences, réunions, expositions et « aide la presse, les écrivains, les professeurs, etc. à faire connaître l'informatique et ses carrières¹⁴⁶. » L'existence du Fonds de la Recherche et des contrats DGRST qu'il finance permet donc aux informaticiens de transformer progressivement en réalités les souhaits exprimés dans les rapports et les réunions des années cinquante, notamment au CSRST : développer de façon sélective les recherches en informatique ; donner au petit groupe de spécialistes constituant l'AFICALTI une assise sociale beaucoup plus large.

En 1965, la DGRST prépare un nouveau programme d'actions concertées couvrant la période du V^e Plan. L'action Calculateurs est renouvelée. Son nouveau président est Malavard, qui commence à réorienter son laboratoire vers le numérique et dirige en même temps la DRME (militaire) : les soucis industriels qui ont accaparé une partie de l'attention du comité (affaire Bull, réflexions préparatoires au Plan Calcul dans le cadre d'un comité mixte DGRST-DRME) ont aussi fourni l'occasion de souligner que les entreprises françaises d'informatique seraient plus compétitives si elles faisaient plus de recherche. Ses grands thèmes demeurent, libellés plus précisément, mais les contenus évoluent rapidement avec l'apparition des études de systèmes et de téléinformatique qui ne peuvent être classés dans aucune discipline préexistante¹⁴⁷ :

- *Technologie et structures logiques des calculateurs*, ciblée sur les structures mettant en œuvre de nouvelles technologies, non sur les technologies elles-mêmes.
- *Langages et programmation*, focalisant notamment sur la compilation de PL/I et sur le « software de communication ».
- *L'analyse numérique*, considérée soit du point de vue de ses méthodes (approximation multidimensionnelle, calcul formel), soit du point de vue

¹⁴⁶ *Revue Française du Traitement de l'information*, 1965 n° 1. Le responsable du contrat DGRST-AFICALTI créant le BICETI est Daniel Hoffsaës (X 1951), l'un des pionniers de l'informatique à l'INSEE.

¹⁴⁷ DGRST-Fonds de la recherche, Programme pour l'action concertée « Calculateurs », janvier 1968.

de ses applications : compression de données, contrôle optimal de grands systèmes, problèmes multiphases, etc.

- Un quatrième thème, *Informatique générale*, couvrant les applications de l'informatique à la gestion, aux sciences humaines et sociales, au droit, notamment en matières d'organisation de systèmes d'information et de conception de bases de données ; l'enseignement programmé apparaît en 1966.

L'identité de ces axes de recherche avec les orientations spontanées des laboratoires s'explique évidemment par la composition du comité : apparemment il n'y a pas de conflit majeur sur les orientations. L'action Calculateurs de la DGRST contribue donc à développer la recherche en informatique, en la distinguant des utilisations des ordinateurs au service d'autres domaines, dont le financement relève d'autres actions concertées. Elle est ainsi la première instance qui représente explicitement la recherche en informatique sous une forme autonome, vis-à-vis des mathématiques comme du service de calcul. Elle milite constamment, par la suite, pour pousser les organismes scientifiques à établir cette autonomie.

g. La Recherche et les Armées : du CASDN à la DRME

Depuis 1948 existait un Comité d'action scientifique de la défense nationale (CASDN), interface officielle entre les militaires et les scientifiques. Cette entité interarmées manquait de moyens et ses membres étaient plutôt de grands notables de la science et de la défense, siégeant au Comité pour y représenter leurs institutions respectives, que des scientifiques opérationnels dans les disciplines de pointe. Dans ces conditions, typiques de la IV^e République, le CASDN avait fait ce qu'il pouvait pour soutenir la recherche en électronique de défense, domaine où il était l'interlocuteur français de l'OTAN. Le président du CASDN à partir de 1955, le général Guérin, s'intéressait au calcul électronique et pouvait s'appuyer sur quelques jeunes ingénieurs, membres des commissions thématiques du Comité, et distribuer des crédits d'études. C'est ainsi que le CASDN avait pu soutenir, à partir de la fin des années cinquante, des travaux en cryptographie, en traduction automatique et en documentation automatique¹⁴⁸.

¹⁴⁸ Sur l'ambiance générale et les faiblesses du CASDN, voir par exemple le témoignage de René Moreau au 4^e colloque sur l'histoire de l'informatique, Rennes, INRIA/IRISA, 1995. René Moreau, qui travaillait alors au LCA sur l'emploi des ordinateurs en cryptographie, fut membre du CASDN de 1957 à 1962. À cette époque troublée, nombre d'officiers engagés dans des activités scientifiques quittent l'armée pour rejoindre la recherche civile ou l'industrie.

En 1961 est créée la Délégation ministérielle pour l'Armement (DMA), regroupant des services des trois Armées chargés de concevoir et de réaliser des matériels d'armement. Le but est de mieux appréhender un certain nombre de problèmes communs à l'ensemble des armées, où la notion de systèmes d'armes devient centrale. Au cœur de ces problèmes se trouve la recherche, ce qui explique l'attention particulière portée à la création de la Direction des recherches et moyens d'essais (DRME).

462

Cette création fait partie de la vague d'institutions scientifiques nouvelles fondées au début de la V^e République (DGRST, CNES, etc.), dont la philosophie est l'action contractuelle et inter-organismes, rompant avec la tradition des « laboratoires propres » des ministères, du CNRS ou des corps de l'État et favorisant la fertilisation croisée des connaissances. La France s'inspire de l'exemple américain où la référence dans le domaine militaire est l'Advanced Research Projects Agency (ARPA)¹⁴⁹. L'objectif principal de la DRME est de favoriser la collaboration des milieux militaires et universitaires. Entre les experts des Armées, qui souhaitent commander des recherches très finalisées, et les universitaires qui privilégient les études plus fondamentales, un équilibre s'établit – plutôt en faveur des seconds.

Deux universitaires, le mécanicien Lucien Malavard et l'électronicien Pierre Aigrain, sont nommés respectivement directeur et directeur scientifique de la DRME. Tous deux conservent d'ailleurs leurs traitements de professeurs par autorisation spéciale de cumul. La sous-direction des recherches techniques est confiée à un ingénieur général venu de l'aéronautique. Trois disciplines proches ou clientes de l'informatique sont donc représentées au sommet de la Délégation. La DRME reçoit la tutelle de l'ONERA, de l'Institut franco-allemand de Saint-Louis, ainsi que des centres d'essais de missiles qu'elle hérite du CASDN. En 1965, Aigrain part diriger les enseignements supérieurs au ministère de l'Éducation nationale, Malavard est remplacé par Jacques-Émile Dubois, professeur de chimie et spécialiste de documentation informatisée¹⁵⁰.

¹⁴⁹ L. Malavard relie directement la création de la DRME à sa pratique personnelle des contrats de recherche offerts par les agences fédérales américaines à son laboratoire, via l'ambassade américaine où un officier était spécialement chargé de les établir ; et à son désir d'instaurer un système similaire en France, encouragé par ses interlocuteurs américains. Malavard souligne les oppositions soulevées par ce projet, venues de deux milieux : les universitaires et chercheurs du CNRS, « qui ne voulaient pas d'une collaboration avec les militaires » ; les ingénieurs de l'Armement « qui redoutaient de s'aventurer dans ce truc nouveau... » (entretien avec L. Malavard, 12 octobre 1987).

¹⁵⁰ J.-E. Dubois a étudié aux universités de Lille, Grenoble, Liège, Paris, London University College et Columbia (NY). Professeur à l'université de la Sarre, puis à la faculté des sciences de Paris, il a été conseiller technique du ministre de l'Éducation nationale C. Fouchet. Il réalisera un système topologique d'information chimique, DARC.

Les principales actions de la DRME portent, au début, sur l'optique, la métrologie, la physique des solides et l'informatique. Elle intègre progressivement les recherches en amont des problèmes militaires de détection, de propagation et de théorie du signal.

En ce qui concerne l'informatique, la DRME intervient de deux manières. D'une part, elle est conduite à participer à l'élaboration du Plan Calcul, en liaison avec les direction techniques de la DMA et avec la DGRST. D'autre part, elle finance et oriente les recherches. À partir de 1965, ces questions relèvent d'une division « Mathématiques appliquées et Informatique », dirigée jusqu'en 1968 par un officier de Marine, Guy Zarrouati, puis par Jean Ranchin. Comparée à la DGRST, la DRME est plus directive dans ses orientations, ce qui s'explique évidemment par ses finalités de défense. Elle dispose aussi d'un personnel suffisant pour évaluer les propositions.

Financement et orientation des recherches en informatique

Amplifiant l'œuvre du CASDN, la DRME soutient la recherche en informatique, notamment en intelligence artificielle et en conception assistée par ordinateur. En *software*, ses orientations principales sont :

- génération et correction automatique des programmes,
- études de langages naturels d'interrogation pour l'aide au commandement,
- manipulation de graphiques et figures,
- conception assistée de projets (électronique, mécaniques, hydrauliques),
- reconnaissance et synthèse de la parole, gestion des messages.

Faute de pouvoir consulter l'ensemble du fonds d'archives de la DRME, on a dépouillé les dossiers des sept contrats passés par la DRME à l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble entre 1965 et 1970. Prenant le relais des contrats du service technique Aéronautique, ils constituent désormais la principale source militaire de subventions de l'IMAG, devant les deux contrats du CEA-DAM. L'impression générale que donne leur lecture tient en deux remarques.

Premièrement, ces contrats soutiennent deux orientations de l'IMAG : la programmation et la logique appliquée à la conception des circuits, en collaboration avec les électroniciens du CENG. Ces deux domaines se recouvrent partiellement : il peut s'agir de logiciels de CAO comme le programme IMAG I/II qui « permet de décrire les éléments d'un circuit, de simuler le circuit dans un calculateur et [...] qui a donné satisfaction à ses utilisateurs »¹⁵¹.

151 IMAG 200, Contrats DRME 1968-1970, Contrat 69/707 DRME. Le montant des contrats varie de 92 à 180 kF pour deux années. La DRME a démarré avec un petit budget de recherche de 52 MF en 1963, doublé en 1964.

Seconde remarque, si l'on compare l'objet des contrats DRME avec ceux que passaient dix ans plus tôt les corps techniques, leur contenu n'a plus grand chose de spécifiquement militaire. Ce sont désormais des recherches amont, finalisées mais pouvant donner lieu à des thèses comme à des retombées civiles. Les aspects parfois très théoriques de la programmation ou la conception logique de circuits intégrés intéressent toute l'informatique, civile ou militaire. Du reste, aucun des sept contrats DRME-IMAG remplis entre 1965 et 1970 n'a de caractère secret.

464 Même constat au laboratoire Laudet (Toulouse), où la DRME subventionne les recherches en intelligence artificielle : reconnaissance de formes, démonstration automatique de théorèmes par voie heuristique. Il s'agit de travaux ne pouvant déboucher qu'à long terme. Même constat à l'Institut Blaise Pascal où la DRME finance, avec la DGRST, des études de langages de commande proches du langage naturel. Le partenaire est ici le laboratoire d'automatique documentaire et linguistique de J.-Cl. Gardin et M. Gross, ce dernier venu de l'Armement.

Cette focalisation de la DRME sur les recherches fondamentales fait écho à ce que l'on observe outre-Atlantique à la DARPA. Elle correspond à la fois à la multiplication des pôles d'expertise en informatique, qui permet de différencier les types de travail demandé aux divers partenaires (les Armées, comme les industriels, ont désormais leurs propres capacités de recherche appliquée en informatique) ; aux conceptions des savants dirigeants de la DRME, conscients de l'ampleur des recherches amont nécessitées par les problèmes nouveaux que les progrès de l'informatique ont fait apparaître ; peut-être aussi aux risques politiques inhérents au milieu universitaire de l'époque, qui se conjuguent au vieux purisme académique pour exclure l'industriel et le militaire de *l'Alma Mater* ?

L'INFORMATIQUE, UNE DISCIPLINE ? DE LA CONTESTATION À L'INSTITUTIONNALISATION (1966-1976)

On a vu que l'essor du calcul électronique dans les laboratoires dépendant du CNRS a conduit à une représentation croissante de ses spécialistes dans les commissions du Comité national, principalement dans la Commission de mécanique générale et mathématiques appliquées. Au milieu des années soixante, lorsque ces deux disciplines ne peuvent plus cohabiter, se pose au CNRS le problème du statut de l'informatique. Un débat animé conduit à refuser une spécificité disciplinaire à l'informatique et à la regrouper avec les mathématiques pures.

C'est sur le terrain que la discipline informatique s'affirme, dans les pratiques de recherche et d'enseignement supérieur. Sa reconnaissance officielle viendra ensuite, sous la pression conjuguée des spécialistes et de la politique gouvernementale. Les universités qui ont des équipes de recherche en ce domaine demandent leur association au CNRS et présentent leurs premiers docteurs au recrutement CNRS ou professoral, en même temps que le ministère de l'Éducation labellise leurs maîtrises d'informatique. La commission de mathématiques du CNRS affiche ensuite rapidement l'informatique dans son intitulé, mais ne peut encore recruter qu'un nombre très faible de chercheurs dans cette spécialité. Les compte rendus des discussions nous permettent de savoir quelle représentation les différents acteurs avaient de ce nouveau champ scientifique. Le mouvement aboutira au milieu des années 1970, quand le CNRS et le Comité consultatif des universités institueront des instances autonomes d'informatique.

A. COMMENT LE CNRS INTÉGRA L'INFORMATIQUE AUX MATHÉMATIQUES

La section 3 du Comité national englobe deux communautés bien distinctes : Mécanique, Mathématiques appliquées. Depuis le début des années soixante, cette commission s'est mise à travailler en deux sous-sections autonomes qui se partagent inégalement les moyens et n'ont plus grand'chose en commun. Chacune des deux sous-sections se réunit séparément, évalue et classe ses candidats et ses demandes. À la fin de la session, la commission se rassemble en séance plénière pour procéder à l'« interclassement » des propositions. En moyenne, entre 1963 et 1966, les ressources sont attribuées, pour les deux tiers à la mécanique, et pour un tiers à l'« informatique » – terme générique

employé à partir de 1965 de façon presque équivalente à *mathématiques appliquées*. Cette proportion se retrouve à peu près dans toutes les rubriques : personnels techniques, équipements, missions, recrutements et promotions de chercheurs.

L'attribution des postes est relativement aisée, d'autant qu'il y a encore assez peu de candidats en mathématiques appliquées (le refus en 1965 de prendre en considération J. Pitrat, le premier candidat en intelligence artificielle, marque plutôt les frontières du domaine et de ce qui paraît en relever). En revanche, la répartition des crédits d'équipement et de fonctionnement est devenue conflictuelle.

466

La cohabitation en section 3 met effectivement en concurrence deux domaines scientifiques bien distincts, qui tous deux ont d'importants besoins en équipement. Si la mécanique demande les moyens d'une croissance conforme à son dynamisme propre et à son utilité, l'informatique, éprouve le besoin d'un développement explosif pour rattraper son retard. Ses demandes de crédits paraissent démesurés par rapport à ceux de la mécanique. « MM. Malavard et Germain sont impressionnés par le chiffre de 580 [MF] proposé comme nécessaire pour 5 ans par M. De Possel ». Ce dernier, appuyé par F.-H. Raymond, énumère les ordinateurs dont les différents centres de calcul ont besoin. « Néanmoins, plusieurs spécialistes de mécanique ne s'estiment pas en mesure d'approuver un tel budget¹. » La préparation du V^e Plan (1966-1970) confirme ces différents avec éclat : les « informaticiens » demandent des crédits d'équipement et de fonctionnement treize fois plus élevés (630 MF) que les « mécaniciens » !

L'apparition d'un noyau d'« informaticiens » au Comité national a donc entraîné une prise de conscience : il est urgent de développer l'informatique et de s'en donner les moyens. Or ces moyens jugés nécessaires sont énormes. La concurrence de plus en plus dure pour les crédits, entre deux domaines ayant de moins en moins d'intérêts communs, va entraîner l'éclatement de la section 3.

a. L'informatique, entre mathématiques et sciences appliquées : des conceptions opposées

La question du statut épistémologique et institutionnel de l'informatique se pose au moment où la direction du CNRS entreprend de « redécouper » le Comité national pour l'adapter à l'évolution des sciences et aux effectifs des différentes sections.

Notons le long délai d'adaptation des structures institutionnelles à l'évolution des sciences : le problème posé par l'informatique, aigu dès le printemps 1963,

1 CNRS, PV section 3 du 9 novembre 1963, p. 9.

ne recevra une solution que quatre ans plus tard, comme l'indique le directeur général du CNRS en juin 1963 : les projets de partage des attributions des sections ne peuvent intervenir que pour le prochain Comité national à constituer, par élections et nominations, en 1967².

Le redécoupage doit suivre deux principes : éviter que deux disciplines n'ayant presque rien de commun cohabitent dans une même commission (plusieurs cas se présentent) ; tendre si possible à l'équirépartition entre les sections : la section de mathématiques pures gère 59 chercheurs CNRS, la section de chimie physique, 383 !

Il est évident pour tout le monde que l'informatique ne peut plus cohabiter avec la mécanique : trop hétérogènes, ces deux disciplines étouffent, à l'étroit dans une section dont les ressources ne leur suffisent plus. Que faire de l'informatique ? Le directeur général consulte les membres des commissions, qui proposent deux solutions opposées : créer une section d'informatique, ou rassembler en une section l'informatique et les mathématiques pures.

Créer une section d'informatique ?

L'idée de fonder une section d'informatique, englobant l'automatique et diverses branches des mathématiques appliquées, est soutenue par des informaticiens, par la majorité des mathématiciens purs et par les instances spécialisées de la DGRST et du Commissariat général au Plan. Leurs motivations sont très différentes.

La plupart des informaticiens veulent obtenir les moyens de leur développement autonome, proportionnellement à la croissance rapide de leur effectif, elle-même fonction de la demande socio-économique. Sortant d'une cohabitation devenue difficile avec la mécanique en section 3, ils ne veulent pas recommencer l'expérience avec les mathématiques pures dont ils connaissent le peu de considération pour l'informatique. D'autant que les informaticiens résultent d'un mélange de cultures professionnelles : si la formation mathématique y est majoritaire, certains sont ingénieurs, linguistes, logiciens, et ils travaillent rarement sur des questions jugées pertinentes par les mathématiciens.

La revendication d'une « commission spéciale » du CNRS pour les sciences liées aux calculateurs est apparue dès 1962³. Fin 1964, la sous-section Mathématiques appliquées de la section 3 a remis à la direction du CNRS un rapport demandant la création d'une commission regroupant les Probabilités, Statistiques, Recherche

2 PV du Directoire du CNRS, 12-13 juin 1963.

3 R. de Possel, « Présentation du Colloque international de mathématiques », *Annales de la faculté des sciences de l'université de Clermont*, 1962, vol. 7, n° 1, p. 9.

opérationnelle, Informatique, Automatique⁴. Cet ensemble compte 45 universitaires de rang A (professeurs), 133 chercheurs CNRS et universitaires de rang B. Ses perspectives de développement quantitatif sont très importantes, particulièrement en machines à calculer et en automatique où les besoins du pays nécessitent, à l'horizon 1970, une masse de 600 chercheurs dont 200 au CNRS. Quel nom donner à cet ensemble ? Faute de mieux, on se contenterait du terme *Mathématiques appliquées*, intellectuellement peu satisfaisant mais « qui a pour lui une certaine tradition ». Signé par Jean Kuntzmann qui présidait sans doute la réunion, ce rapport critique le projet concurrent de regrouper mathématiques pures et appliquées en une seule commission : cela freinerait gravement l'expansion des mathématiques, compte tenu de l'accroissement considérable prévu pour la recherche dans le domaine des machines à calculer et de l'envahissement d'un grand nombre de disciplines par les mathématiques. D'autre part, de profondes différences de critères d'évaluation et de gestion de la recherche séparent les mathématiques pures qui « maintiennent une très haute exigence de qualité » et les mathématiques appliquées qui, entre autres objectifs, « doivent fournir à l'industrie le très grand nombre de chercheurs de bon niveau dont elle a besoin ». Les deux groupes, si on les réunit dans une même section, entreraient en conflit pour les postes et les moyens, d'autant que les mathématiques appliquées, actuellement minoritaires, sont appelées à prendre le plus grand développement. La construction d'ordinateurs et l'automatique ne relèvent d'ailleurs pas des mathématiques et n'auraient alors pas de place au CNRS dans une telle organisation : la partie matérielle de l'informatique resterait rattachée à l'électronique et à la physique, perpétuant une coupure néfaste.

En section 1, la majorité des mathématiciens purs ne voient aucun inconvénient à cette formule. Ils souhaitent rester entre eux et poursuivre leurs propres projets scientifiques. En fait, à leurs yeux, les mathématiques appliquées n'existent pas : il y a d'une part les mathématiques, d'autre part leurs applications qui relèvent de démarches très différentes. Les « objets » dont traitent les mathématiciens (nombres, espaces, groupes...) ne sont en effet pas de même nature que les objets de l'ingénieur ou du physicien (matériaux, mobiles, masses...), même si l'on peut traduire le comportement de ceux-ci en modèles mathématiques⁵. Cette vision suppose que les mathématiques sont devenues un domaine conceptuellement assez riche pour n'avoir plus besoin du stimulant provenant des problèmes posés par d'autres disciplines.

4 Rapport de la sous-section Mathématiques appliquées de la section 3 au DG du CNRS (signé J. Kuntzmann), novembre 1964, Arch. nat. 85/0505-21.

5 J. Dieudonné, *Pour l'honneur de l'esprit humain*, Paris, Hachette, 1991.

Les instances concernées de la DGRST et du Commissariat général au Plan ont pour raison d'être le développement de l'informatique et d'autres « sciences appliquées » autour de l'électronique, dans une volonté de rattraper un retard national et de combler le *fossé technologique* (le terme se répand à l'époque) vis-à-vis des États-Unis. Au Comité des Sages de la DGRST, l'automaticien Bernard Delapalme a suggéré dès janvier 1963 que le CNRS crée une section « pour les calculatrices électroniques et les mathématiques appliquées »⁶, suggestion partagée par Jean Kuntzmann. La Commission permanente de l'électronique du Plan (COPEP) fait des recommandations dans le même sens⁷.

Le problème se complique du fait que la section 10 (Électronique, électricité, magnétisme) doit éclater elle aussi, sous la pression à la fois de son effectif (237 chercheurs) et de la diversification de ses sous-disciplines, classées en trois groupes : physique du solide, magnétisme et résonance magnétique ; électronique, physique des plasmas et radioélectricité ; électrotechnique et automatique, « groupe assez homogène actuellement ». Assez perplexe devant la complexité du problème du redécoupage, la section 10 envisage de voir ses théoriciens de l'automatique rejoindre une commission de Mathématiques appliquées-informatique (vraisemblablement attirés par Lions), mais en gardant ses « physiciens de l'automatique », dont les travaux ont pour but final l'automation industrielle. Si la création d'une section « Physique du solide », où s'intégreraient les spécialistes des composants électroniques, semble vite acquis, le problème se pose donc de la situation future de l'automatique et de l'électronique liée aux calculateurs. On envisage, soit de les grouper avec l'informatique dans une section nouvelle, soit à défaut de créer une « inter-commission » *ad hoc*. Cette formule est soutenue par les cristallographes de la section 5, grands utilisateurs de calcul.

Réunir l'informatique et les mathématiques pures ?

Le dessein opposé, rassembler en une section l'informatique et les mathématiques pures, est proposé par les « mécaniciens », par les physiciens, par certains informaticiens et par quelques mathématiciens influents, motivés par trois ordres de raisons.

La mécanique prend à l'époque son autonomie par rapport aux mathématiques, pour occuper une place intermédiaire entre celles-ci et la

6 Réunion du CCRST, le 25 janvier 1963. Le directeur général du CNRS, Pierre Jacquinot, répond que le CNRS envisage la création d'une section de mathématiques appliquées, mais que « ces modifications ne pourront entrer en vigueur que lors de la constitution du nouveau CN, dans quatre ans. »

7 COPEP, *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, Paris, septembre 1963, p. 34.

physique. C'est la conséquence d'un double mouvement : l'évolution des mathématiques vers le purisme et l'importance croissante prise, au sein de la mécanique, par la mécanique des solides, moins formalisée que la mécanique des fluides. Si l'on fait la part de la tactique institutionnelle, sans doute les « mécaniciens » estiment-ils qu'il ne faut pas dépouiller les mathématiques de deux sous-disciplines simultanément : l'intégration de l'informatique aux mathématiques pures faciliterait l'autonomisation de la mécanique, d'ailleurs nettement plus mûre. Il est certain que la création de deux sections nouvelles serait plus difficile à faire accepter, notamment sur le plan budgétaire : d'autres disciplines sont en concurrence pour conquérir une place au soleil (l'électronique et l'automatique vis-à-vis de la physique, par exemple), alors que la direction du CNRS limite l'augmentation du nombre des sections de 32 à 34. Or, l'informatique acquérant à l'époque une priorité politique dans les instances gouvernementales, c'est sans doute elle qui bénéficierait de l'attribution d'une section du Comité national, au détriment de la mécanique. Il faut donc avancer des arguments scientifiques pour affirmer l'appartenance de l'informatique aux mathématiques. Concluant la discussion sur le rapport de conjoncture, mentionnée plus haut, Paul Germain a conclu qu'il fallait, dans le futur Comité national, d'une part associer mathématiques pures et appliquées, d'autre part rapprocher mécaniciens des solides et des fluides⁸.

Les physiciens ont soutenu la croissance des moyens de calcul, dont ils étaient les principaux bénéficiaires. Mais à partir du moment où l'informatique se développe comme discipline scientifique autonome et réclame des crédits de recherche, elle devient une rivale dont il faut limiter les ambitions⁹.

Quelques mathématiciens, qui ne sont ni bourbakistes ni spécialement « appliqués » mais disposent d'un poids scientifique et politique, veulent réunir dans la même commission les mathématiques pures et appliquées. Leur argumentaire s'articule autour de trois thèmes :

- Sélectionner rigoureusement les chercheurs en analyse numérique.
- Respecter le principe de l'unité des mathématiques, fondé sur le constat que tout concept mathématique, aussi abscons, baroque ou monstrueux qu'il soit, peut un jour rencontrer une application – comme c'est le cas avec l'algèbre de Boole¹⁰.

8 CNRS, PV section 3 du 9 novembre 1963, p. 9.

9 Témoignage de J. Kuntzmann, qui pense entre autres à sa rivalité avec L. Néel.

10 C'est du reste la conception qui a inspiré en 1958 la création de l'Institut des hautes études scientifiques. Les fondateurs de l'IHES ont persuadé des industriels et des administrations de financer des recherches mathématiques de haut niveau, ne promettant de retombées pratiques qu'à long terme (D. Aubin, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos: Around the Institut des hautes études scientifiques*, Princeton University, PhD., 1997).

– Sauver les mathématiques pures du dessèchement auquel risque de les mener, à terme, leur superbe isolement ; si l'analyse numérique, les probabilités et la logique ne font pas partie du plan des *Éléments de mathématiques* de Bourbaki et marquent donc en quelque sorte les limites des mathématiques pures à la française, ces trois domaines sont en plein renouvellement, notamment en liaison avec l'informatique, et il paraît souhaitable de les intégrer aux problématiques mathématiciennes.

Cette optique est notamment celle de trois mathématiciens influents : Pierre Lelong, André Lichnérowicz et J.-L. Lions.

André Lichnérowicz est une grande figure de conseiller scientifique des décideurs politiques. Ancien membre du cabinet de Pierre Mendès-France et porte-parole d'une tendance modernisatrice de la recherche française qui s'est brillamment manifestée au colloque de Caen, il milite ardemment pour inscrire les mathématiques parmi les priorités du développement (il préside alors une commission pour la réforme de l'enseignement scolaire des maths, dont les conclusions seront très critiquées), ainsi que le calcul électronique auquel il s'est intéressé dès le colloque de 1951. Il estime cependant que le CNRS a raté l'occasion d'en être le pilote : il faut donc créer un nouvel institut spécialisé ; en ce qui concerne le Comité national, le mieux que l'on puisse faire est de mettre en synergie l'informatique et les mathématiques pures. Lichnérowicz représente d'ailleurs la section 2 (Théories physiques, probabilités, applications) qui désire unanimement rester comme elle est et craint, dans le projet de section de mathématiques appliquées, une menace de démantèlement.

Pierre Lelong réunit lui aussi légitimité mathématicienne et responsabilité politique. Camarade de promotion du Premier ministre Georges Pompidou à l'ENS, conseiller scientifique du général de Gaulle, il est membre du « comité des sages » (CCRST) où il a poussé au lancement de l'action concertée *Calculateurs*. Il estime que « la mathématique qui s'applique est souvent d'un niveau élevé » et que « la collaboration avec d'autres sciences est l'occasion de problèmes et aussi de concepts nouveaux »¹¹. Il partage la vision, répandue à l'époque parmi les dirigeants scientifiques, d'une répartition des rôles entre

11 Avant-propos au *Répertoire des scientifiques français*, t. 1 : *Mathématiques pures*, Paris, DGRST-Office national des universités et écoles françaises, 1962, p. 8. Peu après, Pierre Lelong voue une collection « Études mathématiques » à accueillir « aussi bien des ouvrages de Mathématiques “appliquées” que de Mathématiques “pures” [...], distinction beaucoup plus liée à des programmes universitaires (d'ailleurs changeants) qu'à des nécessités scientifiques », comme il l'affirme hautement dans sa préface à J.-L. Lions, *Contrôle optimal de systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles*, Paris, Dunod & Gauthier-Villars, 1968.

acteurs institutionnels de la recherche : à l'université, la recherche libre ; au CNRS, la sélection des meilleurs pour faire de la recherche fondamentale ; à la DGRST, l'orientation des recherches vers les applications, débouchant vers des créations d'instituts et des retombées industrielles. Dans ce schéma, il paraît logique de développer la recherche « informatique » dans plusieurs configurations :

- au CNRS avec les mathématiques qui en ont elles-mêmes besoin ; peut-être dans un futur institut avec l'automatique (ce sera l'IRIA, et la liaison existe déjà à la DGRST) ;
- à la DGRST en relation avec l'électronique, comme au CNET ;
- à l'université partout où émergent des compétences¹².

472

Cette répartition des rôles, ce modèle en trois couches permet de concilier les convictions de Pierre Lelong en faveur de l'unité des mathématiques et sa participation à la politique de la DGRST qui pousse à l'autonomisation de l'informatique.

Les deux « savants-hommes d'État » responsables de la politique scientifique dans le secteur mathématique sont d'accord sur ce schéma. Au même moment, Lelong est chargé d'un audit du Centre international de calcul de Rome (Unesco) et recommande d'y mettre de l'ordre : sans doute a-t-il alors le sentiment que l'informatique est une chose trop sérieuse pour être laissée aux seuls informaticiens ?

Quant à J.-L. Lions, sur lequel on reviendra quelques pages plus loin, il considère que la modélisation ne peut être séparée de la recherche mathématique de pointe et il prend progressivement conscience qu'elle a en même temps besoin des techniques de calcul les plus avancées. Sa stature scientifique convient aux mathématiciens purs en même temps que ses travaux en font un chef de file des mathématiques appliquées : son profil le placerait donc en position d'arbitre d'une future commission unique.

L'essentiel est sans doute le souci qu'ont ces trois hommes de décroiser les disciplines, en particulier de déconstruire la barrière entre mathématiques pures et applications. Cela pour qu'elles donnent la pleine mesure de leur « déraisonnable efficacité » et participent à l'effort collectif de développement, dans la guerre froide et dans la concurrence au sein des puissances occidentales. C'est une politique en faveur des mathématiques plus que de l'informatique.

¹² Entretiens avec P. Jacquinot, P. Lelong et J.-L. Lions, 1986-1987. Entretien d'A. Lichnérowicz avec J.-F. Picard et A. Prost, 14 mai 1986. Robert Lattès, soucieux d'une sélection rigoureuse des chercheurs en informatique, partage la même position.

Les informaticiens ne présentent pas un front uni face à la coalition de leurs détracteurs. Les rivalités entre équipes et entre universités se doublent de divergences de stratégies, touchant les définitions de l'informatique et les moyens de s'imposer. Autrement dit, il n'y a pas encore de communauté informaticienne autour d'un projet scientifique défini, mais de multiples conceptions concurrentes.

Jean Kuntzmann, mathématicien formé à l'École normale supérieure et ancien « caïman » de mathématiques rue d'Ulm, a une stratégie scientifique consistant à faire reconnaître par ses pairs la légitimité des mathématiques appliquées : donner au calcul numérique et à l'informatique une plus grande rigueur scientifique et, par là, une respectabilité aux yeux des mathématiciens. Le comportement de Kuntzmann, ses modes d'action, sont conformes à l'orthodoxie académique. Poitou à Lille, Lions à Paris, sont, plus encore que Kuntzmann, considérés par les mathématiciens comme faisant partie de la famille et partagent cette façon de voir (Poitou enseignera les mathématiques pures à Orsay, interviendra plusieurs fois au séminaire Bourbaki et deviendra directeur de l'ENS en 1981).

Michel Laudet, qui n'est pas issu du sérail normalien, ne peut partager le même espoir ; ses tactiques et ses stratégies ont toujours un caractère plus politique et contournent parfois les instances scientifiques¹³. Si l'on compare la façon dont chaque laboratoire a acquis son premier ordinateur en 1957, les Toulousains ont conclu un arrangement direct avec IBM, tandis que les Grenoblois ont transmis leur demande par la voie hiérarchique au ministère. C'est Laudet, non un Grenoblois, qui sera choisi par la Délégation à l'informatique pour diriger l'IRIA. À Toulouse, l'informatique est plus proche de la physique et de l'électronique que des mathématiques et revendique d'emblée son autonomie¹⁴. Cette position est proche de celle de Legras, d'Haugazeau, etc.

À Paris, René de Possel a une vision large des reconfigurations que le calcul électronique et l'informatique commencent à opérer dans les mathématiques.

13 L'opposition de stratégies se double d'une opposition de tempéraments individuels : Kuntzmann est un timide introverti qui préfère travailler dans la paix de son laboratoire provincial, entouré de ses équipes, plutôt qu'aller défendre ses intérêts dans les administrations parisiennes. Il le fait quand c'est vraiment nécessaire, avec une grande efficacité. Tout autre est la personnalité des Toulousains, Durand, Laudet ou Lagasse (celui-ci a fait appel aux autorités parisiennes en 1955 pour se dégager de la tutelle du laboratoire d'électrotechnique, dont le directeur lui refusait de développer l'automatique) : ils semblent hériter d'un savoir-faire politique mis en œuvre dès le début du siècle dans le développement de leur université. Lagasse et Laudet parviendront plus tard à de hautes fonctions à Paris, ce qui ne semble pas intéresser Kuntzmann.

14 Cette affirmation d'autonomie se retrouve dans l'article de M. Laborie, « L'informatique à l'université de Toulouse », 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, *op. cit.*, p. 151.

Mais, bien qu'ayant jadis participé à la fondation de Bourbaki, il est considéré comme ayant « cessé de faire des mathématiques ». Sa candidature à l'Académie est blackboulée. Il dirige un institut d'enseignement technique de programmation dont les diplômés ne s'assimilent à aucun titre universitaire, abrité par le CNRS dans une ancienne usine CSF, loin du territoire de la faculté. L'« atmosphère de bunker assiégé qui régnait à l'Institut Blaise Pascal, cerné par une incompréhension générale »¹⁵, en butte à la fois aux critiques des laboratoires clients, à l'indifférence des mathématiciens purs qui dominent la place de Paris et à l'hostilité que l'on perçoit du côté de Grenoble, se complique du fait que l'IBP est lui-même divisé entre des positions hétérogènes : Lions fonde sa stratégie sur le lien entre modélisation mathématique et analyse numérique, tandis qu'Arsac recentre son intérêt sur la programmation et les systèmes, et qu'autour de Schützenberger, mathématicien d'une tout autre espèce, se forme le groupe amical d'informatique théorique Lentin, Nolin, Nivat.

474

De Possel est pourtant personnellement défavorable à la création d'une section d'informatique et estime qu'on ne peut envisager qu'une commission *ad hoc*, « inter-sections »¹⁶. La raison profonde est que la distinction mathématiques appliquées / pures est conventionnelle, notamment depuis que les possibilités ouvertes par le calcul électronique ont fait bouger les lignes : la théorie des fonctions récursives, les recherches sur les équations aux dérivées partielles relèvent à la fois des deux catégories, comme le montrent les travaux des logiciens Hao Wang ou Minsky aux USA, de Lions en France¹⁷.

Des trois principaux directeurs de laboratoires, celui dont l'avis serait sans doute le plus écouté est Jean Kuntzmann. Or il est tiraillé entre sa foi dans l'Unité des Mathématiques, dont l'informatique est une application, et sa conscience que les mathématiques appliquées ne seront pas bien traitées par les pures. Rappelant la proposition faite en novembre 1964 par les mathématiciens appliqués de la section 3, il écrit au directeur général du CNRS :

Étant donné que les mathématiques appliquées ne sont pas représentées dans les instances du CNRS, je me permets de vous rappeler l'importance que ces disciplines vont prendre au cours du V^e Plan. La création d'une commission

15 M. Nivat, correspondance avec l'auteur ; l'expression reflète bien le témoignage de L. Nolin et la correspondance de R. de Possel.

16 Remarque manuscrite en marge de la *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, Paris, COPEP, septembre 1963 (archives de l'Institut de programmation).

17 Note anon. *Une controverse est en cours à propos d'une opposition entre « Mathématiques pures » et « appliquées »* [...], 5 p., s.d. mais 1964 (Arch. de l'IBP, chemise Réforme de l'Enseignement supérieur).

regroupant Probabilités, Statistiques, Analyse numérique, Traitement de l'information et sans doute Automatisation est nécessaire pour le développement de ces disciplines dans le cadre du CNRS. C'est la solution de bon sens, à laquelle je l'espère les organismes de décision se rallieront¹⁸.

Toutefois, la position de Kuntzmann semble fluctuante, il n'a aucun enthousiasme pour l'alternative offerte et préférerait idéalement une troisième formule qui n'est pas envisagée à l'époque (mais qui ressemble beaucoup au choix fait dix ans plus tard au CNRS) : constituer, d'une part un « noyau mathématique étudiant les méthodes générales, formant pour les diverses autres sciences les spécialistes dont elles ont besoin, ceux-ci gardant le contact avec les mathématiques qui leur sont utiles » ; « d'autre part, des noyaux : physique, chimie, etc., chacun comportant des hommes plus portés vers les mathématiques, et d'autres plus portés vers les autres instruments de travail »¹⁹. Dans une lettre à René de Possel, il distingue :

- les mathématiques *existentielles* ou pures ;
- les mathématiques algorithmiques ou appliquées (analyse appliquée ou numérique, théorie des langages, statistique et méthodes de décisions, etc.) ;
- les techniques mathématiques destinées à réaliser effectivement les tâches étudiées abstraitement par les précédentes (calcul, programmation, statistiques).

Cette conception est fondamentalement proche de celle des mathématiciens purs : d'un côté, les mathématiques ; de l'autre, les sciences où coexistent approches expérimentales et approches théoriques utilisant les mathématiques. Mais elle en diffère pratiquement car Kuntzmann entend rééquilibrer le programme de la licence de mathématiques : 50 % de maths pures, 25 % de mathématiques algorithmiques, 25 % d'applications et de travaux pratiques²⁰.

Kuntzmann incarne décidément la tension entre les mathématiques et la technologie, mais son cœur penche toujours vers les premières. Si nous essayons

18 Lettre de Kuntzmann au DG du CNRS (10 mars 1965), copie transmise par J. Kuntzmann à l'auteur.

19 J. Kuntzmann, Avant-propos, *Répertoire des scientifiques français*, t. 2 : *Mathématiques appliquées, Mécanique, Physique théorique*, Paris, DGRST, La Documentation française, 1965, p. 9. On se rappelle que le premier mouvement de Kuntzmann vers le Comité national, en 1956, avait été de demander sa nomination en section 1.

20 J. Kuntzmann, *Rapport sur les mathématiques appliquées*, 3 p., annexé à une lettre à l'IBP, 16 septembre 1964 (Arch. de l'IBP, chemise Réforme de l'Enseignement supérieur). Il en publie une version, « Les mathématiques et leurs applications », *Gazette des mathématiciens*, novembre 1964. C'est sa contribution à une réflexion collective préparant la réforme de l'enseignement prévue pour 1966.

de reconstituer son raisonnement, il faut considérer cette tension – ou, pour caricaturer, la distance entre Bourbaki et la technique – sous ses deux aspects : lutte pour le pouvoir entre deux milieux professionnels ; et affrontement intellectuel, avec tout ce qu’il peut apporter de positif aux sciences. Du point de vue de la lutte pour la vie institutionnelle et la reconnaissance de l’informatique, Kuntzmann constate que « seul un remaniement des sections du CNRS pourrait être l’occasion d’un départ sérieux » et permettre, dans une commission spécifique, de recruter une masse critique de chercheurs nécessaire pour atteindre les objectifs du V^e Plan²¹. Du point de vue intellectuel, il souhaiterait au contraire renforcer les échanges entre l’informatique et les mathématiques. La qualité des recherches menées à Grenoble ne repose-t-elle pas justement sur cette essentielle tension ?

476

En synthèse il ressort de ce débat que, aux yeux de la plupart des savants, le dogme de l’unité de la Science est plus important que la préservation de la pureté de la science d’un côté, de la spécificité des applications de l’autre. Cette conception était déjà vivement discutée 40 ans plus tôt, des mathématiciens comme Painlevé ou Appell soutenant une haute vision de la science impliquant qu’elle serve.

Quant à la direction du CNRS, elle soutient le développement prioritaire du calcul et de l’informatique, en phase avec la DGRST, mais cherche elle aussi la meilleure configuration – ou la moins mauvaise – pour y parvenir : il n’y a pas de solution idéale dans ces découpages disciplinaires, seulement des arrangements de compromis. Le directeur adjoint du CNRS chargé de l’ensemble Mathématiques-Astronomie-Sciences de la terre, G. Jobert, penche un moment en faveur du projet de commission « informatique-électronique » car « il est normal que ceux qui s’occupent de théorie de l’information soient en contact avec ceux qui réalisent les structures de machines », tandis que les mathématiques appliquées rejoindraient les mathématiques pures « afin de les activer ». L’électronique non directement concernée par les ordinateurs ou les servo-mécanismes resterait dans une autre commission. Finalement, Jobert, mathématicien par formation et qui fait toute confiance à Lions, opte pour l’intégration de l’informatique à la section de mathématiques, « parce qu’il est nécessaire de sélectionner rigoureusement les chercheurs en Analyse numérique » et pour « revivifier les mathématiques pures ». Il est toutefois conscient que l’informatique « pose des problèmes sérieux »²².

21 J. Kuntzmann, « Point sur la formation de spécialistes du calcul en France », 1^{er} décembre 1963 (IMAG 12, COPEP 1960-1964).

22 Entretien avec G. Jobert, 1986.

b. Le processus de décision : la République des savants

Le choix en faveur de la seconde solution est déterminé en 1965 par Pierre Lelong et André Lichnérowicz, au cours de deux réunions d'un comité inter-sections de mathématiques, constitué pour réfléchir à la question, et du Directoire du CNRS.

Le comité inter-sections de mathématiques, convoqué en février 1965 au château du CNRS à Gif-sur-Yvette, rassemble des représentants de six sections.

André Lichnérowicz est d'abord élu président de séance. François Cabannes demande le regroupement de la mécanique en une section particulière. Edmond Brun demande la création d'une section de Thermodynamique. Maurice Allais demande que l'économétrie quitte la section 2 pour rejoindre les Sciences économiques. Ces trois demandes sont approuvées sans grande discussion.

On aborde ensuite la question épineuse de l'analyse numérique. Le président de séance expose, d'emblée, son point de vue :

- « le terme même de “mathématiques appliquées” est à réprouver »,
- il faut écarter de la discussion la question du service de calcul, qui ne relève pas d'une commission de recherche.

Jean-Louis Rigal demande la création d'une section d'informatique, incluant analyse numérique et logique, théorie de l'information et statistique. Mais il a peu de poids personnel et il se voit objecter que la recherche en informatique « est une science encore incertaine » (point de vue émis par Lichnérowicz, Fortet et Lelong). Maurice Allais « déplore la division actuelle entre mathématiques ». Lichnérowicz « pense aussi que leur réunion amènera des candidats très sérieux à l'analyse numérique ». Il y a d'ailleurs trop peu de chercheurs CNRS en informatique pour peupler une section.

Jacques Arsac, loin d'appuyer son collègue informaticien Rigal, « signale que certains avis (MM. Germain, Lichnérowicz, De Possel, entre autres) sont favorables à la réunion en une seule section des mathématiques pures et de l'analyse numérique ». Rigal « objecte la trop grande différence des critères dans ces deux branches. Il craint que ceci ne tarisse le recrutement des chercheurs en analyse numérique. » Nous savons qu'Arsac publiera cinq ans plus tard un véritable manifeste affirmant l'existence de *La Science informatique*. Sa position neutre en 1965 s'explique à la fois parce qu'Arsac ne participe à la réunion qu'en tant que suppléant du directeur de l'Observatoire, dont il exprime l'avis ; et surtout parce qu'il ne considère encore les ordinateurs et la programmation que comme des instruments – lui-même consacre alors ses recherches à l'analyse numérique (approximation des opérateurs

linéaires)²³. Le compte-rendu permet donc de dater l'évolution des idées concernant la « scientificité » de l'informatique : son seul partisan déclaré, Rigal, est relativement marginal dans la constellation académique.

Le directeur général, Pierre Jacquinot, « estime que ce problème [le risque d'un faible recrutement] peut être résolu par l'octroi d'un contingent de chercheurs à l'analyse numérique » : la direction compenserait la prépondérance des mathématiciens purs dans la nouvelle commission en fixant chaque année un quota de recrutement de numériciens. Conclusion de la réunion : la section 1 s'intitulera *Mathématiques* et englobera, outre les activités de l'ancienne section de mathématiques pures, les disciplines relevant de l'analyse numérique et de la logique, ainsi que la recherche opérationnelle.

478

Le directoire du CNRS, réuni le 30 mars 1965, entérine ce schéma de redécoupage. Le projet de section d'informatique passera d'autant plus facilement à la trappe que les deux représentants des mathématiques au directoire sont Lelong et Lichnérowicz.

En une dernière tentative, le projet écarté est cependant présenté, parmi la liste des propositions soumise au directoire. Celui-ci se voit donner le choix entre plusieurs options : créer une section d'informatique ou une section « Informatique-Électronique ». La direction du CNRS semble donc vouloir laisser, jusqu'au bout, une chance à l'autonomie de l'informatique.

Lelong et Lichnérowicz éliminent d'emblée le projet de section d'informatique. Leur recommandation est appuyée par Jean Coulomb, ancien directeur général du CNRS, qui « estime que les mathématiques doivent rester ensemble »²⁴. Et par Louis Néel qui souhaite « intégrer l'analyse numérique dans les mathématiques » – de plus Néel, qui s'entend mal avec Kuntzmann, commence à trouver que les informaticiens sont devenus assez puissant comme cela. L'automatique (« servo-mécanismes ») reste séparée de la recherche en informatique, mais apparaît désormais associée à l'électronique et à l'électrotechnique dans une nouvelle section relevant du secteur de la physique : ces disciplines, avec la

23 Entretien et correspondance avec Jacques Arsac. La surprise qu'a éprouvée J. Arsac lors de notre premier entretien en 1986, quand je lui montrai le PV de cette réunion, exhumé des archives du CNRS, est évoquée dans ses mémoires (*Un informaticien*, Paris, Beauchesne, 1989, p. 20). Il avait totalement oublié cet épisode et la position qu'il avait exprimée, submergés bien naturellement dans son souvenir par ses travaux ultérieurs en faveur de *la science informatique*. Or c'est lui-même qui avait rédigé le PV, comme secrétaire de séance. Bonne leçon sur les limites de « l'histoire orale » !

24 J. Coulomb, qui a soutenu le redémarrage de l'Institut Blaise Pascal en ce qui concerne les moyens de calcul, n'est pas pour autant favorable au développement de l'informatique comme discipline. À la faculté des sciences de Paris, il s'élèvera avec indignation contre la création de la maîtrise d'informatique : « c'est une technique qui s'apprend en une heure, comme le soufflage du verre ! » (témoignage de J. Arsac).

mécanique, apparaissent comme les gagnantes du redécoupage. Le directeur général et le ministre ne peuvent qu'entériner la création de la nouvelle section de mathématiques (arrêté ministériel du 24 février 1966).

Les exemples étrangers ont-ils été invoqués dans les discussions, comme c'est souvent le cas lorsque des scientifiques veulent « rattraper le retard » ? On n'en trouve pas trace écrite dans les archives du CNRS. Évoquons-les pour donner des points de comparaison. Sans surprise, la reconnaissance institutionnelle de l'informatique est nettement plus précoce dans les deux pays où est né l'ordinateur, les États-Unis et l'Angleterre. Non sans discussions toutefois, notamment avec les automaticiens, ces aînés qui ne demandaient qu'à annexer la jeune informatique : vers 1960, « a struggle going on in the United Kingdom to get computing established in its own right, independent of the automatic-control group » est mentionné par l'Américain I. Auerbach, qui s'efforçait au même moment de fonder l'IFIP indépendamment des automaticiens de l'IFAC²⁵. En Angleterre, dès 1963, le *Department for Scientific and Industrial Research* (DSIR) comporte un *Computing science committee*²⁶. La même année, la Royal Society, qui se réorganise, intitule son *sectional committee* n° 1 *Pure Mathematics, Applied Mathematics, Computer Science* : association des mathématiques et de l'informatique, qui ne peut que conforter le choix similaire effectué au CNRS... mais qui affirme déjà l'existence d'une *Computer Science*.

Aux États-Unis, des départements universitaires de *computer science* apparaissent au début des années 1960 (Stanford et Purdue, 1962). D'après le président du département de *computer science* de Cornell, créé en 1965, une informatique théorique est solidement établie dès 1964, notamment sur les théories des automates, des langages formels et de la calculabilité²⁷. C'est alors qu'apparaissent les premières thèses labellisées *computer science* (University of Pennsylvania, 1965). La NSF est structurée en deux divisions parallèles : l'une par disciplines, l'autre par programmes – complémentarité d'approches similaire à celle du CNRS et de la DGRST. La seconde institue en 1967 un *Office of Computing Activities*, comportant une *Computer Science and Engineering Section* qui finance des programmes d'informatique théorique,

25 I. L. Auerbach, « The Start of IFIP. Personal recollections », *Annals of the History of Computing*, 1986, vol. 8, n° 2, p. 185.

26 Rapport annuel 1963 du *Department for Scientific and Industrial Research* (DSIR), London, Her Majesty's Stationary Office, 1964.

27 J. Hartmanis, « Observations about the Development of Theoretical Computer Science », *Annals of the History of Computing*, janvier 1981, vol. 3, n° 1, p. 42-51. Dès 1963, S. Gorn (université de Pennsylvanie) observe l'émergence d'une nouvelle discipline fondamentale centrée sur les langages de programmation (S. Gorn, « The Computer and Information Sciences : A New Basic Discipline », *SIAM Review*, vol. 5, April 1963, p. 150-155).

de *software* et d'architecture de machines²⁸. L'année suivante, l'Association for Computing Machinery publie son *curriculum de computer science* (ACM Curriculum 68). Ces réformes influenceront les décideurs français un peu plus tard, à partir de 1970 dans le cadre de la promotion des « Sciences pour l'ingénieur ».

480 La différence d'attitudes des hautes instances scientifiques françaises, britanniques et américaines à l'égard de l'informatique reflète la différence entre les statuts des sciences appliquées dans ces pays et surtout le décalage chronologique du développement des premiers ordinateurs. Il faut toutefois éviter d'idéaliser (ou de diaboliser...) la situation outre-Atlantique : elle varie beaucoup d'une université à l'autre. De plus, par un biais dû à la distance, les Européens ont perçu les réussites américaines beaucoup plus que les hésitations, les échecs ou les résistances à l'innovation qui existaient dans le Nouveau Monde comme dans l'Ancien. Par définition, ce sont les réussites qui traversent l'océan ; et les informaticiens français vont évidemment en stage ou en détachement dans les centres de recherche américains les plus investis en *computer science*. En fait, les relations parfois difficiles entre les mathématiques et l'informatique, au stade du démarrage, ont été vécues aussi aux États-Unis :

« *The high standards and norms of scholarship of the older sciences have served Computer science well by guiding its early developments. At the same time, we have also blundered extensively by assuming either that Computer science must behave very much like the older experimental sciences or that it must follow the norms of pure mathematics* »²⁹. Les informaticiens ont eu parfois, là aussi, le sentiment d'être en butte au mépris : « *Among theorists, especially those in the older generation, computing had acquired a bad odor. There was a certain theoretical macho : Real men work it out analytically* »³⁰.

28 W. W. Aspray, « Arming American Scientists: NSF and the Provision of Scientific Computing Facilities for Universities, 1950-1973 », IEEE, *Annals of the History of Computing*, 1994, vol. 16, n° 4, p. 60-74. Jusqu'à la fin des années 1960, la NSF s'occupe surtout d'équiper les universités en puissance de calcul ; elle tourne ensuite ses efforts vers le développement de l'informatique théorique.

29 J. Hartmanis, « Observations about the Development of Theoretical Computer Science », art. cit.

30 M. Waldrop, « NSF Commits to Supercomputers », *Science*, 1985, n° 228, p. 568-571. L'article déjà cité d'Amy Dahan (« L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis ») souligne le surprenant retour en force des mathématiques pures dans les universités américaines à cette époque. La comparaison avec l'émergence des mathématiques appliquées et de l'informatique en France montre un décalage temporel et matériel beaucoup plus qu'une différence de nature : l'évolution française suit avec un décalage de 5 à 10 ans selon les domaines, qu'il s'agisse d'un transfert de modèle ou d'une réinvention ; et les chercheurs américains peuvent parfois progresser plus vite étant donnée l'ampleur des moyens dont ils disposent.

On a jugé inopportun de faire de l'informatique une section à part entière au CNRS, pour des raisons d'ordre à la fois quantitatives (population encore trop petite), organisationnelle (où se situer, entre mathématiques appliquées et sciences physiques ?) et qualitatives, qui sont au cœur du problème : l'informatique est-elle une discipline scientifique autonome ou une application des mathématiques ? Les chercheurs et les laboratoires travaillant dans ce domaine doivent-ils être évalués et sélectionnés suivant des critères spécifiques, ou suivant les normes des mathématiciens ? La réponse donnée en 1965 a été la seconde : l'informatique est une technologie ; elle ne peut être représentée au Comité national que par les disciplines qui la fondent, en premier lieu l'analyse numérique.

Or ces disciplines, classées au plus bas de la hiérarchie bourbakiste³¹, souffrent d'une mauvaise image. Kuntzmann signale ces difficultés dans une lettre au directeur du CNRS :

Je pense qu'à la longue la collaboration entre mathématiciens purs et mathématiciens appliqués sera bénéfique pour les deux parties. Encore faut-il qu'elle commence. Or la situation actuelle est la suivante : la majorité du corps électoral de la section 1 est composée de mathématiciens purs qui sont imperméables aux mathématiques appliquées ; pour eux nous ne sommes ni des gens sérieux, ni même des mathématiciens. De plus nous n'avons dans notre spécialité aucune personnalité de premier plan (membre de l'Institut, professeur au Collège de France). Je crains donc [...] que nous ayons le plus grand mal à faire admettre nos demandes de boursiers³².

C'est précisément à ce moment que les choses commencent à évoluer. Une étude historique de Martin Andler souligne que peu de normaliens se sont lancés dans l'informatique jusqu'en 1965 – une vingtaine depuis la promotion 1940, y compris les physiciens qui se sont initiés au calcul électronique en réalisant les programmes nécessaires à leur recherche, comme Arsac ou Vauquois. À partir de 1966, un petit flux à peu près constant d'en moyenne deux normaliens par an, généralement mathématiciens, s'oriente vers l'informatique, attirés par les nouvelles possibilités de recherche³³.

En janvier 1966, le Comité des Sages de la DGRST signale au directeur général que le CCRST « regrette d'être saisi aussi tardivement » (des décisions prises au directoire concernant le redécoupage) et rappelle que « le Comité

31 voir J. Dieudonné, *Panorama des Mathématiques Pures : le Choix Bourbachique*, Paris, Gauthier-Villars, 1977.

32 Lettre de J. Kuntzmann au directeur général du CNRS, 10 mai 1965, Arch. nat. 85/0505/9.

33 M. Andler, « Les mathématiques à l'École normale supérieure au xx^e siècle : une esquisse », dans J.-F. Sirinelli (dir.), *L'École normale supérieure : deux siècles d'histoire*, Paris, PUF, 1994.

aurait été d'avis de créer une section d'informatique. Il demande que soit créée, dans l'immédiat, une commission spécialisée » englobant recherche opérationnelle et économétrie, « ayant les mêmes pouvoirs » (qu'une section) et qui « devrait amorcer la création d'une section d'informatique, lors des élections du Comité national prévues pour 1971 ». L'avis du CCRST du 24 janvier 1966 insiste : le comité « regrette qu'une section de l'informatique n'ait pas été créée » et approuve l'intention de la direction du CNRS de grouper, dans une commission spécialisée, informaticiens et automaticiens appartenant aux sections de mathématiques et d'électronique³⁴.

482

Il y a donc un décalage net entre le choix de la communauté scientifique et la volonté de développer l'informatique affirmée par les grandes directions – comité des Sages, DGRST, directions du CNRS et des Enseignements supérieurs. Dans l'ensemble, la communauté de vues des autorités de tutelle sur la question permet de compenser en partie la non-reconnaissance de l'informatique dans les instances consultatives d'évaluation. Mais leur velléité de ressusciter la formule des commissions spécialisées par objet technique, supprimées en 1949, ne tient pas devant la logique de répartition des pouvoirs au CNRS et doit se rabattre sur des instances de liaison moins formelles.

c. D'éphémères instances de liaison : le COMIRO et l'Amicale des informaticiens

Le Comité d'informatique et de recherche opérationnelle

En accord avec le CCRST, la direction du CNRS réunit en 1966 un Comité d'informatique et de recherche opérationnelle, destiné à analyser la conjoncture et les perspectives scientifiques et à faire des propositions au CNRS en faveur de la recherche informatique³⁵. Présidé par Marcel Boiteux qui préside en même temps l'AFIRO et le comité mixte DRME-DGRST chargé d'élaborer le Plan Calcul, ce « COMIRO » compte une vingtaine d'experts désignés par ces instances³⁶. C'est donc un organe de liaison entre le CNRS et les

34 Avis du CCRST sur le projet d'arrêté fixant la liste des sections du CNRS, 24 janvier 1966, Arch. nat. 81/401/63, liasse 157. Cette évolution est proposée en particulier par Bernard Delapalme, qui avait déjà protesté en 1962 « contre le mauvais traitement infligé aux Mathématiques appliquées », et par Marcel Boiteux qui demande d'ajouter la recherche opérationnelle aux disciplines à regrouper (CCRST, 14 janvier 1966, Arch. nat. 81/401/55, liasse 128, p. 4). Pourquoi englober l'économétrie, alors que Maurice Allais demande que cette discipline rejoigne la section d'économie ? Peut-être parce que le calculateur électronique en est devenu un outil. Depuis 1958, des collaborateurs du séminaire de Maurice Allais ont appris à faire « tourner » leurs modèles sur l'ordinateur SEA CAB 2022 de l'Atelier de construction de l'Artillerie. Un ingénieur civil des Mines diplômé de Harvard, Jean-Marie Audollent, publie *The Use of Analog Computers in Applied Economics*.

35 PV du Directoire du CNRS, 19 avril 1966.

36 PV COMIRO, 12 octobre 1966, Arch. nat. 85/0505/54. Ce PV se trouve dans une liasse de PV du Comité national, ce qui confirme que le COMIRO était considéré comme une commission interdisciplinaire du CNRS.

groupes les plus actifs dans la promotion de l'informatique comme domaine de recherche.

Dans cet esprit, J. Kuntzmann distingue les sections du Comité national où l'informatique n'est qu'un outil (pratiquement toutes les sciences) et celles où l'informatique et la recherche opérationnelle « constituent la fin même des recherches » : Mathématiques (informatique), Probabilités (RO), Électronique (Automatique et TI), Sociologie (conséquences sociales de l'automatique), Économie (applications de la RO), Sciences juridiques (droit de l'informatique), Linguistique (langages de programmation et traduction automatique)³⁷.

La principale production du COMIRO est une vaste enquête menée par François Genuys (IBM, AFCALTI, SoFRO) et Marc Drevon (Centre interarmées de recherche opérationnelle) qui, s'appuyant aussi sur les résultats de l'action concertée de la DGRST, en tirent un rapport de conjoncture spécialisé et des recommandations pratiques. Les auteurs divisent en quatre catégories « les travaux où intervient l'informatique » :

- a) Conception et développement de hardware (technologie et ensembles), où l'investissement de la DGRST compense la faible présence du CNRS.
- b) Programmation et conception de systèmes. Dans ce domaine, l'effort global est plus élevé mais reste insuffisant. Les chercheurs français font plutôt du développement (compilateurs), sous la pression des besoins pratiques, que de la recherche (invention de langages originaux, de concepts de programmation).
- c) Utilisation active de l'outil informatique, entraînant le développement de méthodes ou d'outillage nouveau, ou nécessitant une maîtrise experte du calculateur.
- d) Beaucoup plus fréquente, l'utilisation passive de l'outil informatique, notamment de programmes écrits par d'autres groupes ou acquis aux États-Unis, ce qui se comprend puisque l'on ne veut pas refaire ce qui a été réalisé ailleurs, mais qui « freine l'introduction de la méthodologie et de l'esprit nouveaux créés par l'informatique ».

Quelle orientation donner à la recherche fondamentale ? Cette question renvoie à la faible autonomie institutionnelle de l'informatique qui ne maîtrise pas encore ses critères d'évaluation. Les rapporteurs observent que les chercheurs qui se consacrent à la théorie font des mathématiques plutôt que de l'informatique théorique, sans doute pour se conformer aux critères d'évaluation universitaires. Toutefois les mathématiciens Lattès et

37 PV du COMIRO, 12 octobre 1966, Arch. nat. 85/0505/54, p. 4.

Lichnérowicz mettent en garde contre le « danger de voir les chercheurs plus attirés vers le théorique que vers l'appliqué » et le « snobisme du théoricien par rapport au technicien ». La position de l'école française d'informatique semble bonne, si l'on prend comme critères le nombre d'invitations dans des colloques ou des laboratoires étrangers. Peu d'utilisations fondamentales sont négligées en France, par comparaison avec les États-Unis. « Seuls les moyens mis en jeu et le nombre d'équipes diffèrent considérablement »³⁸. Une dispersion thématique avouée, qui permet à la recherche française d'être présente dans tous les domaines, mais non de s'attaquer à un problème crucial avec une masse critique suffisante pour conquérir une avance décisive.

484

Le rapport recommande d'intensifier la recherche en *software* ; de faciliter la mobilité des spécialistes entre l'industrie, l'enseignement supérieur et la recherche ; de publier plus systématiquement les résultats des recherches ; de créer une revue d'informatique « de caractère universitaire », en évitant de multiplier les périodiques locaux ; d'initier tous les scientifiques à la programmation (ce qui compenserait la pénurie irrémédiable de programmeurs au CNRS) ; et, du point de vue le plus pratique, de leur faciliter l'accès aux ordinateurs, à la fois par la multiplication des petits calculateurs en libre service et par la distribution de « bons de calcul » permettant l'accès aux gros équipements en *time-sharing*.

Cette considération recoupe un débat permanent dans les instances scientifiques de l'époque : faut-il favoriser les gros laboratoires bénéficiant d'une masse critique, ou les petites équipes plus à même de disséminer l'informatique mais qui dispersent l'investissement ? Le COMIRO, à son tour, conclut plutôt en faveur des gros centres (50 à 100 personnes) à l'IRIA, au CNRS et à l'université, contre une logique de saupoudrage (position notable de la part d'un comité, mais constante dans la politique de la direction du CNRS, qui espère aboutir à une quinzaine de gros centres associés en 1975). Le problème majeur réside dans la formation et le recrutement de bons chercheurs pour les peupler.

Dans l'esprit de certains de ses membres, le COMIRO doit préparer pour 1971 la création d'une section d'informatique, qu'il préfigure. Mais, sans pouvoir réel (il ne peut ni recruter des chercheurs, ni attribuer des crédits), il disparaît en 1967 : son mandat se termine quand les nouvelles sections se constituent, M. Boiteux se consacre à la direction d'EDF... et le Délégué à l'informatique

38 Rapport Drevon-Genuys, discuté au COMIRO le 16 janvier 1967, remis le 8 mars 1967 à la direction du CNRS (Arch. nat. 85/195/77).

a vraisemblablement décidé de liquider un Comité d'informatique créé par un ancien rival³⁹.

L'Amicale des informaticiens

Côté université, le directeur général des Enseignements supérieurs, l'électronicien Pierre Aigrain, incite lui aussi les « informaticiens » à s'organiser, afin de pouvoir mener des négociations avec des interlocuteurs représentatifs (il a déjà soutenu dans la même perspective le club EEA pour l'électronique et l'automatique). L'Amicale des informaticiens, un groupe informel de discussion et d'influence, est fondée dans ce but à l'initiative de Jacques Arzac et d'autres, qui s'efforcent de trouver des représentants dans toutes les facultés des sciences.

Elle commence par définir sa raison d'être : « L'informatique est l'ensemble des théories nécessaires pour maîtriser la conception, la construction et l'utilisation optimale des machines à traiter l'information »⁴⁰. Cette définition résulte d'un échange de vues entre Lions, Picard, Cécia, Schützenberger, Rigal, Pham (Caen). Laudet la réaffirme le lendemain à la réunion du COMIRO en remplaçant *théories* par *disciplines* ; Boiteux et Schwartz objectent que les ordinateurs n'ont pas nécessairement une position aussi centrale dans l'informatique (position proche de celles de Kuntzmann et d'Arzac). Schématiquement, sous l'ambiguïté du mot *informatique*, une opposition se dessine donc entre *computer science* et *computing science*. J.-L. Rigal poursuit la discussion dans un article qui décrit l'informatique comme une science en construction : ayant dépassé le stade où l'on enseignait des recettes d'emploi des ordinateurs, c'est devenu un amalgame de disciplines qui progressent vers un ensemble théorique cohérent⁴¹.

Sur le plan pratique, l'Amicale imagine les moyens de résorber le déficit d'enseignements dans cette nouvelle discipline et commence à caresser des projets de CAPES et d'agrégation d'informatique, qui resteront 35 ans dans les cartons. Une partie des réunions sert à passer en revue les cours d'informatique ou d'analyse numérique existant dans les quinze universités françaises qui en offrent désormais. Et à définir des programmes-types de certificats de licence, de travaux pratiques et de DEA – trois DEA existent en 1966, à Paris, Grenoble

39 « Galley a tué le COMIRO, il a descendu en flammes notre rapport au cours d'une réunion. Il m'a expliqué après qu'il visait, non le rapport, mais le COMIRO même : il fallait que tout ce qui existait avant lui [comme Délégué à l'informatique] ne vaille rien. De plus il ne devait pas aimer que je travaille pour IBM... » (entretien avec F. Genuys, 1995). Ce témoignage concorde avec d'autres comportements similaires du très politique R. Galley.

40 PV de la 1^{ère} réunion de l'Amicale des informaticiens, 11 octobre 1966 (Arch. de l'IBP). Les réunions sont fréquentes, à un rythme mensuel, généralement à l'Institut Blaise Pascal.

41 J.-L. Rigal, « Une définition de l'informatique », *Atomes*, mars 1967, n° 241, p. 190-192.

et Toulouse, avec des contenus nettement différents⁴². Cette définition des programmes s'élabore en liaison avec les sociétés savantes d'informaticiens, aux niveaux national (AFIRO, où s'établit le lien avec les écoles d'ingénieurs) et international (*Informatics Education Committee* de l'IFIP, où Arsac représente l'AFIRO).

L'Amicale entend peser sur la représentation de l'informatique dans les instances supérieures de l'enseignement et de la recherche. D'une part, elle recommande des personnalités à élire ou à nommer dans ces instances (elle désigne Laudet, Lions et Schützenberger pour les élections de 1967 au CNRS). D'autre part, elle pousse à la création de commissions spécialisées. Lors d'une entrevue avec le directeur général des Enseignements supérieurs fin 1966, Arsac demande la constitution d'une section autonome d'informatique au Comité consultatif des universités, et obtient l'assurance qu'une telle section sera créée⁴³. Des contacts sont noués en même temps avec la Délégation à l'informatique, récemment créée, pour appuyer ces revendications sur la dynamique du Plan Calcul. La création à la CII d'une direction « Software de base » et d'une équipe de recherches sur les systèmes, en 1967, n'est-elle pas aussi une reconnaissance de l'informatique comme une « science appliquée » autonome ?

486

L'Amicale des informaticiens ne résistera pas aux déchirements de mai 68, assez violents dans cette discipline étirée entre les mathématiciens les plus chevelus et les contrats industriels ou militaires. D'autres conflits s'y superposent, notamment celui que déclenche en 1967 le rapport de Maurice Gross (laboratoire d'automatique documentaire et linguistique), critique scientifique virulente contre les approches menées au Centre d'études de la traduction automatique (Grenoble) et au Trésor de la langue française (Nancy). Pour éphémère qu'elle soit, cette petite société discrète a joué un rôle central dans l'élaboration d'un curriculum⁴⁴. C'est avant tout les besoins de l'enseignement qui obligent à définir des programmes et à formaliser l'informatique en lui donnant les caractères d'une discipline scientifique.

42 À Grenoble, le DEA de Mathématiques appliquées comporte 5 options : Calcul numérique, Probabilités, Statistique & RO, Logique appliquée, Théorie des langages. En 1967 il est scindé en deux DEA : Mathématiques appliquées, couvrant les trois premières options, Informatique, couvrant les deux dernières (Brochure *Recherches en mathématiques appliquées*, Grenoble, IMAG, 1967, p. 6).

43 Amicale des informaticiens, PV des 11 octobre et 22 novembre 1966, archives de l'Institut de Programmation.

44 L'Amicale des informaticiens subsistera quelques années, avec P.-L. Hennequin comme secrétaire. Le 7 juillet 1970, elle adressera au directeur du CNRS une lettre demandant l'établissement de deux sections : l'une de mathématiques pures, l'autre de mathématiques appliquées (Arch. nat. 85-0505-23). Une association comparable, mais mieux établie (400 adhérents), se constituera vingt ans plus tard : Spécif, dont le *Bulletin* en ligne est une excellente source pour l'histoire récente de l'informatique dans la recherche et l'enseignement supérieur.

La période 1966-1969 voit des progrès décisifs dans la reconnaissance institutionnelle de l'informatique comme discipline autonome. C'est d'ailleurs à cette époque que le mot *informatique* se répand, quatre ans après son invention, et reçoit la consécration du dictionnaire de l'Académie française et d'un usage officiel dans le milieu scientifique. C'est aussi à cette époque qu'est lancé le Plan Calcul : déclenché par la crise de Bull qui a abouti en 1964 au passage de cette compagnie sous le contrôle de General Electric, un processus de décision technocratique aboutit fin 1966 à fusionner les petits constructeurs français résiduels pour en faire un champion national, la Compagnie internationale pour l'informatique (CII). Conduite par une Délégation à l'informatique créée au niveau gouvernemental, cette politique industrielle s'accompagne d'une politique scientifique qui se conjugue avec des réformes dans la recherche et l'enseignement supérieur.

a. Les laboratoires associés au CNRS

Le CNRS, où vient d'être instituée la formule des laboratoires universitaires associés (ancien nom de nos Unités mixtes de recherche), attribue immédiatement des contrats d'association aux grands centres d'informatique de Grenoble, puis de Toulouse.

Jusqu'en 1965, les commissions du CNRS disposaient de ressources en crédits, en personnels techniques et en chercheurs, qu'elles affectaient chaque année aux laboratoires universitaires suivant une logique de saupoudrage, c'est-à-dire d'égalitarisme tempéré par l'influence des patrons de labos⁴⁵. En instituant les laboratoires associés, le CNRS instaure un mécanisme de sélection qui donne un grand pouvoir aux évaluateurs, mais les oblige à des choix tranchés. Chacune des 32 sections du Comité national de la recherche scientifique (passées à 34 en 1967) reçoit chaque année la possibilité budgétaire d'attribuer 2 ou 3 contrats d'association à des laboratoires d'universités ou d'autres organismes. L'équipe sélectionnée obtient du CNRS un contrat quadriennal qui lui apporte à la fois des moyens matériels et humains, une visibilité institutionnelle et un label de qualité, avec une évaluation régulière. En général, au bout des 4 ans le contrat est renouvelé, le système tendant à pérenniser les situations établies tant que le labo ne démérite pas dramatiquement.

45 Par exemple en 1963 la section 3 distribue une quinzaine de postes de techniciens, dont 7 à des équipes de « mathématiques appliquées » : Kuntzmann (Grenoble), Pham (Caen), Rigal (Besançon), plus Lille, Grenoble, Marseille, Besançon classées « sous la barre » des moyens budgétaires normalement disponibles.

L'association au CNRS est donc un enjeu considérable pour les laboratoires. La concurrence devient féroce entre les universités qui ont créé des équipes de numériciens et d'informaticiens. La lutte atteint son intensité maximale à la session d'automne du Comité national, où chaque section se réunit quelques jours pour évaluer et classer les laboratoires existants et les nouvelles candidatures.

488 Pratiquement, pour obtenir un avis favorable, un laboratoire doit s'assurer d'une nette majorité dans la commission et susciter des votes négatifs contre ses rivaux afin que le classement soit indiscutable. Ce mécanisme reflète et accentue la hiérarchie des centres de recherche : un rapport de forces, qui peut résulter d'une combinaison temporaire d'alliances au sein de la commission, établit des situations durables. Ainsi, fin 1965 la section 3 donne son premier contrat d'association à l'IMAG (LA n° 7), en reportant à l'année suivante l'association du laboratoire toulousain de Laudet⁴⁶. Celui-ci l'obtient à son tour tandis que l'équipe Morel de Marseille est recalée. On voit les limites de ce qu'est une « priorité » au CNRS : les meilleurs budgets ne permettent que d'associer un gros laboratoire par an.

Comme on est entre gens civilisés, et que la plupart des équipes non sélectionnées sont déjà d'un bon niveau scientifique, des pansements sont prévus pour les non-classés. Ce sont les « aides individuelles », en crédits et en personnel technique, attribuées à des professeurs entourés d'une équipe d'enseignants-chercheurs. Ces aides continuent la vieille tradition du saupoudrage égalitaire. Elles donnent des moyens de travail à des équipes trop petites ou trop peu tacticiennes pour percer, ou constituent une solution d'attente. À partir de 1967, le CNRS ajoute à ce dispositif une formule intermédiaire, les E.R.A., pour associer de bonnes équipes de recherche qui n'ont pas la taille d'un L.A. Ce qui permet d'évaluer, de sélectionner et de soutenir les travaux qui se développent dans des universités de plus en plus nombreuses.

b. Licences et maîtrises d'informatique

La réforme menée par le ministre de l'Éducation nationale, Christian Fouchet, introduit une professionnalisation dans les études universitaires et reconnaît de nouvelles disciplines. Malgré de fortes résistances qui rendent sa préparation laborieuse, en particulier de la part de physiciens ou de mathématiciens purs

46 La lutte pour le contrat d'association a été sévère : l'IMAG a été sélectionné par 10 oui/4 non, au prix de l'élimination du laboratoire d'informatique de Toulouse (8 non /5 oui) et des petits centres de Besançon (6/6) et de Clermont (5/9) (PV s. 3, 12 novembre 1965, p. 6). Toulouse se rattrape l'année suivante (12 oui/4 non). L'équipe de Clermont obtient un vote favorable, mais qui coûte peu à la section 3 laquelle n'est pas section principale de rattachement, les numériciens-probabilistes de Clermont relevant encore de la section 2.

(« on ne va tout de même pas créer des maîtrises de conférence en menuiserie ou en informatique ! » se serait exclamé H. Cartan), elle instaure les licences et les maîtrises d'informatique en même temps que d'autres maîtrises de sciences appliquées (électronique) ; des DEA d'informatique sont mis en place à Grenoble, Paris et Toulouse. La réforme Fouchet crée par ailleurs les Instituts universitaires de technologie (IUT) où s'ouvrent vite des départements d'informatique. L'État investit massivement dans la formation.

La création de la maîtrise d'informatique révèle à nouveau les clivages observés au CNRS. L'enjeu est important, car le contenu de ce diplôme doit être défini par arrêté ministériel, pour toute la France. Lors d'une réunion tenue au ministère de l'Éducation nationale le 19 décembre 1965, tandis que « Monsieur Kuntzmann s'est surtout préoccupé de faire inclure les Mathématiques Appliquées parmi les disciplines fondamentales »,

Arsac et moi [Laudet] avons eu surtout le souci de mettre sur pied la maîtrise de sciences appliquées consacrée à l'informatique. [...] Je pense que nous devons faire un sérieux effort pour ne pas laisser saborder la maîtrise Informatique au profit de pseudo-Mathématiques Appliquées. J'ai, de mon côté, œuvré pour que les instances supérieures la prennent en considération⁴⁷.

Les toulousains sont en première ligne. Le doyen É. Durand participe à la Commission de réforme des études et s'efforce de faire prévaloir son point de vue : l'informatique est une discipline à part entière et son enseignement doit devenir autonome. Elle est nettement distincte de la maîtrise « Mathématiques et Applications fondamentales » (MAF). Laudet se démène pour mobiliser, autour de sa politique, numériciens et surtout non-numériciens. Schützenberger donne de bons avis qui permettent de consolider le projet en matière d'algèbre. L'ingénieur du Génie maritime H. Boucher, qui enseigne l'architecture des machines à l'université, insiste pour la création d'un enseignement explicitement nommé *Informatique générale*. Le but est de composer un programme où, sur les quatre certificats, un seul soit de « Mathématiques » et deux d'« Informatique ». Il est pleinement atteint six mois plus tard quand le Ministre signe l'arrêté instituant la maîtrise d'informatique, composée de quatre certificats d'études supérieures⁴⁸ :

47 Lettre de M. Laudet à A. Lentin, 12 janvier 1966, archives de l'Institut de programmation. Laudet réussit sa manœuvre, déclenchant une colère de Kuntzmann. Dans un entretien avec M. Grossetti en 1990 (le seul témoignage que Laudet ait laissé pour l'histoire), il affirmera qu'il a su convaincre Arsac et Schwartz ; et soulignera son rôle dans la création à Toulouse de la première licence d'« Informatique » en 1967, Grenoble « devant se contenter d'une licence "Mathématiques et applications fondamentales" ».

48 Décret n° 6-411 du 22 juin 1966 organisant les deux premiers cycles d'enseignement dans les facultés des sciences ; et arrêté composant les maîtrises délivrées par les facultés des sciences, fixant les horaires et les épreuves des certificats d'études supérieures correspondants (JO, 28 août 1966).

- C.1 : « Mathématiques et algorithmique »
- C.2 : « Informatique générale »
- C.3 : « Logique et programmation des calculateurs » ou « approximation et optimisation »
- C.4 : un certificat au choix de l'étudiant, parmi les autres programmes de maîtrises.

La rigidité du diplôme national est quelque peu atténuée par l'existence du certificat au choix et par la possibilité qu'à chaque faculté d'ajouter des certificats complémentaires⁴⁹.

490

En même temps est instituée la licence d'informatique, dont les premières sont mises en place rapidement (Toulouse en 1967, Lille en 1968). Les 2^e cycles d'informatique commencent donc à fonctionner à la rentrée 1967. La loi Edgar Faure de 1968 permet aux informaticiens de créer leur propre unité d'enseignement et de recherche au sein d'une université. Les Toulousains l'appliquent aussitôt. À Grenoble, les sections de mathématiques appliquées de l'Institut polytechnique, désormais indépendant (INPG), prendront en 1971 le statut d'UER pour former l'ENSIMAG (I pour *Ingénieur* et *Informatique* à la fois). Les profondes réorganisations suivant le tumulte de 1968 favorisent donc la poussée de l'informatique dans l'enseignement supérieur.

Cependant le mouvement ne va pas jusqu'à créer une agrégation et un CAPES d'informatique : la place de l'informatique dans l'enseignement secondaire et la forme qu'elle devrait y prendre commencent seulement à faire l'objet de discussions, bientôt d'expérimentations, sans justifier des concours nationaux de recrutement.

Cet investissement massif dans l'enseignement de l'informatique répond à la demande de l'industrie, des utilisateurs dans tous les secteurs et des promoteurs du Plan Calcul. Il résulte évidemment de l'activisme des « informaticiens » et de leurs jeunes associations dans les instances consultatives et auprès des décideurs.

Le besoin de définir un enseignement à contenu plus théorique et général que les formations pratiques dispensées par les entreprises se justifie par l'évolution rapide de l'informatique : il s'agit de former des diplômés adaptables, qui sauront survivre aux changements de matériels et de systèmes, pour remplacer les chefs d'ateliers mécanographiques perdus devant la 3^e génération

⁴⁹ Toulouse s'arrange pour ajouter deux certificats : C.3 « Approximation et optimisation » et C.4 « Conception de systèmes informatiques ». Grenoble crée aussi cinq certificats couvrant tous les aspects de l'informatique. Des enseignements optionnels C.4 seront créés en 1970 pour inciter les étudiants à s'orienter vers les diverses applications : Gestion, en collaboration avec les UER de Sciences économiques et les écoles de commerce ; Applications médicales ; Applications scientifiques.

d'ordinateurs. Les praticiens objectent d'ailleurs à une formation trop axée sur les mathématiques : un informaticien n'a pas nécessairement besoin d'être mathématicien, l'essentiel est une tournure d'esprit logique et méthodique. Objection qui heurte frontalement la relation filiale entre les mathématiques et l'informatique universitaire.

c. L'IRIA : espoir, déception, rebond

Les décisions de 1966, notamment l'effacement de l'informatique lors du redécoupage au CNRS, doivent être considérées dans le contexte de la préparation du Plan Calcul. Si ses perspectives industrielles paraissent douteuses, face à la puissance des constructeurs américains, ce plan porte l'espoir d'une multiplication des moyens pour la recherche. La création d'un Institut de recherche en informatique et automatique est réclamée depuis plusieurs années, à la DGRST et au Commissariat du Plan. L'objectif est d'amplifier l'effort déjà entrepris par la DGRST avec les actions concertées Calculateurs et Automatisation :

Les difficultés du développement des recherches en informatique et automatique tiennent essentiellement à leur nouveauté et à leur caractère typiquement interdisciplinaire et intertechnique⁵⁰.

Cet IRIA sera-t-il rattaché au CNRS ou prendra-t-il une forme autonome ? Le CNRS est naturellement favorable à la première solution – il crée au même moment deux instituts de recherche dont il a la tutelle, en physique nucléaire et en sciences de l'univers (IN2P3 et INAG). Mais l'expérience montre que le CNRS et ses commissions ne peuvent innover qu'à la marge⁵¹ ; d'autre part le gouvernement, les « sages » du CSRS et les promoteurs du Plan Calcul préfèrent doter le futur institut d'une certaine autonomie par rapport aux règles de la fonction publique, à la fois pour faciliter les recrutements sur le marché très tendu de l'emploi des informaticiens et pour favoriser la passation de contrats avec l'industrie – on rêve d'un IRIA qui ferait des recherches pour les transférer à la CII, créée en même temps. La valorisation des résultats de la recherche est en effet devenue le problème prioritaire de la politique scientifique. La fondation de l'IRIA fait partie d'une vague de création d'organismes scientifiques nouveaux, destinés à favoriser cette valorisation socio-économique des activités savantes.

L'IRIA résulte finalement d'un compromis entre un institut de recherche industrielle (EPIC) et un institut national. La structure du nouvel institut

50 Exposé des motifs de la loi du 3 janvier 1967 portant création de l'IRIA.

51 Entretiens avec A. Danzin, M. Debré, P. Germain, J.-L. Lions, 1986.

dessine un périmètre particulier de l'informatique, si l'on considère la vocation de ses premiers départements⁵² :

- Architecture des machines et périphériques, dirigé par F.-H. Raymond puis par P.-F. Gloess (CNET et SEA), qui développe un mini-ordinateur interactif à interface graphique, MIRIA⁵³.
- Structure et programmation des calculateurs, dirigé par l'ingénieur général de l'Armement Henri Boucher, qui développe un système d'exploitation en temps partagé « Esope », à la pointe des idées et des anticipations d'alors – un Multics à l'échelle française⁵⁴.
- Informatique numérique, dirigé par J.-L. Lions, qui travaille sur la modélisation des systèmes, l'optimisation, les techniques de décomposition, de décentralisation et de parallélisation des calculs.
- Logique et théorie des automates (puis Automates et langages formels), dirigé par Schützenberger qui y attire Nivat et Nolin pour amplifier les recherches initiées à l'Institut Blaise Pascal en algèbre, logique mathématique et algorithmique.
- Automatique et informatique économique, dirigé par Robert Pallu de la Barrière, qui ambitionne de définir un cadre théorique des systèmes dynamiques – sujets comparables à ceux qu'étudie au MIT l'équipe de J. Forrester.
- Informatique appliquée, dirigé par Jean Donio, qui lance des études sur l'enseignement programmé, l'informatique médicale et la documentation automatique.

492

Cette agglomération d'activités est due moins à une politique scientifique cohérente qu'aux raisons contingentes qui conduisent certaines de ces équipes à l'IRIA : le nouvel institut est parfois un refuge pour des hommes et des équipes en rupture avec la CII ou avec le CNRS. On constate la prépondérance de l'informatique par rapport à l'automatique, qui a moins besoin de l'IRIA car elle dispose déjà de structures établies dans l'enseignement supérieur et la recherche. Et la coexistence de vocations pour le moins variées, l'IRIA accueillant à la fois : des équipes qui mènent des projets de systèmes très novateurs, ayant

52 Sur l'histoire de l'INRIA, voir notamment Amy Dahan Dalmedico, *Jacques-Louis Lions, op. cit.* Et A. Beltran & P. Griset « Les chaotiques débuts de la recherche informatique », *Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 15, nov. 2006 ; et *Histoire d'un pionnier de l'informatique. 40 ans de recherche à l'INRIA*, Les Ulis, EDP Sciences, coll. « Sciences & histoire », 2007.

53 P. Gloess, *L'Opération Miria*, 10 avril 1969, 5 p. (Arch. INRIA, annexe au dossier du CA du 16 avril 1969).

54 Cl. Bétourné, J. Ferrié, Cl. Kaiser, S. Krakowiak & J. Mossière, « Esope (1968-1972) : une étape de la recherche française en systèmes d'exploitation », 7^e colloque international *Histoire de l'informatique et des télécommunications*, musée des Transmissions, ESAT, Cesson-Rennes, 2004 <<http://cedric.cnam.fr/~claudel/esope.html>>.

vocation à être transférés vers l'industrie informatique (ce qui ne se réalisera pas) ; un laboratoire d'informatique fondamentale ; l'entreprise de modélisation mathématique des systèmes de Lions, qui prédominera bientôt en utilisant de plus en plus l'outil informatique.

On reviendra plus en détail sur les développements menés à l'IRIA, dans le volume consacré au Plan Calcul. Ce qui nous intéresse ici est ce que l'institut représente dans l'émergence de disciplines nouvelles :

- Par son existence même, l'IRIA affirme l'existence d'une recherche informatique autonome. La composition de son conseil scientifique et de ses équipes résulte d'un dosage équilibré de mathématiciens, d'utilisateurs de calcul et de spécialistes d'autres domaines, notamment de l'électronique⁵⁵. Son directeur général, Michel Laudet, qui conserve en même temps ses fonctions à Toulouse, est un informaticien pur jus – le premier en France qui accède à un poste de ce niveau.
- L'IRIA constitue un quatrième grand pôle de recherche français, après les universités de Grenoble, de Toulouse et de Paris, donc un nouveau cadre pour former des équipes. Il offre notamment à un certain nombre de polytechniciens une manière de « botte recherche » ou d'école d'application en informatique, en particulier dans les équipes de Boucher et de Lions.

L'IRIA n'est pas seulement un centre de recherche : il a une mission tout aussi importante de formation de cadres et de chercheurs, qu'il assume assez bien. Il envoie de jeunes diplômés passer des Ph.Ds dans des universités américaines⁵⁶. Il doit enfin assister le délégué à l'informatique en recommandant des orientations scientifiques, de façon complémentaire avec la DGRST qui lui transmet progressivement ses prérogatives en informatique.

Dans la nouvelle répartition des rôles, notamment depuis l'intégration des représentants de l'informatique à la commission de mathématiques, le CNRS n'est plus qu'un acteur parmi d'autres de la recherche en ce domaine. La suppression de l'Institut Blaise Pascal en 1969, qui suit la création de l'IRIA, met un point final au vieux rêve, jadis caressé par le CNRS, de piloter l'innovation française en matière de machines à calculer. La comparaison des effectifs parle d'elle-même : quelques dizaines de chercheurs CNRS « informaticiens », ballottés entre plusieurs commissions d'évaluation, face aux 180 que l'IRIA espère avoir pour 1969.

55 Le conseil scientifique de l'IRIA est présidé par A. Lichnérowicz et comprend, outre le directeur et les chefs de départements de l'institut : A. Amouyal (CEA), J. Auricoste (CII), M. Carpentier (DRME), J. Kuntzmann (Univ. Grenoble), J. Lagasse (Univ. Toulouse), Robert Lattès (SEMA), P. Lelong (Univ. Paris et CCRST), P. Lhermitte (EDF), L. Malavard (Univ. Paris, CNRS et CCRST).

56 Jean-Marie Cadiou, Gérard Huet, Gilles Kahn, Jean Vuillemin, etc.

d. L'activisme de la DGRST

Fin 1969, la DGRST accentue la pression qu'elle exerce depuis quatre ans en faveur de la R&D en informatique. Celle-ci a trois aspects⁵⁷ :

- La R&D à finalité industrielle, qui concerne principalement le Plan Calcul (fabricants de matériels et sociétés de service).
- La recherche dont la finalité est la mise en œuvre de l'informatique, qui doit être de la responsabilité des secteurs concernés.
- « La recherche dont la finalité est l'informatique elle-même », liée à « la promotion trop attendue de l'informatique au rang d'une science fondamentale autonome avec, durant le VI^e Plan, la création d'une commission informatique au CNRS et d'une unité enseignement-recherche à l'université de Paris ».

494

Quelques mois plus tard, la même recommandation est répétée, cette fois dans une panoplie de remèdes destinés à soigner « l'état permanent de malaise » dont souffre la recherche en informatique, en France comme ailleurs en Europe⁵⁸. Les symptômes sont :

- La domination de puissants intérêts économiques et industriels, peu ou pas sensibilisés par la recherche et motivés essentiellement par l'action à court terme (sous ces termes généraux, la DGRST critique vraisemblablement la CII et ses maisons mères, CGE et Thomson-CSF) ;
- Le faible nombre de résultats des recherches directement utilisables.
- La médiocre collaboration de l'université avec son environnement.
- La pauvreté des efforts antérieurs d'enseignement de l'informatique.
- Le fait que la recherche en informatique « n'a pas vraiment droit de cité dans l'université ».

Cette commission mixte Plan-DGRST reprend à son compte une déclaration faite par Jacques Arzac en 1968 :

Il faut que l'informatique se reconnaisse comme science autonome, en liaison avec les autres branches du savoir. Elle se définit, comme la physique, la chimie et à la différence des mathématiques, par son objet : l'information, les méthodes et les moyens de ses traitements. À la différence de la physique et de la chimie, elle n'étudie pas la matière inerte. À la différence de la biologie, elle n'étudie

⁵⁷ MDIS, DGRST/Groupe sectoriel 7 et COPEP/Comité VI^e Plan, « La recherche et le développement », s.d. mais fin 1969 ou début 1970 (Arch. nat., DGRST RE 130/15).

⁵⁸ MDIS, DGRST/Groupe sectoriel 7 et COPEP/Comité VI^e Plan, Document de travail « Recherche et Développement en Électronique », s.d. mais fin 1969 ou début 1970 (Arch. nat., DGRST RE 130/15).

pas la matière vivante. Elle étudie l'information, qui est à la base de toutes les relations de l'homme avec la nature et avec ses semblables⁵⁹.

En conséquence il faut donc pendant le VI^e Plan (1971-1975) :

- Créer une commission « Informatique » au CNRS.
- Créer un comité actif au niveau de l'enseignement supérieur (CCU).
- Créer à l'université de Paris une unité de recherche en informatique fondamentale, qui devra en 1975 employer à plein temps un certain nombre de scientifiques expérimentés de haut niveau.
- Développer le centre informatique de Grenoble.
- Créer une unité de recherche à l'Institut pédagogique national.
- Demander à l'IRIA de préciser ses objectifs de recherche, « cet organisme devant se consacrer à la recherche à long terme ».

Le Commissariat au Plan transforme ces recommandations en projet politique, soulignant « la nécessité de promouvoir l'informatique au rang d'une science fondamentale autonome, débarrassée de la tutelle des Mathématiques, avec, durant le VI^e Plan, la création d'une section spécifique informatique au CNRS et d'une unité autonome d'enseignement et de recherche dotée de moyens suffisants, à l'université de Paris »⁶⁰. La Délégation à l'informatique partage ces objectifs et presse les organismes scientifiques de débarrasser l'informatique des tutelles qui l'empêchent de devenir une science majeure.

Ainsi, en juxtaposant principes généraux, recommandations particulières et critiques de fond contre l'IRIA, les instances qui pilotent depuis dix ans la politique de recherche française exigent la constitution de l'informatique comme science autonome. Au niveau du découpage des instances de gestion scientifique (Comité national de la recherche scientifique et Conseil consultatif des universités), ces recommandations sont suivies de mesures partielles.

e. Au CNRS : une officialisation rapide de l'informatique, mais des recrutements faibles

La nouvelle section 1, dont le mandat court de 1967 à 1971, est constituée en majorité de représentants des mathématiques pures, face à un gros tiers de

59 *Ibid.*, p. 7-8. « L'illumination » informatique de J. Arzac au Chambon-sur-Lignon ne daterait donc pas de 1969, mais de l'année précédente, ce que tend à confirmer son emploi du terme *science informatique* dès 1967. Le PV de réunion ne précise pas d'où vient la citation.

60 *Rapport de la commission de la recherche du Plan*, t. 2, p. 260. Le président de la commission du GS7, responsable de ces propositions, est Pierre Aigrain.

mathématiciens appliqués ou d'« informaticiens »⁶¹. Ces derniers sont, pour la plupart, non pas élus, mais nommés par le ministre ou la direction du CNRS : ces nominations compensent la faible proportion d'informaticiens dans le corps électoral. La discipline émergente est prioritaire. Ici comme ailleurs, le suffrage est mécaniquement conservateur, la technocratie favorise la novation. Quel que soit le mode de désignation, on ne peut qu'être impressionné, en lisant 40 ans plus tard la liste des membres de la section (v. annexe 1), par le haut niveau scientifique de ce panel de mathématiciens où l'on reconnaît deux médaillés Fields.

Deux présidents de section : Lions et Picard

496

La commission élit à sa présidence Jacques-Louis Lions⁶². Lions (ENS 1947) a soutenu en 1954 une thèse sur les équations aux dérivées partielles, sous la direction de Laurent Schwartz qui l'a fait nommer à l'École polytechnique dix ans plus tard. Maître de conférence, puis professeur titulaire de la chaire d'analyse numérique de la faculté des sciences de Paris, J.-L. Lions enseigne aussi à l'Institut de programmation et développe les recherches en ce domaine à l'université, à l'IRIA et à Polytechnique. S'imposant rapidement comme le chef et l'animateur d'une nouvelle école française de mathématiques appliquées, reconnu au niveau international, il forme de nombreux élèves qui essaient dans les organismes comme le CEA, au service desquels il a mis ses compétences de mathématicien et d'organisateur, puis dans les universités et les écoles d'ingénieurs où il exerce une influence intellectuelle certaine.

L'approche de Lions est celle d'un mathématicien pur élaborant des méthodes applicables, et sollicitant en permanence les physiciens et les techniciens pour lui amener des problèmes intéressants à reformuler. Spécialiste d'analyse numérique et de modèles mathématiques en amont de l'automatique, il ne se définit pas comme « informaticien » (il n'a jamais écrit un programme), mais comme l'un des premiers dans la communauté mathématicienne française qui aient saisi le potentiel scientifique des ordinateurs, en liaison avec des applications de pointe. Lions s'est d'ailleurs toujours tenu à distance de l'Association française de calcul et de ses successifs avatars informatiques, contrairement à d'autres mathématiciens renommés (Lichnérowicz, Berge, etc.).

61 La nouvelle section 1 englobe les sous-disciplines : Mathématiques pures, Logique, Analyse numérique, Informatique, Recherche opérationnelle ; on lui ajoutera en 1971 les « Probabilités et statistiques », venant de la section 2 (CNRS, *Rapport de conjoncture 1969* et arrêté portant découpage du Comité national en 1970). Par « informaticiens », nous entendons ici « chercheurs en informatique ».

62 Sur ce grand patron scientifique, voir A. Dahan Dalmedico, *Jacques-Louis Lions, op. cit.*

Bénéficiant à la fois d'une légitimité certaine auprès des mathématiciens purs (il a été l'élève de Schwartz, de Leray et de Cartan), d'une connaissance approfondie des domaines d'applications et d'aptitudes politiques personnelles fort utiles, Lions a le meilleur profil possible pour présider au regroupement de disciplines aussi différentes – malgré la méfiance de nombreux informaticiens qui lui reprochent de recentrer l'informatique autour de son domaine de prédilection, l'analyse numérique, et d'accaparer les postes pour ses « lionceaux ».

J.-L. Lions sera élu en 1973 au Collège de France, dans une chaire qu'il intitulera « Analyse mathématique des systèmes et de leur contrôle », expression qui peut englober à la fois l'informatique et l'automatique théoriques en les ramenant aux mathématiques, mais qui couvre surtout une pratique des mathématiques appliquées extrêmement gourmande en calcul. C'est aussi par cette expression qu'il désigne « l'objet essentiel » du travail des équipes qu'il dirige à l'université, au CNRS et à l'IRIA⁶³. Cette position, où l'ordinateur est réduit à l'outil de calcul, est évidemment incompatible avec celle des militants d'une « science informatique » autonome.

La nouvelle section 1 garde l'intitulé « Mathématiques » en 1967, puis devient « Mathématiques et informatique » deux ans plus tard. Cet affichage de l'informatique n'est pas qu'un effet de mode ou d'annonce, mais un compromis politique correspondant à une réelle reconnaissance d'une « science » émergente, sous la poussée des représentants informaticiens, l'encouragement du directeur scientifique G. Jobert et l'arbitrage de J.-L. Lions. Celui-ci n'aime d'ailleurs pas le mot *informatique*, qu'il juge fâcheux et réducteur ou ambigu par comparaison avec *computer science*, mais il perçoit clairement l'importance stratégique de la chose⁶⁴.

Cette reconnaissance est affichée dans le rapport d'activité 1969 du CNRS. Le bref rapport de la section 1, après avoir énuméré les résultats obtenus en mathématiques pures, souligne le niveau international atteint par plusieurs équipes françaises d'analyse numérique, qui a donc bien rattrapé le retard constaté dans les années cinquante. Il affirme aussi ces convictions nouvelles :

Les recherches en informatique se sont beaucoup développées et atteignent maintenant un niveau manifestant l'existence en France d'une science jeune et dynamique. Les axes essentiels de recherche portent sur la logique et l'architecture des systèmes informatiques, les systèmes de programmation et l'étude des machines virtuelles, la compilation et les langages de

63 Leçon inaugurale de J.-L. Lions au Collège de France, le 4 décembre 1973, citée par A. Dahan Dalmedico, *Jacques-Louis Lions, op. cit.*, p. 127.

64 Entretien avec J.-L. Lions, 20 novembre 1986.

programmation ou de description de structures de données (langages graphiques, commande numérique, [re]connaissance des formes), les structures de grosses masses de données, l'intelligence artificielle (traduction des langues, démonstration automatique), la documentation automatique. Aux confins de l'informatique et des mathématiques progressent les recherches sur la théorie des langages⁶⁵.

Cet exercice de synthèse très concerté entre les membres de la commission résume l'aboutissement de dix ans d'efforts.

En 1971 Lions, accaparé par ses fonctions dans d'autres organismes, notamment à l'IRIA, quitte le comité national au moment où celui-ci est soumis à renouvellement. Le choix du nouveau président, Picard, atteste l'évolution en faveur de l'informatique, tout en révélant les profondes différences de profils professionnels qui peuvent exister entre un mathématicien et un informaticien à l'époque.

498

Claude-François Picard a fait Maths sup. au lycée Henri IV, mais, ayant vraisemblablement échoué aux concours des Grandes Écoles, a passé en Sorbonne une bonne licence ès sciences et un diplôme de mécanique des fluides. Il a travaillé ensuite comme ingénieur à l'ONERA : un début de carrière moyen qui le destinait, selon toute probabilité, à poursuivre dans l'industrie. De fait, en 1956 il est recruté par la Société alsacienne de construction mécanique comme chef de son centre de calcul, après un stage de programmation chez Bull. Mais Jean Ville, qui a confié à Picard les TP sur Gamma 3 pendant la brève période où il a assuré le cours de calcul numérique à l'Institut Henri Poincaré, le pousse sans doute à ne pas s'éloigner du monde académique.

Au début des années soixante, Picard prend la direction des services de calcul des labos de physique de Leprince-Ringuet au Collège de France et à Polytechnique, donc sous un grand patron scientifique. En même temps, il reprend des études et vise haut sur les plans intellectuel et institutionnel : il passe un doctorat dirigé par Ville et Schützenberger, à l'Institut Blaise Pascal, avec une thèse qui peut être considérée comme l'un des premiers travaux français d'informatique théorique. Grand travailleur bien organisé, il se charge aussi de responsabilités associatives à l'AFCALTI, à la revue *Chiffres* et comme président du groupe des utilisateurs de Gamma ET Bull. Un poste de maître de conférences ouvert à Lyon en 1964 lui donne l'occasion d'entrer dans la hiérarchie universitaire. Trois ans plus tard, il revient à l'Institut Blaise Pascal comme directeur de recherche au CNRS. Indépendamment de sa valeur intellectuelle (sans quoi Ville et Schützenberger

65 *Rapport d'activité CNRS 1969*, p. 128.

lui auraient vite indiqué la porte), il a su profiter de la priorité donnée au développement de l'informatique au CNRS et à l'université⁶⁶.

Picard fonde en 1970 un groupe de recherches « Structures de l'information » (GR22 du CNRS à l'université Paris VI) axé sur l'informatique théorique : théorie des questionnaires, langages et algorithmes de manipulation de graphes, méthodes heuristiques. C'est donc un informaticien qui est élu président de la section de mathématiques en 1971, sans doute avec l'approbation active de Lions et de la direction du CNRS (G. Jobert). Si l'on raisonne en termes étroitement politiques, le développement d'une informatique théorique a été nécessaire pour qu'un ancien ingénieur de l'industrie accède à la présidence de la commission de mathématiques.

Les élections de 1971 sont un peu plus favorables aux informaticiens que les précédentes, mais la plupart d'entre eux sont encore nommés. L'intégration des probabilités et statistiques, venues de la défunte section 2, contribue à les maintenir en minorité, mais des alliances sont possibles, d'autant que les probabilistes s'efforcent eux aussi de faire reconnaître la légitimité mathématique de leur domaine : c'est vraisemblablement une coalition tactique entre informaticiens et probabilistes qui a élu Picard à la présidence – choix justifié d'ailleurs par la personnalité de Picard, « chrétien de gauche » attentif et généreux, qui n'a pas d'ennemis. Cette élection reflète aussi le faible investissement des mathématiciens purs dans le CNRS. Les événements de mai 1968 ont conduit à grossir les commissions en y introduisant plus de scientifiques de rang B, maîtres de conférence ou chargés de recherche, et des représentants du personnel non chercheur, ce qui se trouve être plutôt favorable à la représentation de l'informatique. La section 1, renouvelée avec 26 membres, compte 9 informaticiens. Leur proportion n'augmente donc pas – de plus, trois d'entre eux démissionnent ou sont exclus du Comité national pour absentéisme et, parmi les remplaçants, on ne compte que deux informaticiens. D'autre part les informaticiens restent « éclatés » entre plusieurs sections du CNRS, ainsi Maurice Nivat siège en commission de linguistique.

Une instance d'évaluation inadaptée à la recherche en informatique

La cohabitation de l'informatique et des mathématiques pures, au CNRS, n'aboutit que marginalement à un rapprochement intellectuel entre ces disciplines. Mais elle entrave le développement de l'informatique.

66 Directeur du Groupe de recherche 22 « Structures de l'information » (Paris VI), Cl. Picard siègera en 1977 en section d'informatique, ainsi qu'au directoire du CNRS. Après sa mort, un hommage rappelant l'importance de son œuvre scientifique sera publié dans la revue de l'AFCE : N.-L. Aggarwal & B. Bouchon, « Chronique sur la Théorie de l'Information », *RAIRO*, 1979, vol. 13, n° 4, p. 379-381.

Coexistant bon gré, mal gré dans la section 1, les deux disciplines ne réalisent pas cette synergie qui était le but officiel de la fusion. Le nouvel intitulé *Mathématiques et Informatique* signifie aussi que la commission est divisée en deux sous-ensembles hétérogènes. De fait elle rédige son rapport de conjoncture en deux parties indépendantes. Les rédacteurs, Lions en tête, ne le cachent pas : en mathématiques pures,

les orientations individuelles de recherche sont encore souvent déterminées sans coordination les unes avec les autres ou avec les problèmes que posent les utilisateurs des Mathématiques. En particulier, le clivage entre Mathématiques pures et Mathématiques appliquées est encore très sensible, et rares sont les mathématiciens purs qui se penchent sérieusement sur des problèmes à motivation appliquée⁶⁷.

500 Consciente de l'intérêt très limité des mathématiciens pour l'ordinateur et de la faiblesse des possibilités de l'ordinateur d'alors pour les mathématiques pures, la direction du développement scientifique d'IBM France a entrepris de son côté d'évaluer précisément l'utilisation des ordinateurs en recherche mathématique et diffuse largement les résultats de cette enquête. Quinze exposés et une bibliographie complète sur la question sont rassemblés dans un ouvrage de 1968, *Computers in Mathematical Research*, avec une introduction confiée à Jean Dieudonné – démarche très bourbachique de contournement de la difficulté par le haut⁶⁸.

Même s'il n'y avait pas de clivage entre mathématiques pures et appliquées, des raisons techniques limiteraient leur rapprochement. D'expérience, on observe au Centre de calcul d'Orsay que :

Dans la plupart des problèmes programmables de mathématiques pures, la durée des calculs croît exponentiellement dès qu'on sort des *trivialités* et ceci rend beaucoup de calculs impossibles. Il ne faut pas croire, comme on le dit trop souvent, que les mathématiciens purs ne s'intéressent pas à l'informatique. Certains ont bien compris toutes les possibilités que leur offre cette technique, mais ils ont besoin d'ordinateurs extrêmement puissants. Ainsi le calcul avec le degré 2 ne permettra pas de résoudre complètement la conjecture de Serre, qu'elle soit vraie ou fausse. Il donnera des indications précieuses. Le calcul au degré 3 demanderait 1 000 heures de [IBM/360-] 75 et on ne peut l'envisager actuellement⁶⁹.

67 Rapport de conjoncture 1969 de la section 1, p. 12.

68 J.-J. Duby et J.-Cl. Herz, *Computers in Mathematical Research* (introduction de Jean Dieudonné), Amsterdam, North-Holland, 1968.

69 CIRCÉ, *Justification de la demande de crédit du CNRS pour le CIRCÉ*, 1971, p. 8 (Arch. nat. 85/0505-140). « degré 2 » signifie sans doute « à 2 dimensions ».

Sur le plan des ressources matérielles et de l'attribution de personnels techniques, l'informatique arrivant en section 1 n'y rencontre plus de concurrence pour l'obtention de moyens, les mathématiciens n'étant pas grands consommateurs d'équipements. Les centres de calcul sortent d'ailleurs bientôt de l'enveloppe budgétaire de la commission et seront gérés à part.

Le poids des laboratoires d'informatique est beaucoup plus important que celui des formations de mathématiques. En 1967, la nouvelle section 1 gère 9 formations de mathématiques appliquées, notamment d'informatique⁷⁰, face à 4 petites formations de mathématiques pures. Les créations de laboratoires des années suivantes confirment ou accentuent cette différence entre les deux composantes de la section. À partir de la fin des années 1960, la possibilité d'obtenir des contrats d'association du CNRS suscite une vague de candidatures d'équipes à travers toute la France⁷¹.

La disproportion entre les deux disciplines est encore plus forte si on l'exprime en termes financiers⁷², d'autant que les laboratoires d'informatique bénéficient d'actions concertées de la DGRST, puis de crédits d'ATP. Même disproportion pour l'emploi de personnels techniques : la grande majorité des ingénieurs CNRS relevant de cette commission sont informaticiens (21 sur 24, dont 18 à l'Institut Blaise Pascal en 1967, les trois autres travaillant dans des centres de documentation mathématiques). L'hétérogénéité est d'ailleurs telle que, en 1975, les demandes d'association de laboratoires seront classées en deux listes que la commission refusera d'interclasser. La proportion est inverse dans une seule ligne budgétaire : le CNRS subventionne quatre revues de mathématiques et une seule d'informatique, la revue de l'AFCEP, *Chiffres*.

En revanche l'inadaptation du nouveau découpage apparaît lorsqu'il s'agit d'évaluer les chercheurs. Les « informaticiens » sont pénalisés pour des raisons à la fois institutionnelles et scientifiques.

70 IBP, Centre de calcul analogique, CETA, IMAG, Centre d'informatique de Toulouse, Centre de mathématiques sociales de l'EPHE, ERA Hennequin.

71 1968 : ERA Arzac (Systèmes d'informatique) ; ERA Catala (Centre d'études pour le traitement de l'informatique juridique, co-géré par la section de Sciences juridiques).

1969 : Pas de nouvelle formation (restrictions budgétaires).

1970 : ER Picard (Informatique théorique et intelligence artificielle) ; ERA Lions (Analyse numérique) ; Action spécifique Malavard (Recherches sur l'électrogenèse cardiaque).

1971 : ERA Rouault (Informatique et linguistique) ; ERA Vauquois (Informatique et linguistique) ; ERA Aubin (Probabilités) ; ERA Métivier (Probabilités) ; RCP Cécé « J.-A. Dieudonné », transformée en 1972 en LA 168.

1972 : ERA Nivat (Analyse numérique et Informatique) ; ERA Temam (Analyse numérique et Informatique) ; ERA Beauvils (Analyse numérique et Informatique).

1973 : LA Lions & Raviart (Analyse numérique et informatique) ; GR Picard (Informatique) ; ERA Colmerauer (Informatique) ; ERA Pair (Informatique).

72 « Il n'y a pas réellement, dans les facultés des sciences, de laboratoires de mathématiques [...], mais seulement des moyens [...] utilisés à la fois pour l'enseignement et pour la recherche » (RC 1969, p. 16).

L'aspect institutionnel résulte du faible investissement des mathématiciens purs dans le CNRS : bien établis à l'Université, n'ayant besoin ni d'équipement, ni même de laboratoire, ils ne demandent au Centre qu'un soutien aux colloques, aux revues, aux bibliothèques spécialisées, et des bourses doctorales temporaires. Ils limitent généralement la durée de passage de leurs chercheurs au CNRS aux quelques années où un attaché de recherche rédige sa thèse, avant de repartir dans l'enseignement supérieur. Stagiaires et attachés de recherche forment 81 % des chercheurs de la section et ont la moyenne d'âge la plus jeune du CNRS (29 ans), l'ancienneté la moindre (3 ans 9 mois). Le taux de rotation est aussi le plus élevé du CNRS (14 % de départs, 21,2 % de recrutements)⁷³. L'on ne fait pas carrière au CNRS en mathématiques. Ce mode de fonctionnement durera jusqu'à la fin des années 1970.

502

L'informatique, qui a encore peu de débouchés dans l'enseignement, a beaucoup plus besoin de postes CNRS de haut niveau pour encadrer ses laboratoires et promouvoir ses chercheurs⁷⁴. Cela d'autant plus qu'elle se diversifie et se spécialise, dans la logique de sa construction disciplinaire. Or les mathématiciens purs sont réticents à les faire passer aux grades CR, MR et DR (chargé, maître ou directeur de recherche), à la fois parce que ce serait contraire à leur conception des carrières scientifiques et parce que les informaticiens leur semblent souvent d'une qualité insuffisante.

Il s'est avéré que les chercheurs recrutés en mathématiques pures étaient généralement meilleurs que ceux de l'informatique. En effet, ceux-ci étaient mal formés – la formation des informaticiens français était encore très déficiente et les entreprises se battaient pour embaucher les meilleurs – tandis que les mathématiciens “purs” sortaient de l'École normale supérieure. Ce n'est que vers le milieu des années 1970 que l'ENS a fait un effort pour produire des informaticiens. Et l'Institut de programmation n'avait pas encore produit beaucoup de diplômés. La qualité globale des informaticiens a donc fini par être mise en doute⁷⁵.

73 CNRS, *Rapport d'Activité 1973*, p. 45. Seuls 6% des mathématiciens français sont chercheurs au CNRS (CNRS, *Rapport d'Activité 1977-1978*, p. 196).

74 « Il faudrait, en ce qui concerne le potentiel scientifique représenté par les chercheurs, obtenir gain de cause sur une double ligne : promotion des chercheurs à l'intérieur du CNRS, recrutement de nouveaux stagiaires ou attachés. Je pense que l'avenir de l'Institut Blaise Pascal est assez directement lié aux chercheurs confirmés restant en fonction après leur thèse. En effet, nos équipes ne pourront être convenablement charpentées tant qu'il y aura un trou au niveau des maîtres et chargés de recherche » (lettre de Cl. Picard à de Possel, 23 août 1966, Arch. de l'Institut de programmation).

75 Entretien avec Pascal Maroni, Institut de programmation, 1986.

Le directeur scientifique d'alors, G. Jobert, pousse au développement de l'informatique mais fait le même constat : « On manquait de candidats de qualité en informatique, surtout par comparaison avec le potentiel des mathématiques pures. Je craignais aussi les “poètes de l'informatique”, j'avais été traumatisé par les problèmes de gestion de l'IBP. »

Les « informaticiens » se trouvent pris dans un cercle vicieux : en concurrence directe avec les mathématiques pures, leur domaine a trop peu de réalisations scientifiques probantes pour attirer les chercheurs les plus brillants⁷⁶, on le soupçonne parfois d'attirer des carriéristes ou des inaptes, leur image en souffre et retentit en boucle sur son attractivité.

Le problème est aggravé par le fait que de nombreux laboratoires utilisant des techniques informatiques croient bon de demander leur association à la section 1, laquelle se trouve submergée de demandes concernant l'informatique juridique, médicale, etc... La commission se plaint de l'afflux des demandes de crédits « destinés à financer des calculs sur ordinateurs concernant les recherches les plus diverses, où l'intervention des mathématiques n'est que routine. Il en résulte un déséquilibre complet du budget réparti par la commission, dont le quart seulement va à la recherche tandis que le reste finance ces calculs [...] il est urgent de soustraire à la compétence de la section 1 tout ce qui concerne le financement des calculs [...]»⁷⁷. Ce sera fait avec la réorganisation des grands centres de calcul en 1973.

D'autre part, les critères d'évaluation des mathématiciens, s'ils peuvent convenir à l'analyse numérique⁷⁸, se révèlent inadaptés à l'informatique. Bourbakistes ou non, les « purs » tiennent à l'originalité des travaux, ce qui n'est pas toujours l'essentiel en informatique. Ils ont peu de considération pour certaines branches des mathématiques qui intéressent particulièrement les informaticiens : algèbre universelle, combinatoire, algèbres pauvres (monoïdes, groupoïdes, demi-anneaux, enseignés à Paris par Paul Dubreil et M.-P. Schützenberger). L'orthodoxie exigeante en matière de diplômes et d'institutions d'origine désavantage les informaticiens – ainsi, Schwartz défend ses X et ses normaliens. Et comment les mathématiciens pourraient-ils accepter « une thèse où il n'y a pas de théorème ! » comme celle qu'a soutenue en 1970 Hélène Bestougeff à Orsay, suscitant cette interrogation du doyen

76 Rappelons qu'à l'époque les candidats au CNRS n'étaient pas tenus d'avoir un doctorat – ils y entraient souvent pour le préparer. Par exemple en 1972, sur 83 candidats en section 1 (pour 18 postes), 24 sont « informaticiens », dont 7 seulement ont un doctorat de 3e cycle : les autres ont une maîtrise, un DEA ou sont ingénieurs.

77 RC 1969, p. 18 et 31.

78 L'analyse numérique, encadrée par des professeurs reconnus, est désormais bien établie au CNRS et à l'université, avec en 1971 une centaine de chercheurs dont une moitié préparent des thèses.

Zamansky⁷⁹ ? Bref, les pratiques de recherche des informaticiens et des mathématiciens diffèrent à tous points de vue.

Un facteur aggravant s'ajoute sans doute à ces handicaps, celui de l'interdisciplinarité. On peut supposer que les chercheurs les plus « au centre » de l'informatique, donc les plus « aux frontières » des disciplines établies, sont rejetés de l'une à l'autre dans un ballottage qui n'est favorable ni à la carrière, ni à la production scientifique des intéressés. Ce processus est souvent évoqué au CNRS. En ce qui concerne l'informatique, je n'en ai trouvé presque aucune trace⁸⁰, ni dans les PV de sections, ni sur les listes de candidats-chercheurs à partir desquelles travaillait la section 1. Si ce renvoi d'un guichet à l'autre a été pratiqué au stade du recrutement, le plus crucial de la carrière, ce ne peut donc être que lors de la réunion du bureau de la section, qui opère un tri préliminaire des dossiers de candidature et en désigne les rapporteurs. Il n'en reste pas de procès-verbal. À travers les individus, ce mécanisme contribue au sous-développement des domaines de recherche les plus interdisciplinaires, les moins reconnus dans les disciplines établies, d'autant qu'ils sont naturellement soupçonnés d'être la niche écologique des médiocres – comme le dit à l'époque le philosophe Louis Althusser à propos de la nouvelle université de Vincennes-Paris VIII : « l'interdisciplinarité, c'est le rassemblement des ignorances ».

504

Les différends n'apparaissent pas seulement entre les mathématiques pures et les mathématiques appliquées, mais aussi parmi celles-ci. Les conflits traditionnels entre Paris et la province se doublent de querelles d'écoles. Le Toulousain Laudet ne demande guère de postes CNRS, recrutant plutôt son personnel par l'IRIA ou sur les contrats industriels de son laboratoire ; de leur côté les Grenoblois, qui ont le sentiment que l'IRIA a été créé contre l'IMAG, profitent moins du système parisien, mais obtiennent une forme de revanche quand le Plan Calcul fonde un laboratoire commun CII-IMAG.

Qu'on ne s'imagine pas cependant une guerre interdisciplinaire permanente. La personnalité consensuelle des présidents de section, s'appuyant sur l'esprit collégial du groupe, permet d'arrondir les angles, d'autant que certains mathématiciens commencent à s'intéresser à l'informatique, notamment les probabilistes. Dans le souvenir de François Genuys,

Il n'y avait aucune hostilité. L'informatique apportait des possibilités nouvelles aux mathématiques. Les spécialistes du calcul numérique ont exhumé de

79 Témoignage (indigné !) de Jacques Arsac, pourtant ami de Zamansky, 1986.

80 Un seul cas observé entre 1968 et 1972 : Jacques Descubes, ingénieur, préparant sa thèse avec Arsac ; la section 1 le renvoie devant la section d'électronique (PV s. 1, automne 1968). Le phénomène est toutefois limité par le fait que la direction du CNRS s'est arrangée pour que le bureau de la section, à partir de 1971, soit dominé par des informaticiens (entretien avec Wladimir Mercouff, 14 novembre 1986).

vieux travaux (certains remontant à Gauss), jusque-là inexploitable, et que les ordinateurs rendaient intéressants. Je n'ai jamais vu de guerre entre les purs et les informaticiens. La section s'arrangeait toujours pour faire bénéficier les deux disciplines de postes et de moyens : les anciens protégeaient les nouveaux, qui allaient leur donner des moyens de calcul.

Selon un jeune numéricien, alors élu du syndicat des chercheurs, « Genuys, malgré son appartenance à IBM, avait beaucoup de prestige dans la section grâce à sa haute compétence mathématique. Il a bien contribué à faire évoluer les esprits »⁸¹. Il est en fait l'un des rares Français à appartenir à la fois à ces deux populations différentes que sont les gens du calcul et les mathématiciens proches de Bourbaki.

Mais quatre phénomènes apparaissent, accentuant la division en deux communautés. L'ensemble informatique grossit, devient difficile à gérer au sein de la section, à nouveau à l'étroit dans un cadre où il faut partager ses ressources.

Au même moment les mathématiciens, qui jusque-là ne faisaient pas carrière au CNRS, commencent à demander des postes de maîtres et de directeurs de recherche, à la fois parce que la croissance des postes universitaires ralentit et parce que l'idée de faire carrière au CNRS correspond à des conceptions syndicales en phase ascendante⁸².

Le nombre de chercheurs relevant de la section 1 augmente (l'effectif total géré par la section 1 passe, en 8 ans, de 125 à 196 chercheurs CNRS, dont environ une moitié de « mathématiciens appliqués » et d'informaticiens), en même temps que les branches du savoir se subdivisent et se multiplient ; il devient donc plus difficile de connaître les chercheurs des spécialités voisines, de s'intéresser à leurs travaux, de participer à leur évaluation, d'autant que la section doit traiter des centaines de dossiers en quelques jours (près de 200 chercheurs et une centaine de candidatures à l'entrée).

81 Entretien avec Pascal Maroni, Institut de programmation, 1986. Fr. Genuys avait été nommé stagiaire de recherche au CNRS en même temps que J.-P. Kahane en 1949 (Directoire du CNRS, 14 juin 1949). Notre entretien avec le directeur scientifique d'alors, G. Jobert, confirme cette description. La section compte en 1967-1971 Pierre Samuel, un algébriste et bourbakiste reconnu qui s'intéresse à la logique, mais qui se réoriente vers l'écologie politique en présidant les Amis de la Terre.

82 « Du fait de la pénurie de postes et de moyens, la section 1 a été amenée : à éliminer d'emblée toutes les candidatures de chercheurs étrangers ; à classer sur des critères incertains des candidats de renom et dont la valeur est difficile à distinguer ; à créer de toutes pièces des conflits d'influence entre disciplines complémentaires » (PV s. 1, mars 1971, motion 2, Gazette des mathématiciens, octobre 1971). CNRS, CA 3 avril 1973. Examen des cas particuliers de chercheurs en section 1 au printemps 1976.

Enfin, la bonne entente et le partage des ressources, facilités jusque-là par des budgets en expansion, font place dans la conjoncture morose des années 1970 à une concurrence plus âpre. La croissance de l'effectif chercheurs de la section 1 tombe de 33,6 % en 1967-1970 à 18 % en 1971-1975.

Une décennie plus tard, le Comité national d'évaluation soulignera que, partout en France, « trop d'enseignants de niveau faible ont été recrutés comme informaticiens pour combler un retard vieux de plusieurs décennies, et ils créeront souvent de grosses difficultés pour l'avenir s'ils en restent au même niveau. Des informaticiens, issus de la communauté mathématique et de qualité, pourront faire les conversions demandées avec moins de danger. » Ce dernier profil a toutefois ses défauts : les mathématiciens-informaticiens enseignent une approche trop abstraite, trop théorique, « ce qui gêne le développement des aspects expérimentaux de l'informatique »^a.

506

- a Comité national d'évaluation, rapport sur *L'Université Louis-Pasteur Strasbourg 1*, Paris, octobre 1986. Présidé par le mathématicien Laurent Schwartz, le CNE indique par exemple qu'en licence, à Strasbourg, « trop d'importance est donnée à la théorie des langages et à l'algorithmique, excellente pour des mathématiciens, moins bonne pour des informaticiens » (p. 21-22). D'autre part on retrouve là une vieille incohérence du système dual Université/Grandes écoles et IUT : « Les meilleurs étudiants en informatique vont dans le système sélectif IUT-MIAGE, où on leur enseigne surtout une informatique immédiatement applicable, alors que, très sélectionnés, ils auraient pu faire de l'informatique théorique ; les étudiants de la licence d'informatique, eux non sélectionnés, reçoivent l'enseignement universitaire d'informatique théorique, alors qu'ils auraient été mieux faits pour une informatique plus appliquée ! ».

Tableau 24. Chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques et en informatique (1971)

Chercheurs :	de rang A	de rang B
Mathématiques pures	192	659
Mathématiques appliquées	98	334
dont analyse numérique	5	73
Informatique	22	245
Total	312	1238

Cette statistique résulte d'une enquête auprès des principaux centres de recherche (CNRS, *Rapport d'Activité 1971*, p. 104). Elle distingue nettement l'informatique de la catégorie « Mathématiques appliquées ». Le taux d'encadrement, de l'ordre d'un tiers en mathématiques pures, est un peu plus faible en mathématiques appliquées, et inférieur à 10% en analyse numérique et en informatique (NB : ce ne sont que des statistiques – en réalité, on trouve plus de 5 professeurs qui font de l'analyse numérique).

Le résultat de cette cohabitation est un faible recrutement de chercheurs en informatique au CNRS. Les compte rendus des six sessions de printemps de la section 1, de 1970 à 1975, le montrent : cette section recrute, en moyenne annuelle, 19 chercheurs dont 6 informaticiens. C'est peu, en plein Plan Calcul voué à rattraper un retard national, et quand on sait qu'une partie de ces attachés de recherche ne sont pas destinés à rester plus de quelques années au CNRS.

C'est le même ordre de grandeur et la même proportion, un tiers, que dans l'ancienne Commission de mécanique générale et de mathématiques appliquées dix ans plus tôt.

L'encadrement et les perspectives de carrière restent faibles : les informaticiens se plaignent de ne compter que deux postes CNRS de rang A – un maître et un directeur de recherche⁸³. La grande majorité des chercheurs de rang B, attachés ou chargés de recherche, ne fait que passer au CNRS avant de repartir enseigner à l'université. Statutairement, un poste d'attaché de recherche est attribué pour une durée limitée à 4 ans, un poste de CR pour 6 ans.

f. À l'université : le Comité consultatif et la Mission à l'informatique

La représentation autonome de l'informatique s'impose parallèlement dans les hautes instances universitaires, trop lentement au gré des informaticiens qui pressent les pouvoirs publics de changer les structures. En octobre 1966, l'Amicale des informaticiens universitaires a demandé en vain « la constitution d'une section autonome d'informatique dans la division des sciences du Comité consultatif »⁸⁴. Une telle instance devient nécessaire à partir du moment où l'on crée des maîtrises et des licences d'informatique : il faut recruter et « réguler » un corps enseignant *ad hoc*. Or on manque dramatiquement d'enseignants informaticiens, par rapport à une demande de formation qui explose. Articles de presse et rapports officiels, dont le plus connu est celui de P. Lhermitte, dénoncent sans relâche ce goulet d'étranglement.

Fin 1970, une section est créée au Comité consultatif des universités, amalgamant l'informatique, la statistique et l'analyse numérique. Cette formule, qui aurait été satisfaisante cinq ans plus tôt, est dépassée car elle maintient les candidats « informaticiens » sous les critères d'évaluation des mathématiques... discipline où ils sont souvent jugés peu compétents : analyse numérique et statistique se liguent volontiers contre l'informatique. Arsac y siège et obtient qu'on inscrive, après leur nom, la mention « informatique » : « restrictive ou infamante aux yeux des mathématiciens (?) », cette mention marque qu'ils ne peuvent être recrutés sur un poste de mathématicien, « mais on affirmait du même coup l'originalité de l'informatique ». Ce procédé résolument

83 CNRS, *Rapport d'Activité 1973*, p. 215. Le DR est Picard qui, n'étant pas agrégé, ne peut être professeur.

84 Amicale des informaticiens, PV du 11 octobre 1966, Arch. Institut de programmation. Le Comité consultatif des universités (aujourd'hui « national », CNU) examine les dossiers des candidats à des postes dans l'Enseignement supérieur, à partir du grade de maître-assistant, et inscrit ceux qu'il sélectionne sur des « listes d'aptitude ». Seuls les candidats inscrits sur ces listes peuvent se présenter au recrutement dans une université ou une faculté, dont le conseil choisit souverainement.

militant se complète de quelques coups d'éclat, comme on peut en faire dans une commission quand le rapport de forces est défavorable, afin de maintenir la pression, de marquer les esprits et d'obtenir des concessions à la marge.

En fait, à l'université comme au CNRS, si les « informaticiens » sont minoritaires dans les instances consultatives, ils bénéficient de l'appui des hautes autorités. Le ministre de l'Éducation nationale s'est adjoint en mars 1970 une Mission à l'informatique. Le chargé de mission est Wladimir Mercouroff, normalien, professeur de physique à l'université de Paris-Sud Orsay, sans expérience en informatique mais qui a appris à gérer les questions de recherche à la direction des enseignements supérieurs, où il vient de passer deux ans avec Robert Chabbal et Pierre Aigrain. Le choix d'un non-informaticien s'avère judicieux : on évite ainsi d'accaparer un professeur d'informatique, et à terme on en gagne un puisque Mercouroff finira par l'enseigner ! Il s'entoure d'une petite équipe de conseillers et d'ardents promoteurs d'une discipline informatique à part entière comme P. Poulain, inspecteur de l'Enseignement technique qui œuvre notamment pour développer l'informatique dans les IUT, ou J. Hebenstreit qui fait de même à Supélec. En coordination avec les conseillers de la Délégation à l'informatique qui poursuivent des objectifs similaires, la mission fait avancer divers dossiers pour accélérer la diffusion de l'informatique dans l'enseignement secondaire, technique et supérieur, et favorise son institutionnalisation⁸⁵.

Ce dispositif est complété au Ministère par une Commission pour l'enseignement de l'informatique, qui pousse dans les mêmes directions. En avril 1972, cette commission déplore la pénurie de personnel enseignant qualifié et pointe l'une des « causes les plus graves de cette crise » : la structure du Comité consultatif. Quelques mois plus tard, la Mission à l'informatique obtient enfin que le Ministère crée une sous-section autonome d'informatique.

Tableau 25. Les mathématiques au Comité consultatif des universités (1972)

Section 17	Mathématiques I	(trois sous-sections de mathématiques pures)
Section 18	Mathématiques II	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse numérique • Informatique fondamentale et appliquée • Probabilités & Statistiques
Section 19	Mécanique	

En 1972, une sous-section autonome est attribuée à l'« Informatique fondamentale et appliquée ». Ce découpage demeurera jusqu'en 1983, où l'informatique recevra une section à part entière.

⁸⁵ W. Mercouroff, « Le rôle de la Mission à l'informatique au ministère de l'Éducation nationale (1970-1975) », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 2, p. 291-300. Un autre professeur d'Orsay, Christian Chabbert, succède à Mercouroff en février 1974. La Mission à l'informatique sera supprimée à l'été 1975.

Entre temps, Mercoureff a été nommé directeur scientifique au CNRS, responsable notamment des moyens de calcul et de la recherche en informatique qui ne sont pas sous tutelle de sa Mission au MEN. Il peut ainsi mettre en œuvre une politique cohérente dans la recherche comme dans l'éducation.

Au début des années 1970, la conviction que l'informatique est une discipline à part entière est donc assez largement partagée pour que l'Enseignement supérieur lui voue une sous-section autonome du CCU et pour qu'au CNRS le rapport de conjoncture soit écrit indépendamment de celui des mathématiques. Le rapport d'activité 1971 du CNRS distingue clairement entre Mathématiques pures, Mathématiques appliquées, Recherche informatique ; celle-ci a un budget identifié (11,2 MF, soit environ 1 % du budget total du CNRS), distinct des moyens de calcul communs (8,5 MF)⁸⁶.

La création d'une commission d'informatique de plein droit aurait vraisemblablement lieu dès 1971 au CNRS, si elle ne dépendait que de la volonté de la direction du Centre et de la maturation des recherches en ce domaine. Mais des contraintes institutionnelles font que, quatre ans après les profonds remaniements du Comité national intervenus au milieu des années soixante, et après les turbulences de mai 68 dont le CNRS s'est mieux protégé que l'université, la direction du Centre préfère ne pas provoquer un nouveau grand débat. On ne peut modifier que marginalement les sections et continuer à développer la recherche fondamentale.

C. LA CONSTITUTION D'UN CORPUS THÉORIQUE

Si l'informatique était encore, en 1965, au moment des consultations préalables au redécoupage, « une science incertaine », elle s'efforce de sortir des bricolages auxquels ses détracteurs la réduisent.

Une fois publiés les résultats de la RCP 30 (Procédures numériques en Algol), le CNRS a lancé en 1967 deux nouvelles recherches coopératives dans le domaine qui nous occupe. Toutes deux poursuivent des programmes de longue haleine visant à renforcer la recherche française, l'une en mathématiques, l'autre en informatique :

- « Équations aux dérivées partielles », sous la direction de Jean Leray avec la participation active de J.-L. Lions.
- « Algorithmes », sous la direction de N. Gastinel⁸⁷.

⁸⁶ CNRS, *Rapport d'Activité 1971*, p. 98-108. Le budget de 11,2 MF inclut les dépenses de personnels (82 chercheurs, 132 ITA) et les ordinateurs voués à la recherche informatique dans 5 laboratoires propres ou associés.

⁸⁷ La RCP « Algorithmes » démarre avec 100 kF pour le matériel, 5 kF pour les vacances et les missions (CNRS, PV section 3 du 27 octobre 1966, p. 9).

Dirigées, la première par un mathématicien pur, la seconde par un informaticien, leur coexistence illustre l'équilibre des influences au sein de la commission 1 et le rôle central de l'analyse numérique.

Des manifestations spécialisées commencent à s'organiser, en complément des « grand'messes » généralistes de l'AFCEP. Elles se concentrent sur un type ou un domaine d'applications, tout en faisant place aux recherches amont correspondantes, et servent à afficher l'investissement des organisateurs dans ledit domaine. À la fin des années soixante, les plus importants sont le colloque CNRS-IRIA sur la documentation automatique (novembre 1968), qui réunit plus de 100 personnes (bibliothécaires, documentalistes, chercheurs, ingénieurs, industriels, etc.) ; celui qu'organise l'IRIA la même année à Versailles sur la *démonstration automatique*⁸⁸ ; et le grand *Colloque international sur la téléinformatique*, tenu à l'UNESCO en 1969 et publié la même année, qui peut être considéré comme le véritable coup d'envoi de la « télématique », dix ans avant le rapport Nora-Minc. S'y ajoutent diverses écoles d'été d'informatique, notamment celle organisée à partir de 1969 par EDF, le CEA et l'IRIA.

510

a. La demande des praticiens et la crise du software

Les praticiens eux-mêmes atteignent les limites de l'empirisme. Avec le progrès rapide des technologies, notamment la réduction continue du coût des composants, on n'en est plus à passer des heures à économiser un mot de mémoire dans l'écriture d'un programme. À la fin des années soixante, la pratique de la programmation et la conception de systèmes logiciels de plus en plus gros et complexes, que permet la taille mémoire croissante du hardware, devient « massive ». Massive, d'une part au sens où des milliers de programmeurs écrivent des millions de lignes de code ; d'autre part au sens où leur coût s'alourdit dans les grands centres de traitement, ainsi que chez les constructeurs qui commencent à développer des systèmes d'exploitation et des produits logiciels (utilitaires ou applications). Cela pose de multiples problèmes, qui peuvent se ramener à deux principaux : la fiabilité du logiciel et la productivité de ceux qui le réalisent. Ces deux problèmes sont indissociablement techniques et économiques : une panne coûte cher ; il faut mettre au point des techniques de développement pour que le software soit plus économique à concevoir et à faire fonctionner.

L'émergence de ces problèmes suscite deux efforts parallèles dans deux milieux professionnels. Dans le milieu universitaire, c'est l'une des motivations invoquées pour affirmer la nécessité d'une « science informatique » qui

88 M. Laudet (dir.), *Colloque international sur la démonstration automatique*, Berlin, Springer, 1970.

établirait les pratiques sur des bases mathématiques ou logiques rigoureuses. Ces problèmes entièrement inédits confèrent une importance nouvelle à des approches ou à des thèmes jusque-là marginaux. Exemple typique, les preuves de programme. Comment être sûr, quand on a écrit un programme, qu'il ne contient pas une erreur ? Le faire tourner plusieurs fois sur l'ordinateur en variant quelques paramètres permet seulement de le valider pour ces paramètres-là, mais ne prouve rien sur sa valeur générale : c'est de l'expérimentation empirique. Acceptable dans les utilisations courantes, cette méthode devient vite insuffisante, notamment pour les logiciels temps réel qui contrôlent des systèmes nucléaires ou aérospatiaux. Comme l'a écrit Dijkstra, les tests peuvent seulement révéler la présence de bugs, mais ils ne démontrent jamais qu'il n'y en a pas. La « preuve de programme » devient un sujet crucial où la recherche en logique mathématique n'est plus seulement un jeu de l'esprit.

Parmi les praticiens de l'informatique, dans l'industrie et les services, c'est une exigence vitale d'efficacité et de compétitivité qui conduit à mettre au point des méthodes systématiques d'analyse et de programmation, puis de conduite de projet. Ces multiples méthodes (programmation modulaire, structurée ou *top-down*, CORIG à la CGI, Blanpré chez IBM, Warnier chez Bull...) deviennent une base des cours de formation ou de perfectionnement des programmeurs et des informaticiens. Elles apportent plus de clarté dans l'écriture des logiciels, réduisent le risque d'erreurs, facilitent les modifications et le repérage des fautes. Avec un corpus de méthodes, de tests et d'outils, l'informatique devient une nouvelle branche de l'ingénierie.

Ces deux efforts parallèles sont moins complémentaires qu'antagonistes. Les praticiens critiquent l'enseignement universitaire de l'informatique, « jusqu'à présent beaucoup trop théorique, sans lien avec les applications ou tout au moins orienté vers des applications minoritaires » et qui « doit être totalement réformé »⁸⁹ dans le cadre du Plan Calcul. De leur point de vue, l'enseignement supérieur n'a pas formé les informaticiens dont l'économie a besoin, ni en quantité, ni sur le plan de l'adéquation des contenus. Pour devenir un informaticien employable, un étudiant n'a pas besoin d'un lourd bagage mathématique : un esprit logique et rigoureux, des connaissances en management donnent les bases adéquates. Les théoriciens, quant à eux, aspirent à fonder et à enseigner une véritable science appliquée, qui débarrasserait l'industrie informatique des bricolages inefficaces.

89 H. Boucher, « L'informatique en France », *Revue de la Défense nationale*, avril 1967. Boucher, directeur du Centre de calcul scientifique de l'Armement, enseigne l'informatique à l'université de Toulouse. Son point de vue est partagé dans l'industrie, cf. Alain Schlumberger, « La mainmise des scientifiques sur "l'informatique" » (*Le Monde*, 26 mai 1966), qui engage une polémique avec des universitaires, en particulier Jacques Arsac.

Claude Pair considère l'apparition à Nancy en 1964 du cours de « Théorie des langages et compilation » comme le faire-part de naissance d'une science informatique en France⁹⁰. Cela résulte du travail de mise en forme conceptuelle et logique entrepris pour perfectionner Algol. Dans l'enseignement, la compilation (analyse syntaxique et génération de code) possède une valeur structurante car elle permet d'aborder la plupart des algorithmes majeurs concernant les structures de données⁹¹ et certaines de ses approches sont transposables à d'autres domaines ; à ce titre elle deviendra l'un des piliers de l'ingénierie logicielle. Réaliser un compilateur, ce n'est pas seulement écrire un logiciel, c'est aussi réfléchir à des méthodes : technique, science et management de projet y sont indissociables. Les doctorants qui consacrent leur thèse à la réalisation de compilateurs en font ensuite un fil rouge de leur enseignement. De façon similaire, dans l'industrie, la réalisation de compilateurs est l'expérience formatrice de tous les chefs de projets de software de base, à la CII par exemple. L'écriture de compilateurs occupe une bonne partie de la dernière année de maîtrise et de la deuxième année d'école d'ingénieurs, à partir de la fin des années soixante.

Le langage n'est pas la pensée, mais ces travaux vont permettre le virage théorique et méthodologique de la programmation, au début des années soixante-dix. Cette tendance à l'abstraction ne répond pas seulement au besoin de se légitimer face aux mathématiciens. C'est une dynamique théorique correspondant au besoin intrinsèque de la recherche : généraliser, abstraire permet de mieux comprendre la réalité, de dépasser les cas particuliers pour atteindre les structures sous-jacentes, et si possible de découvrir des équivalences entre ces structures et des structures mathématiques préexistantes ; donc de bénéficier des connaissances attachées à celles-ci. Et d'être *in fine* plus efficace, plus adaptable à des problèmes inédits, ce qui est particulièrement nécessaire face au changement technique galopant. Et plus conforme aux exigences de l'enseignement d'une discipline nouvelle, au moment où les postes se multiplient dans les facultés et les écoles d'ingénieurs.

b. Des langages aux systèmes

Dans la seconde moitié des années soixante, la recherche continue à s'occuper de langages et d'analyse numérique qui restent les bases de l'enseignement de l'informatique, mais elle investit de nouveaux domaines : systèmes, bases de données, communication homme-machine, informatique médicale, informatique non numérique dominant désormais dans les contrats de

90 C. Pair, « À tout CRIN : histoire d'un laboratoire », art. cit., p. 315.

91 Arbres (n-aires), pile LIFO, graphes (optimisation), automates à états finis ou à pile, *hash table*, etc.

recherche de la DGRST et de la DRME, les thèmes des colloques et congrès, les nouveaux sujets de mémoires et de thèses.

Le bouillonnement se calme autour d'Algol, qui s'efface progressivement en tant que sujet central, mais influence durablement la conception de la programmation et reste un outil d'enseignement jusqu'aux années soixante-dix. Algol n'a pas été adopté officiellement par des constructeurs d'ordinateurs assez influents pour l'imposer (Burroughs reste le seul). Il subit la concurrence de deux nouveaux langages :

- PL/I, conçu par IBM en s'inspirant de la rigueur d'Algol et de l'expérience pratique de Fortran et de Cobol, que les promoteurs de PL/I espèrent remplacer par ce nouveau langage universel.
- Fortran IV, fruit d'un travail de normalisation par les sociétés savantes américaines pour le compte de l'American Standardization Association, qui a abouti fin 1964 à la publication d'une norme publiée dans les *Communications of the ACM*. Après une adaptation effectuée par l'ECMA, l'association européenne des constructeurs d'ordinateurs, Fortran IV devient une norme ISO de portée mondiale. Cette normalisation donne à Fortran, malgré ses faiblesses de principe connues dès cette époque, un rôle décisif dans le développement pratique de l'informatique. Chaque constructeur offre désormais un Fortran IV, utilisé systématiquement dans toutes les applications techniques : Fortran devient le langage de programmation par excellence des ingénieurs.

La question des systèmes⁹² arrive au premier plan des préoccupations au milieu des années soixante. Elle est posée notamment par la difficile mise au point du software de base des ordinateurs de 3^e génération et des gammes compatibles (IBM/360). Et par les problèmes nouveaux de l'informatique temps réel et conversationnelle, thème central en 1966 des Journées d'études AFIRO⁹³. Des sociétés de service ont été créées spécialement en 1964 pour développer des systèmes : SACS (dirigée par J. Carteron dans le groupe SEMA), SESA dont le fondateur, Jacques Stern, milite en faveur de l'analyse des systèmes comme discipline-clé d'une nouvelle ingénierie – pour la SACS il s'agit essentiellement de software de base, tandis que la SESA s'oriente plus largement vers les grands

⁹² Le terme *système d'exploitation* semble avoir été employé épisodiquement, mais il ne s'imposera que dans les années 1970 : on ne le trouve dans aucun colloque AFCET avant 1971. Les seules exceptions se trouvent dans l'objet social d'une filiale de la SEMA créée fin 1963 et dans le livre de Gérard Bauvin, *L'Informatique de gestion*, paru en 1968. On parle plutôt en France de *software de base* (ordres initiaux, moniteur, compilateurs, gestion d'entrées/sorties, etc.), d'*operating system* ou d'OS, expression empruntée à IBM : « OS/360 ».

⁹³ Journées d'études AFIRO, *Utilisation des ordinateurs à distance en temps réel et en temps partagé*, organisées par L. Bolliet à Grenoble (29 mai-3 juin 1966), Paris, Dunod, 1967.

systèmes en réseaux. La question des systèmes d'exploitation intéresse directement les informaticiens universitaires, à la fois parce qu'elle fournit des sujets de thèses et parce qu'elle conditionne l'efficacité de leurs centres de calcul.

514

Les ordinateurs ont à l'époque trois grands champs d'applications. En contrôle de processus, on leur demande vitesse et fiabilité sur des tâches routinières généralement simples. En gestion, la machine, d'une taille proportionnée à celle de l'entreprise, est exploitée en *batch* par un service mécanographique spécialisé. Il en va tout autrement en calcul scientifique, pour deux raisons : il faut un ordinateur puissant pour traiter des calculs beaucoup plus complexes qu'en gestion ; et chaque chercheur est plus apte que quiconque à formuler ses problèmes et à les programmer, avec l'aide des informaticiens du centre ou, si possible, après un stage de formation Fortran ou Algol. Donc, dans la plupart des cas, les chercheurs ont besoin d'un gros ordinateur pendant des temps assez courts, pour tester et mettre au point leurs programmes, puis pour les faire fonctionner. D'où la course à la puissance dans les centres de calcul scientifique et le développement de systèmes en temps partagé qui permettent de maximiser l'emploi de ces coûteux processeurs. Quelques dizaines de terminaux, télex modifiés ou machines à écrire IBM, offrent à chaque utilisateur une liberté d'accès nouvelle à un gros ordinateur et l'impression de disposer de toute sa puissance. Ces systèmes de *time-sharing* permettent aussi d'organiser des TP d'informatique pour de nombreux étudiants – ils ont d'ailleurs été conçus à l'origine pour enseigner la programmation : ils sont une solution technique au goulet d'étranglement majeur de l'économie de l'informatique à l'époque, la pénurie de personnel qualifié.

On économise donc le temps de l'utilisateur comme celui de la machine. Cela au prix d'un système très complexe de partage de mémoires, de gestion de files d'attente, de sécurité, de télécommunications et bien sûr de compilateurs, dont les universitaires ont déjà une bonne expérience.

Chaque grand centre de recherche se lance dans la conception d'un système d'exploitation en temps partagé, expérimente concepts et formules, met au point des méthodes de mesure de performances. Les systèmes résultants sont utilisés sur place et améliorés au long des années. S'ils sont rarement transférés à l'industrie informatique qui les juge trop expérimentaux et préfère développer les siens en interne, elle utilise volontiers les spécialistes qui s'y sont formés et certains des outils logiciels réalisés. L'école d'été d'informatique organisée par EDF, le CEA et l'IRIA consacre sa première réunion, en 1969, aux systèmes d'exploitation. En 1971 les systèmes d'exploitation sont assez bien explorés pour qu'un collectif entreprenne de rédiger un manuel d'enseignement faisant la synthèse des acquis, répondant à la fois à la demande massive de formation

et aux recommandations du rapport COSINE de l'US National Academy of Engineering⁹⁴.



Figure 44. L'équipe ÉSOPE et le CII 10.070 de l'IRIA (photo INRIA)

Vers 1970, la plupart des centres de recherche en informatique développent des systèmes d'exploitation en *time-sharing*. Il s'agit à la fois de comprendre et de faire progresser ces objets nouveaux et de disposer d'un ordinateur à terminaux multiples facilitant l'enseignement et la recherche en programmation. À l'IRIA, l'ingénieur de l'armement Henri Boucher réunit une équipe autour d'un projet de système « ÉSOPE », inspiré de Multics et du système THE de Dijkstra. Ce travail forme une trentaine de spécialistes qui essaieront ensuite dans l'enseignement supérieur et dans l'industrie. Une console graphique est adaptée au système, chose encore rare sur les ordinateurs de cette époque.

c. La science informatique

Jacques Arsac, qui était resté neutre lors de la discussion décisive de 1965 au CNRS, devient ensuite le militant le plus ardent de la science informatique, proclamée dans son manifeste de 1970. Son évolution nous intéresse donc en ce qu'elle permet de repérer assez précisément l'émergence intellectuelle de thèmes nouveaux. J. Arsac (ENS 1948) avait fait partie de la première équipe réunie par Yves Rocard pour constituer le centre de radioastronomie de Nançay en 1952. Ayant acquis une petite pratique de l'électronique par l'instrumentation, il fut ensuite envoyé s'initier à la programmation chez IBM, se passionna pour cette technique et, affecté à l'Observatoire de

94 J. Bellino, S. Krakowiak *et al.*, « CROCUS : une étape dans l'enseignement des systèmes d'exploitation », dans *3^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, op. cit. Publié en 1975 chez Dunod, le manuel « Crocus » sera plusieurs fois réédité.

Meudon, persuada ses collègues astronomes d'acquérir un IBM 650 plutôt qu'un nouveau télescope. C'est par les recherches sur les réseaux d'antennes et sur le traitement des images qu'il est venu au calcul, d'où son premier livre, *Transformation de Fourier et théorie des distributions* (1961), qui relève typiquement de l'analyse numérique.

Élargissant ensuite son activité aux langages comme Algol, Arzac passe à l'Institut Blaise Pascal, devient directeur de l'Institut de programmation et titulaire d'une nouvelle chaire de Programmation à la faculté des sciences de Paris. À partir de 1965, il déplace son attention vers les systèmes d'exploitation, cette nouvelle catégorie du software nécessitée par la complexité croissante du matériel et des concepts d'emploi, leur consacrant un cours et son deuxième ouvrage, *La Conduite des ordinateurs* (1968)⁹⁵.

516

Or ce domaine désormais central paraît inclassable. Si l'analyse numérique est évidemment une branche des mathématiques, si la recherche en langages de programmation relève de la linguistique et de la logique, le développement de systèmes n'est l'application d'aucune science préexistante : il n'emprunte pas grand-chose aux mathématiques, il n'a pas encore de théorie propre – et ce n'est pas non plus une technique établie avec ses procédés sûrs et éprouvés. On peut seulement postuler, comme le fait Arzac dans un article de 1967, qu'on est « dans l'ère primaire de l'évolution de l'informatique » – au stade où « nous en sommes à collecter les faits », à noter les divers choix et compromis qui déterminent les spécifications des systèmes, à réunir un matériau expérimental et formuler des hypothèses, à lancer de bons étudiants sur des thèses qui permettront de dégager des concepts fondamentaux⁹⁶. « L'informatique est une science jeune. Elle englobe un certain nombre de branches dont quelques unes sont un prolongement neuf d'études anciennes. [...] Beaucoup d'autres secteurs de l'informatique en sont encore à l'hésitation des premiers pas », notamment en matière de systèmes⁹⁷.

95 Avançons l'hypothèse que la diffusion de la gamme universelle IBM/360, ainsi nommée parce qu'elle couvre aussi bien les applications de gestion que le calcul scientifique, tandis que jusque-là ces domaines étaient équipés de types différents d'ordinateurs, a contribué à faire prendre conscience d'une unité fondamentale de l'informatique.

96 J. Arzac, « À propos des systèmes de programmation », *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trimestre 1967, p. 13-15. Arzac compare la construction empirique d'une science informatique avec celle de la spectroscopie au début du xx^e siècle. Dans son livre de 1970, un bref sous-chapitre sur les systèmes temps réel signale qu'il y a peu à en dire car « on ne possède guère d'étude ou de description de tels systèmes » (*La Science informatique*, p. 208), lacune d'ailleurs rapidement comblée. Un naturaliste du xix^e siècle, manquant de données empiriques pour établir une classification, aurait employé les mêmes termes.

97 J. Arzac, « Avertissement au lecteur », dans J. Bertin, M. Ritout et J.-C. Rougier, *L'Exploitation partagée des ordinateurs*, Paris, Dunod, 1967. Cet ouvrage résulte d'un contrat de la DRME. Les auteurs affirment en introduction que, si différentes philosophies de l'exploitation en

D'où une mission assignée à la recherche universitaire : multiplier les expérimentations sur les systèmes d'exploitation. L'industrie n'adoptera sans doute pas tels quels des systèmes de laboratoire, mais profitera de ces explorations, des techniques d'écriture mises au point et de l'expertise ainsi formée. C'est une aventure pleine d'obstacles et de risques :

Si les branches mathématiques de l'informatique bénéficient d'une tradition solide, servant de guide aux chercheurs et fournissant des critères d'appréciation de leur travaux, tout est à inventer en informatique pratique⁹⁸.

Or l'obstacle institutionnel est levé en 1967 par la réforme de l'enseignement. Dès l'instauration de la maîtrise d'informatique, confiée à Paris à l'Institut de Programmation, Arzac ouvre celui-ci à la recherche en y créant un DEA de « Mathématiques appliquées », vite rebaptisé « Informatique » en 1968. Le programme de ce DEA montre les contours et les lignes de force de la recherche en informatique telle qu'elle se construit alors :

- Programmation (J. Arzac),
- Informatique linguistique (M. Gross),
- Logique et Informatique (A. Lentin),
- Théorie des questionnaires (C.-F. Picard),
- Apprentissage et démonstration automatique (J. Pitrat),
- Informatique algébrique (M.-P. Schützenberger),
- Transmission de l'Information (J.-C. Simon).

Les disciplines mobilisées ne correspondent plus à celles que l'on englobe alors dans la catégorie « Mathématiques appliquées ». La conception d'ordinateurs ou de systèmes fait aussi appel à d'autres branches des mathématiques, comme l'algèbre, la topologie ou la logique, ainsi qu'à la théorie linguistique et à d'autres savoirs qui ne sont pas classables dans les mathématiques. On peut grouper ces orientations de recherches en trois directions :

- Algorithmique, essentiellement numérique. L'analyse numérique se développe impétueusement, particulièrement en analyse fonctionnelle, équations différentielles et aux dérivées partielles, calcul matriciel. L'algorithmique non

temps partagé existent, c'est parce qu'il n'existe pas de théorie bien nette en informatique : « Il appartient à notre génération d'utilisateurs de l'élaborer à partir d'un faisceau de connaissances expérimentales qui s'enrichit chaque jour. [...] Un jour viendra où il existera une véritable Informatique théorique, qui ne sera ni de la Mathématique, ni de la Physique, encore qu'elle puisse utiliser les techniques de l'une et de l'autre, mais qui sera la Science Informatique. » Affirmations qui reflètent sans doute à la fois les convictions des auteurs et leurs échanges avec le directeur de la collection « Monographies d'informatique », J. Arzac.

⁹⁸ J. Arzac, « À propos de la réforme de l'Enseignement », *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trimestre 1967, p. 6.

numérique (études de la complexité, arbres et graphes) se développe plus lentement en France malgré l'œuvre importante de Cl. Berge.

- Compilation de langages, c'est-à-dire analyse syntaxique et génération de code. L'analyse syntaxique fait appel à la théorie des langages et des automates, concepts introduits principalement par Schützenberger à partir de 1963. Les premiers efforts de formalisation de la sémantique sont initiés à l'Institut Blaise Pascal avec Nolin. Gross et Vauquois se consacrent surtout au traitement des langues naturelles.
- Calcul booléen, dont Kuntzmann s'est fait une nouvelle spécialité, comme branche de la théorie de la commutation, pratiquement une science des circuits électroniques.

518

Cette prise de conscience se relie à une maturation parallèle, outre-Atlantique, où une succession de conférences et de débats animés sur l'existence d'une *computer science*, sa nature, son périmètre et son enseignement aboutit, via l'Association for Computing Machinery, à un ensemble de recommandations et de rapports (*ACM Curriculum 68*) qui donnent un coup d'accélérateur à l'institutionnalisation et à l'évolution des programmes universitaires. L'IFIP les répercute au niveau international.

C'est dans ce contexte qu'Arsac est illuminé d'une certitude qui lui inspire *La Science informatique*. L'informatique suit les étapes constitutives de toute science selon Claude Bernard : représentation du réel par un modèle formel, traitement par la théorie, interprétation du résultat. Cette science est essentiellement celle du traitement de l'information, avec ou sans ordinateur⁹⁹. *La Science informatique* est à la fois un livre de vulgarisation de bon niveau, expliquant l'essentiel de l'informatique à un large public cultivé, et un manifeste où un homme de foi affirme sa conviction. Celle-ci définit une troisième position possible, par rapport aux deux qui avaient divisé l'AFCAL sept ans plus tôt : applications calculables des mathématiques, ou science et technique de l'ordinateur ?

Le livre est généralement bien reçu dans la presse scientifique et généraliste, mais contesté dans le milieu mathématicien. Arsac en publie un résumé dans l'organe de liaison de la Société mathématique de France, la *Gazette des Mathématiciens*,

99 J. Arsac, *La Science informatique*, Paris, Dunod, 1970. Je me contente d'écrire une juxtaposition de raccourcis, tout en percevant un hiatus entre la définition de l'informatique comme « science du traitement de l'information, même sans ordinateur » et le fait qu'Arsac a consacré son précédent livre aux systèmes d'exploitation. C'est sans doute là que se situe sa « rupture épistémologique ». Voir aussi *De la radioastronomie à la didactique de l'informatique. Journée en l'honneur de Jacques Arsac*, Paris, Publications de l'Institut Blaise Pascal, octobre 1991.

mettant l'accent sur trois points : les relations entre les mathématiques et l'informatique doivent être similaires à celles qui existent entre les mathématiques et la physique, l'interface étant l'analyse numérique ; beaucoup de non-mathématiciens doivent pouvoir faire des études d'informatique (c'est d'ailleurs le cas à Paris, où parmi les 500 étudiants du certificat d'informatique appliquée l'on rencontre aussi bien des biologistes ou des économistes) ; comme dans toute science, il existe d'ailleurs à la fois une informatique fondamentale et une informatique appliquée.

La *Gazette* publie simultanément une réponse très critique d'un mathématicien de Nice, Martin Zerner : « Arsac se croit obligé de définir l'informatique, mais n'y parvient pas »¹⁰⁰, notamment parce qu'il n'existe pas de définition claire du traitement de l'information, ni de l'information elle-même (Shannon et Wiener n'ont défini que la quantité d'information). Zerner poursuit son attaque en proposant une autre vision : « Parmi les domaines d'application de la mathématique, les statistiques et les techniques du calcul jouent un rôle privilégié », servant de relais dans la plupart des applications techniques ; « au sein de la mathématique, la théorie des probabilités et l'analyse numérique apparaissent comme les théories de ces techniques ». Ayant ainsi réaffirmé bourbachiquement l'unité de *la mathématique* et réduit l'informatique aux techniques du calcul, il termine en s'interrogeant sur le lien entre la revendication d'une science informatique et l'idéologie politico-économique dominante. L'opposition est complète entre l'informaticien chrétien et le mathématicien maoïste.

Deux positions tranchées sont ainsi définies (la première minoritaire, la seconde représentative du point de vue mathématicien), entre lesquelles se poursuit le débat sur l'évolution des programmes, des cursus et des institutions.

Dessiner le nouveau champ scientifique autour du concept d'information n'est pas qu'une démarche induite par l'existence d'un mot français en *-ique*. Cela correspond à un besoin qui se répand, ainsi au Danemark apparaît un terme similaire, *datalogie*¹⁰¹. Arsac, et avec lui ceux qui partagent sa position, profite de toutes les tribunes qui lui sont offertes pour propager ses conceptions, notamment

¹⁰⁰ J. Arsac, « La Science informatique : relations entre mathématiques et informatique », et M. Zerner, « À propos de l'article d'Arsac », *Gazette des Mathématiciens*, juin 1970. M. Zerner enseigne la statistique et l'analyse numérique. Il exprime le point de vue de la majorité des mathématiciens, mais sa réaction est personnelle, non concertée (peut-être en a-t-il discuté ensuite avec Schützenberger) ; la conclusion refléterait des séances du séminaire de Louis Althusser, auquel M. Zerner assistait, qui ont pu nourrir sa critique de la « philosophie spontanée des savants » ou de l'approche pluridisciplinaire typique de l'informatique (correspondance et entretien avec M. Zerner).

¹⁰¹ P. Naur, « Datalogy: The Science of Data and Data Processes and its Place in Education », *Proc. of IFIP Congress*, 1968, Appl. 2, Booklet G, p. 48-52.

dans les instances nationales et internationales qui définissent les programmes éducatifs ou gèrent les carrières de l'enseignement supérieur : groupes de réflexion et congrès IFIP sur *Computer and Education*, colloques, Comité consultatif des universités.

F.-H. Raymond, dont *L'Automatique des informations* parue 13 ans plus tôt annonçait une vision comparable, publiée en 1969 *Les Principes des ordinateurs*. Inaugurant en même temps sa chaire d'Informatique au CNAM, Raymond voit cette discipline comme une branche de l'Automatique. En effet, la voie d'avenir la plus féconde est le progrès des interactions homme / machine, qui implique non seulement le perfectionnement de la programmation, mais surtout son automatisation, de façon à ce que l'utilisateur n'ait plus besoin de programmer :

520

aucun progrès n'est concevable en informatique sans des efforts dans ce sens, imprégnés de l'expérience, destinés à dégager des concepts et des principes en vue de construire une science véritable du *software*. Par voie de conséquence, une telle science permettra de créer les algorithmes et les programmes grâce auxquels la production du *software* pourra être mécanisée [...] ¹⁰².

Par conséquent, Raymond s'oppose totalement aux praticiens qui réclament une formation massive de programmeurs : la programmation sera, soit une tâche de plus en plus automatisée ou dissimulée sous des interfaces évoluées, soit l'affaire de spécialistes possédant une vraie culture des systèmes, donc ayant reçu une formation scientifique de haut niveau leur permettant de comprendre vraiment ce qu'ils font. Il n'y aura plus de place pour les tâcherons du COBOL.

Raymond considère que le *software*, avant de faire éventuellement l'objet d'une science, a dû devenir une technique, ce qui est déjà un progrès par rapport au bricolage (c'est la démarche du *software engineering*). Au-delà, une science des systèmes et de leurs architectures est en gestation, qui englobera la précédente. Un problème essentiel est que ces sciences doivent être en phase avec une réalité technique en changement très rapide : à moyen terme, avec l'avènement prochain des composants LSI (*large scale integration*),

un ordinateur dans le volume d'une boîte de cigares ou d'un paquet de cigarettes est devenu une réalité à partir des moyens technologiques maîtrisés à ce jour, et cela ne constitue pas, loin s'en faut, une limite technique à long terme ¹⁰³.

¹⁰² F.-H. Raymond, *Les Principes des ordinateurs*, Paris, PUF, 1969, p. 309.

¹⁰³ F.-H. Raymond, *Les Principes des ordinateurs*, Paris, PUF, 1969, chap. VII. Estimant nécessaire de passer un second doctorat pour être à même d'enseigner l'informatique, Raymond prépare une thèse sur *La Formalisation du concept de calcul*.

Ce changement technique rapide ne facilite évidemment pas la stabilisation d'un corpus disciplinaire. Il oblige par ailleurs les enseignants à rester en contact permanent avec la recherche de pointe, sinon à y participer, afin de former des diplômés capables de travailler sur les nouveaux systèmes. Remarquons aussi que des objets en changement rapide, des cibles mouvantes, ne sont pas vraiment ceux que les mathématiciens ont l'habitude d'étudier.

L'informatique est donc perçue par ses plus savants spécialistes comme un ensemble de pratiques à la recherche de théories qui les rendraient plus efficaces et plus sûres. On découvre que certaines de ces théories préexistaient dans la logique et les mathématiques, notamment que les fondements de l'algorithmique ont été formulés au milieu du siècle par l'Anglais Turing et le Russe Markov dans le cadre de réflexions purement mathématiques. La théorie de l'information créée dans les années 1930-1940 par Shannon, concept mathématique destiné à modéliser des problèmes d'ingénieurs des télécom, commence à intéresser les informaticiens du point de vue du codage et de la correction d'erreurs. D'autres concepts sont élaborés parallèlement à l'informatique et la rencontrent par étapes. Ainsi, le monoïde libre de M.-P. Schützenberger, qui fournit les principes fondamentaux de la génération de langages de programmation et de leur compilation. Ou la théorie des graphes de Claude Berge¹⁰⁴, complémentaire de la théorie de l'information en ce qu'elle permet de représenter et d'optimiser un réseau de communications, y compris à l'intérieur d'un ordinateur, ou l'organisation d'un programme, et qui a par ailleurs d'innombrables applications civiles et militaires en « gestion scientifique ».

Des techniques qui trouvent progressivement leurs théories, à la fois parce que les ingénieurs ont besoin de mieux comprendre ce qu'ils font pour le faire

¹⁰⁴ Cl. Berge, *Théorie des graphes et ses applications*, Paris, Dunod, 1958, ouvrage qui suit une *Théorie générale des jeux à n personnes* (Gauthier-Villars, 1957) et transforme le concept de graphe, jusque-là confiné aux applications et aux récréations mathématiques, en une théorie générale, en s'appuyant sur les progrès de la recherche opérationnelle. Ce livre est considéré comme « la Bible » parmi les concepteurs de circuits chez les constructeurs français. La SEMA s'en inspire pour développer la « méthode des potentiels », comparable à la méthode PERT de gestion de projets. Claude Berge, chercheur au CNRS, puis professeur à Princeton, à l'ISUP et à Paris 6, dirige aussi le Centre de calcul de l'UNESCO à Rome au milieu des années 1960. Son séminaire de Calcul des probabilités et physique mathématique attire des chercheurs de l'industrie informatique, comme Yves Malgrange (Bull) et Etienne Gorog (IBM). Berge est en même temps un sculpteur talentueux et un expert renommé de l'art de Nouvelle-Guinée. Il a participé à la création de l'OuLiPo (Ouvroir de Littérature Potentielle), avec Raymond Queneau, François Le Lionnais, Italo Calvino et Georges Perec, mus par le désir de « montrer des liens nouveaux entre mathématiques et littérature [...], comment les théorèmes algébriques ou combinatoires peuvent contribuer à la cohérence ou à la beauté de textes littéraires ». Cl. Berge publiera en 1994 une nouvelle, *Qui a tué le duc de Densmore ?*, où l'identification du meurtrier nécessite la connaissance d'un théorème de théorie des graphes (voir aussi *La Reine aztèque ou Contraintes pour un sonnet à longueur variable*, Bibliothèque oulipienne, 1983).

plus efficacement et parce que, face à une énorme demande de formation, les professeurs ont besoin de développer le contenu formel de leurs cours : ils ne peuvent se contenter d'enseigner des recettes, comme le font la plupart des entreprises d'informatique. Pour enseigner, il faut pouvoir généraliser.

Ce mouvement peut s'appuyer, au niveau international, sur l'existence à l'IFIP d'un *technical committee for the foundations of computer science*. À l'AFICALTI se crée un comité « Mathématiques » qui s'occupe des aspects enseignement et recherche. À la DGRST, l'action concertée Calculateurs, désormais soulagée des préoccupations de recherche appliquée prises en charge par le Plan Calcul, peut concentrer ses programmes sur la recherche fondamentale.

Au début des années 1970, les recherches sur l'organisation des systèmes dominant (22 % des effectifs) dans la nouvelle discipline qu'elles contribuent à définir, suivies par l'informatique théorique et les applications ou modes de communication homme-machine qui mobilisent un peu plus de 10 % des chercheurs pour chaque axe (v. tableau 26).

522

d. Vers une informatique théorique

La constitution d'un corpus théorique doit déboucher, espère-t-on, sur une science autonome au cours des années 1970 :

Quand on aura poussé un peu plus complètement des modèles du type traitement en parallèle, alors les théoriciens seront sans doute assez près d'apporter un soutien efficace aux expérimentateurs qui réalisent les outils de conduite des ordinateurs. Puis, et il ne faudra sans doute pas attendre plus de 2 ou 3 ans, un nouveau bond des machines posera de nouvelles questions, mais avant la cinquième génération de calculateurs, on peut estimer qu'une théorie du traitement de l'information aura su se développer d'une manière autonome et s'ériger en guide sûr et général pour ouvrir de nouveaux champs d'application aux informaticiens de toute sorte : comme ceux qui participent à la conception, comme ceux qui se préoccupent de la meilleure utilisation des ordinateurs¹⁰⁵.

Dès 1967, l'avènement d'une science informatique est donc annoncé dans une publication qui reflète les points de vue, non seulement de la direction de l'Institut de programmation, mais aussi d'une partie de l'Amicale des informaticiens universitaires. L'auteur de ces lignes, Cl. Picard, ancien chef du centre de calcul d'Alcatel devenu directeur de recherche au CNRS, est lui-même en train de fonder un groupe d'informatique théorique.

¹⁰⁵ Cl. Picard, « La théorie et le traitement de l'information », *Progrès et Science*, op. cit., p. 19.

Le Français qui va le plus loin dans cette voie est alors Maurice Nivat. Normalien mathématicien, momentanément exclu de l'École pour excès de cinéphilie, M. Nivat (ENS 1956) a été travailler au centre de calcul de l'Institut Blaise Pascal et a vu la lumière informatique au contact de J. Ville et de l'équipe de Possel, dont il devient l'assistant. Son premier contact avec le calcul électronique remonte à son service militaire, quand Ponte l'a fait nommer conseiller scientifique d'Anlac, une filiale de la CSF qui s'obstine à faire des calculateurs analogiques et dont le directeur des études, F. Garnier, est passionné de mathématiques (il correspond avec le mathématicien Russe Pontryagin) ; les principales applications sont l'automation industrielle et les calculs pour l'aéronautique et le spatial.

Son tournant vers l'informatique théorique est impulsé par deux rencontres : à l'école d'été de Ravallo (Italie, 1964) sur la théorie des codes, avec Corrado Böhm (lui-même formé dans le projet Formula Translator de Zürich) ; à l'IBP où, par l'entremise d'A. Lentin, il présente à Schützenberger un compilateur Algol conçu avec L. Nolin et fondé sur une notion d'automate à taquets¹⁰⁶. Schützenberger l'incite à se consacrer ensuite à une théorie générale des codes.

L'informatique théorique se développe aux points de convergence entre la recherche informatique, la théorie des langages et la logique mathématique. Elle fournit l'occasion d'une renaissance de la logique, longtemps ostracisée par les mathématiciens français¹⁰⁷ : algèbre de Boole, théorie des ensembles, linguistique formelle... La théorie des langages formels, née d'une tentative de modélisation des langues naturelles, se situe dans un cadre général défini par les notions de monoïde libre et d'arbres. Instrument adéquat pour décrire les langages de programmation, elle joue un rôle fondamental dans de nombreux domaines informatiques. C'est ce qui entraîne son développement rapide dans l'enseignement de l'informatique au niveau supérieur. Nancy, Grenoble, puis Bordeaux et d'autres universités s'investissent dans l'informatique théorique. En témoigne par exemple le gros

¹⁰⁶ Je renvoie le lecteur à l'excellent article de Pierre-Louis Curien, incrusté de portraits de première main de plusieurs personnages qui ont mené cette aventure : « Une brève biographie scientifique de Maurice Nivat », novembre 2001, <www.pps.jussieu.fr/~curien/bio-nivat.ps.gz>.

¹⁰⁷ La préface de J.-L. Krivine au traité de R. Cori et D. Lascar, *Logique Mathématique*, Paris, (Dunod, 1978, rééd. 2003, t. I), règle visiblement un vieux contentieux avec les « maths pures » : après des décennies où la logique était « négligée dans l'université française, considérée comme inutile par Bourbaki »... « Un événement nouveau, et de taille, est venu clore ce débat un peu byzantin : l'explosion de l'informatique dont l'onde de choc a fini par atteindre les mathématiciens eux-mêmes ». D'un côté, les différents domaines de la logique sont mis à contribution par l'informatique : algèbre de Boole pour l'étude des circuits, la récursivité pour l'étude des fonctions calculables sur machines (où elle rejoint l'analyse numérique, notamment à travers Algol), le théorème de Herbrand sur la résolution et l'unification, à la base de la programmation dite « logique » (langage Prolog), la théorie de la démonstration (intelligence artificielle). En sens inverse, « un afflux d'idées et d'intuitions nouvelles et profondes, issues de l'informatique, est venu renouveler tous ces secteurs de la logique » et la revivifie.

manuel de Raoul de Palma, qui livre la substance de cours professés par cet assistant de Jean Ville au certificat de calcul automatique de la faculté des sciences de Paris et à l'ISUP : affichant une rupture avec les anciens traités fondés sur l'analyse numérique ou la description des machines, il centre l'enseignement de l'informatique sur la logique mathématique et les grammaires formelles¹⁰⁸.

524

Selon Maurice Nivat, le premier lien entre la logique mathématique et l'informatique a été la démonstration automatique, au début des années 1960, notamment par J. Pitrat. La théorie de la calculabilité, basée sur les schémas de récursion ou sur la machine de Turing, est alors moins connue en France et ne joue pas le même rôle dans la formation des futurs informaticiens ; elle est à vrai dire plus utile aux algorithmiciens qu'aux programmeurs, ces derniers étant plutôt intéressés par la définition des langages de programmation et les techniques d'interprétation ou de compilation que par l'efficacité des algorithmes eux-mêmes. Deux autres points de rencontre entre la logique et l'informatique, à la fin des années soixante, sont le Lambda-calcul de Church avec ses multiples dérivés, qui inspire des travaux novateurs en programmation. Et l'utilisation, comme langage de programmation, de la logique du 1^{er} ordre, concrétisée par A. Colmerauer et P. Roussel dans Prolog¹⁰⁹... où l'on retrouve les travaux publiés 40 ans plus tôt par Herbrand.

Tout en enseignant à Grenoble, à Rennes, puis à Paris, Nivat devient l'un des principaux promoteurs de l'informatique théorique. Il voit un tournant essentiel en 1968 avec la création du groupe de travail WG.2.2 de l'IFIP ; il participe à la deuxième réunion, à Colchester en septembre 1969, où il en rencontre les initiateurs :

tout un tas de gens (Dana Scott, Christopher Strachey, David Park, Mike Paterson, Peter Landin, Robin Milner...) qui ont commencé à développer la sémantique formelle dans deux directions au moins : le lambda calcul de Church et la théorie des types (mais cela fait des années que Corrado Böhm à Rome a commencé à explorer cette voie). [...] L'idée que les programmes peuvent être considérés comme des objets mathématiques n'est pas tout à fait nouvelle, mais visiblement, clairement exprimée, elle ouvre une voie nouvelle et immense à la recherche.

¹⁰⁸ R. de Palma, *Cours moderne de calcul automatique*, Paris, Albin Michel, 1970, 464 p.

¹⁰⁹ Je résume ici la préface de M. Nivat à B. Courcelle (dir.), *Logique et informatique : une introduction*, INRIA, Rocquencourt, 1989. Voir J. Cohen, « Sur les origines et le développement de Prolog », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 1, p. 177-198. Très prisé pour le développement d'applications en intelligence artificielle, *Prolog* est conçu autour d'un mécanisme tiré d'un démonstrateur de théorèmes. D'où la puissance de ce langage et sa caractéristique principale : écrire un programme en *Prolog* ne consiste pas à donner des ordres à l'ordinateur (principe de la programmation classique, dite *impérative*), mais à décrire un problème que le langage se chargera de résoudre (principe de la programmation *déclarative*).

Schützenberger le fait rentrer à l'IRIA en 1970 comme chef de projet à temps partiel, puis directeur scientifique. Tous deux prennent alors l'initiative d'annoncer la naissance de l'Informatique Théorique, groupant trois thèmes de recherches : théorie des automates et des langages, complexité algorithmique, théorie de la programmation. Ce qui répond à la fois au souhait de la DGRST de voir l'IRIA se consacrer à des recherches à long terme et, plus globalement, au besoin d'attirer de bons mathématiciens à l'informatique en établissant des liens entre les deux disciplines. Nivat crée l'année suivante une équipe-projet « Sémantique formalisée des langages de programmation » avec de nouvelles recrues : Philippe Flajolet, Jean-Marc Steyaert, Bruno Courcelle frais émoulus de leurs écoles (Polytechnique et ENS-Ulm), rejoints par de jeunes docteurs rentrant des États-Unis, Ph.D. en poche. Pendant quelques années, ce groupe est en ébullition intellectuelle et se situe au niveau international dans le domaine de la vérification de programmes. Après la suppression des projets techniques de Gløess et de Boucher, il représente le tiers de l'activité proprement « informatique » de l'IRIA. Puis l'orientation plus mathématique prise par l'institut le poussera à essaimer vers les universités. Entre temps, M. Nivat a repris une partie des équipes issues de l'IBP, avec Nolin et Schützenberger, pour fonder en 1972 une équipe associée au CNRS « Informatique théorique » à Paris VII.

Avec d'autres chercheurs européens, Nivat tente en même temps de persuader les instances supranationales de mettre en œuvre une politique scientifique commune. La Communauté économique européenne en particulier peut être réceptive car, sous l'aiguillon des « Plans Calcul » des principaux pays membres, elle s'efforce à son tour de définir sa politique en la matière, à un rythme d'ailleurs très lent dû à la nécessité d'accorder des intérêts et des principes opposés¹¹⁰. Faire adopter les vues des informaticiens théoriciens par les instances supranationales imposerait de fait une légitimation du domaine aux instances nationales. Un rapport sur la recherche fondamentale en informatique est rédigé en ce sens pour le comité de politique scientifique de l'OCDE en 1971¹¹¹. Visant à promouvoir une science nouvelle face à bien des réticences, il est en phase avec les réflexions que mène le responsable de la division des politiques scientifiques à l'OCDE, Jean-Jacques Salomon.

Ce rapport s'appuie sur une large consultation d'experts (dont Pierre Lelong), ce qui donne une certaine autorité à la définition de l'informatique comme

¹¹⁰ CEE, *Une politique communautaire de l'informatique*, 21 novembre 1973, rapport préparé par la DG des Affaires industrielles, technologiques et scientifiques de la CEE (Arch. Éco. Fi., B 25 303). Ce rapport n'est qu'une étape dans la longue réflexion communautaire en vue de définir une « politique informatique européenne » sous la triple impulsion française, allemande et britannique.

¹¹¹ A. Caracciolo di Forino, S. Michaelson, M. Nivat, M. Schützenberger, *Problèmes et perspectives de la recherche fondamentale. Le cas de l'informatique*, OCDE, 1971, 49 p.

« nouvelle science multidisciplinaire qui s'attache à l'étude systématique de la structure, du stockage, de la transmission et de la transformation de l'information ». *Informatique* est synonyme de *science de l'information* ou de *computer science*. Discipline indépendante mais très récente, « elle mérite une plus grande place sur le plan pratique et théorique ».

Un argumentaire justificatif détaillé souligne notamment que, sur le plan théorique, on a multiplié les travaux et les thèses sans grand intérêt, faute de bases solides :

526

En ce qui concerne les langages de programmation, nous sommes dans la situation où se trouvait la géologie avant Cuvier : nous ne disposons même pas de méthodes permettant de décrire les langages et d'échanger des idées. Les innombrables équipes qui s'occupent d'élaborer des compilateurs sont en général en train de réinventer la roue, de retrouver les astuces que d'autres ont découvert avant elles. Elles ne cherchent même pas, au cours de leur travail, à rassembler des faits ou des résultats scientifiques sur les machines et les langages, soit qu'elles ignorent ce qu'est un résultat scientifique, soit qu'elles n'en aient pas le temps, étant donné la pression à laquelle elles sont soumises pour qu'un produit commercial, le compilateur, soit élaboré dans les délais les plus brefs possibles¹¹².

Beaucoup de ressources et de talents ont d'ailleurs été gaspillés « dans les marais du "perceptron", de la traduction automatique et autres mirages »¹¹³.

Sur le plan pratique, nombre d'échecs de grands projets informatiques ou de difficultés coûteuses rencontrées dans leur développement sont dus au manque de bases théoriques qui permettraient d'affronter la complexité croissante des systèmes et d'établir des règles normalisées (Nivat est à cette époque conseiller scientifique de Thomson-CSF). Les auteurs reprennent ainsi les thèmes développés deux ans plus tôt dans le cadre des conférences de l'OTAN, à Garmisch et à Rome, en faveur de l'établissement d'un véritable *software engineering*, mais ils déplacent l'accent sur l'importance d'un corpus théorique et sur le développement de l'enseignement et de la recherche. Le thème de la « crise du software », dont tout directeur d'administration centrale peut en effet attester la réalité, est abondamment mis en valeur par les chercheurs pour articuler leurs projets à la demande socio-économique.

La création envisagée d'un « Institut européen du software » n'ayant pas de suite (d'ailleurs les administrations européennes n'apportent pas le moindre soutien

¹¹² *Ibid.*, p. 28.

¹¹³ *Ibid.*, p. 15.

à l'entreprise¹¹⁴), Nivat et ses amis (Corrado Böhm) se rabattent sur la formule d'une société savante. À l'occasion d'un colloque à Bruxelles, en janvier 1972, ils créent la European Association for Theoretical Computer Science, avec sa revue *Theoretical Computer Science*, et définissent ses thèmes centraux : *Theory of algorithms and complexity*, *Automata theory and formal languages*, *Theory of programming*. Six mois plus tard ils organisent à l'IRIA le premier ICALP (*International Colloquium on Automata, Languages and Programming*)¹¹⁵.

La même politique est menée à l'échelon national : à l'IRIA (lancement d'une école de printemps d'informatique théorique en 1973), au sein du comité « Mathématiques » de l'AFCEP (création d'un groupe d'informatique théorique en 1974), à l'université de Jussieu où Nivat fondera en 1975 le LITP (laboratoire d'informatique théorique et programmation). Des liens s'établissent avec un groupuscule très actif de Lispiens qui s'est constitué dans la nouvelle université expérimentale de Vincennes, dans une ambiance et des pratiques libertaires-libérales favorisant à la fois la créativité optimiste, la communication horizontale et la sélection spontanée des plus doués¹¹⁶. L'intérêt propre de la recherche théorique va de pair avec une stratégie pour sortir du cercle vicieux qu'on a décrit plus haut : c'est le meilleur moyen d'attirer de bons chercheurs et de combler le fossé qui sépare l'informatique des mathématiciens. Le premier objectif sera plus vite atteint que le second.

Le risque est d'apparaître comme un « Bourbaki de l'informatique » aux yeux d'une partie de la profession. D'autant que les auteurs du rapport à l'OCDE ne cachent pas leur ambition de remplacer, à la tête des départements universitaires « encore dirigés par des physiciens, des astronomes ou des spécialistes de l'analyse numérique », ces pionniers par de véritables informaticiens.

Parallèlement l'école d'été de l'AFCEP, créée en 1971, joue un rôle important dans l'émergence d'une science informatique, à la fois en permettant aux enseignants de construire des cours à l'époque où bien peu de matériels pédagogiques sont disponibles, et en offrant un forum aux recherches de l'équipe d'informatique théorique de Nancy.

En revanche la recherche en intelligence artificielle, qui se développe à proximité de ce groupe, ne contribue pas à légitimer l'informatique : elle-même

¹¹⁴ Parallèlement, devant la pénurie d'informaticiens, on imagine de créer un « Institut européen d'informatique destiné essentiellement à la formation post-universitaire des cadres, ingénieurs et surtout enseignants, dont l'Europe a le plus grand besoin » (SAEF B 20175, Dossier renouvellement du Plan Calcul, résumé de la réunion, le 26 février 1970, du comité spécialisé Informatique du Groupe de politique de recherche de la Communauté, PREST).

¹¹⁵ Programme : *Automata and formal languages* (23 exposés), *Theory of programming* (11 exposés), *Complexity* (11 exposés).

¹¹⁶ P. Greussay, « LISP en France : 1971-1983 », *Actes du Colloque sur l'histoire de l'informatique en France, op. cit.*, vol. 2, p. 161-184.

apparaît plus incertaine encore et, proche d'une cybernétique toujours vibronnante, est un sujet de division parmi les informaticiens¹¹⁷.



Figure 45. Maurice Gross et Maurice Nivat au colloque ICALP, 1972 (photo IRIA)

528

e. Le recentrage de l'IRIA et les instances de politique nationale

Le dispositif de recherche en informatique se réorganise progressivement, à partir de la DGRST, pour mettre en œuvre une politique scientifique nationale. L'IRIA, contesté de tous côtés, frôle la disparition en 1972, puis est repris en main. Son action scientifique s'organise désormais sous deux formes principales : les recherches internes structurées par projets dans le cadre du LABORIA ; et les partenariats externes menés par le SESORI, favorisant enfin la coopération avec l'enseignement supérieur et le CNRS.

Le Comité de recherche en informatique (CRI) : une politique nationale

La Délégation à l'informatique devant piloter la recherche dans son domaine, la DGRST lui transmet ses prérogatives en la matière. Sans être très conflictuelle, cette réforme s'effectue laborieusement au long de l'année 1969 et perturbe d'autant la passation des nouveaux contrats de recherche. Le comité d'action concertée Calculateurs se transforme en Comité de recherche en informatique (CRI), rattaché à la Délégation qui dispose de ses crédits et signe ses contrats (un petit budget de 8 MF en 1969, 11 MF l'année suivante). Le CRI s'installe à l'IRIA dont le président du conseil scientifique le préside de droit¹¹⁸.

¹¹⁷ Témoignage de Jacques Pitrat au séminaire d'histoire de l'informatique, 12 mars 2008.

¹¹⁸ En 1970, après un processus laborieux de nominations au ministère de l'Industrie, le CRI comprend à la fois des représentants de la recherche publique et les directeurs techniques des entreprises partenaires du Plan Calcul.

Il maintient cependant des liens étroits avec la DGRST (comités Composants et Automatisation) et avec la DRME. Sa création est une adaptation logique, non un bouleversement du dispositif, mais elle suscite une concurrence ou un recouvrement de fonctions avec l'IRIA, dont le CRI est indépendant tout en l'utilisant comme soutien administratif. Comme naguère la DGRST, le CRI a trois fonctions principales :

- offrir un cadre de confrontation et de collaboration aux experts de l'industrie, de la recherche publique et des administrations techniques qui se rencontrent dans ses groupes de travail ;
- attribuer des bourses de recherche à l'étranger (30 aux États-Unis, 1 en URSS en 1969) ;
- proposer une politique de recherche en fixant chaque année cinq ou six grands thèmes.

Chacun de ces thèmes est géré par un groupe de travail, qui sélectionne les propositions, assure le suivi technique et diffuse les résultats. En 1969 ils couvrent :

- Les structures nouvelles d'ordinateurs et l'aide à la conception du *hardware*.
- Les mémoires et technologies associées.
- Le software.
- La communication homme-machine.

Ce sont pratiquement les mêmes axes de recherche que ceux de la CII. Les travaux sur le software représentent un quart du budget du CRI. Les premières actions soutenues concernent deux domaines : l'organisation de fichiers (documentation automatique, bases de données) et la communication homme-machine (langages graphiques, reconnaissance de l'écriture manuscrite, synthèse de la parole), où l'on reconnaît sans peine les intitulés des laboratoires CNRS qui ont initié ces études. Le CRI donne ensuite priorité aux problèmes logiciels posés par l'organisation des réseaux informatiques, qui deviennent un axe stratégique de l'IRIA et de la CII : circulation de fichiers, langages d'interrogation, reconfiguration du système en cas d'incident, etc.

Le CNRS face à l'IRIA

Le CNRS s'est d'abord accommodé de sa défaite. Puis il tente de supprimer l'IRIA en absorbant ce concurrent, fragile et en proie à de grandes incertitudes sur ses missions.

Les mesures qu'il paraîtrait souhaitable de prendre [...] pourraient être les suivantes :

- Suppression de l'IRIA en tant qu'organisme de recherche fondamentale et d'enseignement, ces missions étant de mieux en mieux prises en charge par l'Éducation nationale et les Grandes Écoles [...]
- On pourrait maintenir un IRIA très appliqué à Voluceau, en liaison avec les installations proches de la CII.
- Renforcement des moyens pour la recherche fondamentale dans les structures où elle trouve sa place naturelle, c'est-à-dire au CNRS et dans l'enseignement supérieur¹¹⁹.

Mal dirigé par Laudet, qui n'a pas l'envergure nécessaire, l'institut est lui-même fracturé entre des développements orientés vers l'informatique, mais qui débouchent peu, et les recherches mathématiques dirigées par Lions. Ses effectifs scientifiques sont très inférieurs aux prévisions : 97 en 1969, 150 cinq ans plus tard, dont une moitié environ fait de la recherche en informatique : c'est la taille d'un gros centre universitaire comme l'IMAG. Mais l'IRIA, installé à Rocquencourt dans l'ancien siège de l'OTAN, est isolé des campus universitaires. Il n'a d'ailleurs jusqu'en 1970 que des moyens de calcul modestes. Il n'a pas pour autant des relations plus étroites avec l'industrie : pour diverses raisons, l'IRIA et la CII n'amorcent pas de collaboration ample, fragilisant ainsi l'ensemble du Plan Calcul. Enfin, l'échec ou la mise à l'écart progressive des projets les plus spécifiquement « informatiques », face à la reprise en main au profit d'approches plus mathématiques, marque aussi la limite de ce que la recherche informatique peut ambitionner.

Très contesté de tous côtés, y compris par la Délégation à l'informatique, l'IRIA frôle la disparition en 1972. Mais beaucoup d'informaticiens voient l'intérêt de la coexistence des deux institutions, c'est-à-dire de deux lignes budgétaires, dont certains savent profiter pour développer des domaines comme l'analyse numérique ou l'informatique théorique. Finalement Laudet est remplacé par André Danzin, ancien directeur de la branche Composants de Thomson-CSF, militant de longue date d'une politique nationale de l'électronique et de l'informatique. Danzin s'appuie sur les compétences managériales de Monpetit, venu de la Délégation, et sur Lions qui prend le pouvoir scientifique et lui succédera plus tard. Une gestion par projets remplace la structure en départements. L'action scientifique de l'IRIA s'organise désormais sous deux formes principales, le LABORIA (recherches internes) et le SESORI (partenariats externes).

¹¹⁹ W. Mercouroff, Note sur le projet de rapport sur la recherche en informatique diffusé par le Délégué à l'informatique le 20 janvier 1972, Arch. nat. 85-0505-152, dossier « Informatique ».

L'essentiel des recherches internes s'effectuent désormais sous le contrôle de J.-L. Lions dans le cadre du laboratoire de recherches en informatique et en automatique (Laboria). Lions peut désormais imposer à l'ensemble des recherches menées à Rocquencourt ses méthodes de direction et son approche de l'excellence scientifique : organisation par projets interdisciplinaires et gestion par objectifs ; ouverture accentuée à la fois sur l'université et sur l'industrie ; évaluation systématique ; forte dimension internationale.

Le groupe d'informatique théorique animé par Nivat et Schützenberger participe de la même logique générale, mais dans une perspective nettement « informatique » distincte des mathématiques appliquées.

L'institut se peuple d'élèves ou de condisciples de Lions, caractérisés par un professionnalisme exigeant, une formation axée sur l'analyse numérique en phase avec les écoles américaine et soviétique, un programme de recherches ambitieux doublé d'une stratégie de pouvoir dans les structures académiques françaises – reproduisant en mathématiques appliquées ce qu'avait fait Bourbaki en mathématiques pures au cours des décennies précédentes. Parmi les axes de recherche du Laboria, « le temps réel en informatique – la vérification, l'évaluation et l'optimisation des systèmes informatiques et la conception et la réalisation des systèmes de programmation¹²⁰ » concernent directement l'industrie informatique, à la suite des travaux naguère initiés sous la supervision de H. Boucher. Mais celui-ci n'a pu convaincre Lions d'adopter PL/I, plutôt que Fortran qui reste le langage de programmation standard du Laboria et de ses contacts internationaux. Au fond, les travaux du Laboria sont en phase avec ce que serait une autre politique d'informatisation de la France, centrée non sur la construction d'ordinateurs, mais sur leur meilleure utilisation.

Le programme de recherche de Lions vise essentiellement à faire du Laboria un pôle de recherches mathématiques appliquées de niveau international. Les applications sont importantes, mais dans un double rôle nettement cadré :

- apporter des ressources matérielles sous forme de contrats,
- apporter des ressources cognitives à travers les problèmes nombreux que posent les applications, et qui sont nécessaires à la vitalité des mathématiques.

Le SESORI et les projets pilotes

À l'extérieur, l'IRIA commence à faire ses preuves comme agence de moyens en sélectionnant et en soutenant des « projets pilotes », créant des liens entre ses propres travaux et les recherches universitaires. C'est l'œuvre du service de

¹²⁰ Rapport d'activité de l'IRIA, 1972, p. 8.

synthèse et d'orientation de la recherche informatique (SESORI), qui a repris les missions de la DGRST dans ce domaine. Installé à l'IRIA, dirigé par Michel Monpetit (X 1951, Supaéro), venu de la Délégation et qui maintient une liaison étroite avec elle, le SESORI constitue enfin l'instrument d'une réelle politique de la recherche dans le Plan Calcul. Ses moyens sont nettement supérieurs à ceux du LABORIA. Le SESORI instruit, administre et contrôle les contrats du Comité des recherches en informatique (CRI) et attribue les bourses de stages à l'étranger. Ces crédits « d'irrigation de la recherche » sont rattachés directement à l'IRIA qui en devient l'ordonnateur — ce qui prouve qu'on fait confiance au nouveau directeur au point de lui donner les moyens d'orienter la recherche nationale en informatique. Le pouvoir d'évaluation et de proposition en matière de politique nationale de la recherche est confié début 1973 à un Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI).

532

Les actions les plus visibles du SESORI sont les « projets pilotes », menés en partie à l'IRIA, en partie en coopération avec des équipes externes dans le monde académique et l'industrie. La répartition des interventions reflète un souci d'aménagement du territoire en fonction de la géographie scientifique française : 85 % du montant des contrats sont concentrés sur les trois premières villes universitaires où s'est développée l'informatique (Toulouse, Grenoble, Paris), plus le pôle Rennes-Lannion qui résulte d'un volontarisme décentralisateur. Les projets pilotes mettent surtout en œuvre une stratégie dans des axes jugés prioritaires pour la recherche et l'industrie. Les équipes du SESORI mènent et « font faire » des études, confrontent et publient les résultats en organisant des colloques : prévention des pannes dans les systèmes logiques, reconnaissance des formes, traitement numérique des images, robotique, architecture des grands systèmes, etc. (titres des 8 journées de travail réunies en 1974). Deux projets notables amorcent une spirale de succès : le SFER et le réseau d'ordinateurs Cyclades.

Le SFER (Software fondamental pour l'enseignement et la recherche) a pour objectif de faciliter l'utilisation de matériels CII dans la recherche et l'enseignement en informatique, ce qui impose des études particulières de software, surtout en software de base. La compagnie, s'intéressant peu à ce petit marché, n'a pas développé de logiciels *ad hoc* dont l'IRIA a besoin pour les évaluations de systèmes¹²¹. C'est au SFER qu'incombe la tâche de synthétiser les besoins de la clientèle scientifique et de développer avec elle les « produits » que la CII n'a pas pu réaliser. Il dispose des moyens humains et financiers nécessaires et associe rapidement à son action des équipes universitaires à Grenoble, Toulouse, Rennes et Nancy en leur passant des contrats. Fin 1975, 17 actions sont en cours, dont six ont déjà abouti à des logiciels utilisables. Le SFER remplit donc

121 PV Réunion IRIA-CII, 3 octobre 1973, Arch. hist. Bull, 92DGE 09/33.

la fonction d'une SSII, en ce qu'il facilite l'informatisation et l'utilisation des ordinateurs CII sur ce marché exigeant mais peu rentable. De ce point de vue, l'IRIA joue le rôle qui lui est assigné dans le Plan Calcul en complément de la CII. Du moins, il contribue à rendre acceptables les ordinateurs du constructeur national que l'État impose aux scientifiques.

Le projet de réseau Cyclades

Depuis le milieu des années soixante, plusieurs ingénieurs français, parmi les cohortes que Supaéro et la DGRST envoient compléter leur formation aux États-Unis, se sont succédés dans les centres de recherche (MIT, Berkeley, UCLA, etc.) où l'ARPA soutient l'étude d'un nouveau type de réseau d'ordinateurs¹²². La Délégation à l'informatique s'intéresse à ce sujet à partir d'un voyage d'étude outre-Atlantique en 1970, où A. Profit et M. Monpetit constatent l'intérêt à la fois scientifique et opérationnel d'Arpanet. Elle décide en 1971 de lancer un projet similaire en créant une équipe hébergée à l'IRIA, sous la direction de Louis Pouzin qui le baptise *Cyclades*¹²³. La Délégation obtient la participation de la DGT, de la DRME et du CNRS. Monpetit, alors adjoint du Délégué à l'informatique, favorise le soutien des militaires. Devenu directeur adjoint de l'IRIA, il continue à militer pour ce projet qui correspond parfaitement au mode d'action coopératif du SESORI et prend une importance primordiale aux yeux de la direction de l'institut.

Il est vrai qu'à cette époque, en matière de réseaux de données, ingénieurs et institutions sont au stade des recherches exploratoires, examinent l'état de l'art et expérimentent diverses formules. Cette ambiance ressort nettement du congrès AFCET de novembre 1973, consacré à *Informatique et Télécommunications*. Ph. Picard & J.-F. Guilbert (DGT-ACFI) passent en revue « Les possibilités actuelles et futures des transmissions de données sur les réseaux publics » ; L. Pouzin

122 On ne peut ici que résumer cette histoire qui a déjà fait l'objet de nombreuses et bonnes publications. Voir notamment : Janet Abbate, *Inventing the Internet* (Cambridge, MA: The MIT Press, 1999) ; A. L. Norberg & J. E. O'Neill, *Transforming Computer Technology: Information Processing for the Pentagon, 1962-1986*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1996 ; A. Roland & P. Shiman, *DARPA and the Quest for Machine Intelligence, 1983-1993*, Boston, MIT Press, 2002. *La Recherche*, 2000, n° 238, consacré aux réseaux informatiques. Enfin, la thèse de Valérie Schafer, *Des réseaux et des hommes. Les réseaux à commutation de paquets, un enjeu pour le monde des télécommunications et de l'informatique français (1960-1980)*, sous la direction de Pascal Griset, université Paris-Sorbonne, 2007.

123 Louis Pouzin (X 1950) a appris la programmation chez Bull et vécu les heurs et malheurs du Gamma 60. En 1963, il s'embête et saute sur l'occasion de rejoindre F. Corbato au MIT, où il participe au développement de CTSS, système pionnier du *time-sharing*, puis de la spécification du noyau de Multics. Rentré en France, il continue ce genre d'activité dans le groupe SEMA, puis dirige l'informatique de SIMCA-Chrysler. La Délégation vient l'en tirer pour le bombarder chef du projet Cyclades. Après beaucoup d'erreurs de *casting* dans les choix de responsables du Plan Calcul, elle réussit donc à nommer un homme parfaitement qualifié.

(IRIA) décrit « Architecture et variétés de réseaux » et, avec J.-L. Grangé, présente « CIGALE, la machine de commutation de paquets du réseau Cyclades ».

À cette date, 1973, une première liaison Cyclades est réalisée avec trois ordinateurs à titre de démonstration devant les ministres de l'industrie et des PTT. Ses promoteurs se muent en missionnaires et vont en exposer les lignes directrices devant divers auditoires techniciens, écoles d'ingénieurs et colloques internationaux. ARPANET relie déjà une quarantaine d'ordinateurs différents, Cyclades doit relier une quinzaine de centres de recherche et d'universités, pour commencer. Ce sera fait un an plus tard.

534

Les liens étroits avec les collègues américains et l'expérience acquise d'Arpanet permettent d'éviter des erreurs et d'aller hardiment de l'avant. Pouzin décide notamment de rompre avec l'approche « circuits virtuels », héritée des Télécoms, et d'appliquer le concept de « datagrammes » imaginé en Angleterre et aux États-Unis. Les paquets de données ne seraient plus dirigés d'un point à un autre sur une ligne de télécommunication déterminée, mais trouveraient eux-mêmes leur chemin sur le réseau en fonction des encombrements et des voies libres. Ils y circuleraient en désordre, le soin de les remettre en séquence étant confié aux ordinateurs hôtes, en bout de ligne. L'expérience réussit et, la communication marchant bien entre les diverses équipes de part et d'autre de l'Atlantique, le procédé sera adopté dans le protocole TCP/IP, c'est-à-dire dans Internet.

En attendant, on voit s'ouvrir un potentiel immense d'applications, de partenariats, de nouveaux sujets de recherches, « du fait du brassage d'idées et de l'émulation que suscite l'existence d'un réseau » et des problèmes inédits que sa réalisation fait surgir. Sentiment de victoire, réussite évidente d'un rattrapage technique dans un domaine où les Français allaient naguère faire leurs stages d'apprentissage outre-Atlantique. Ils ont acquis une compétence reconnue et l'IRIA reçoit désormais des demandes de chercheurs étrangers, notamment des États-Unis et du Canada, qui sollicitent la possibilité de venir travailler dans l'équipe Cyclades¹²⁴.

La recherche informatique française peut donc faire état d'un certain nombre de succès techniques et théoriques, au début des années 1970, qui compensent ses échecs initiaux et fournissent des arguments à ses promoteurs. Les remodelages de 1972, s'ils n'aboutissent pas toujours à des réformes institutionnelles convaincantes, reviennent pour l'essentiel à décloisonner l'IRIA : améliorer la collaboration interne entre ses équipes ; établir des liens avec l'université,

¹²⁴ L. Pouzin « Réflexions sur Cyclades », 1^{er} octobre 1975 (Arch. INRIA 02.00.065, dossier CII). Le soutien sans faille de la Délégation à Cyclades contraste avec la froideur manifestée par le Science & Research Council britannique envers le NPL Network développé au même moment (P. Kirstein, « Early Experiences with the Arpanet and Internet in the United Kingdom », *IEEE Annals of the History of Computing*, 1999, vol. 21, n° 1, p. 38-44).

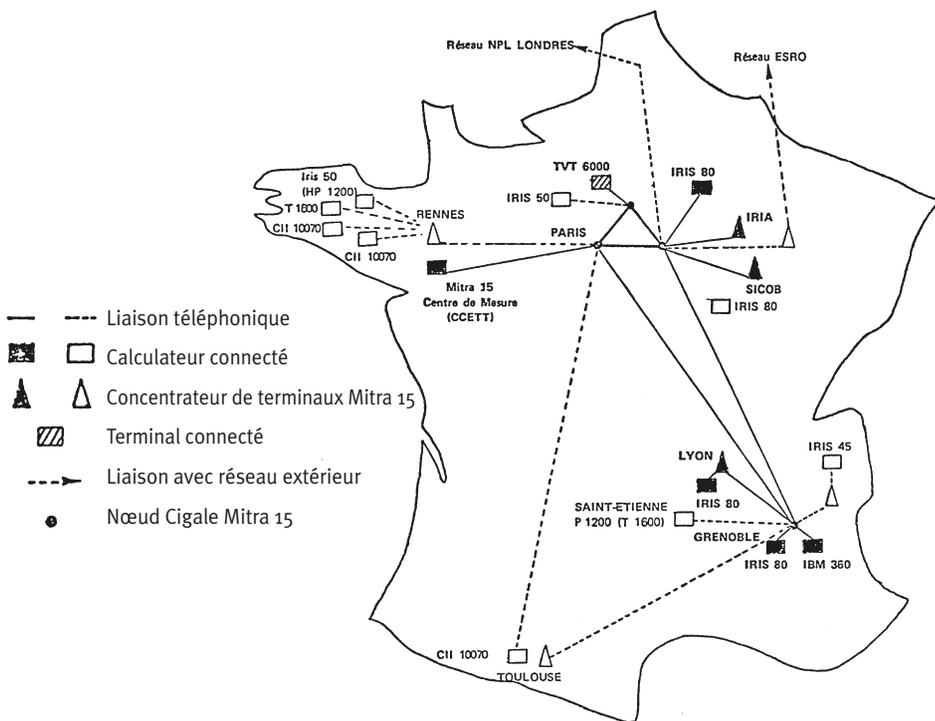


Figure 46. Cyclades : un réseau d'ordinateurs fondé sur la notion de datagrammes (1975)
 (« Informations sur le réseau Cyclades », *Gazette des Mathématiciens*, octobre 1975)

Cyclades est conçu par des informaticiens. Du côté des télécommunications, des équipes du CNET ont développé parallèlement d'autres formules de réseaux fondées sur des circuits virtuels (Hermès, Caducée), correspondant plus à leur culture professionnelle et aux exigences de sécurité et de facturation d'un opérateur. En 1975, les deux « écoles » sont en relations et réfléchissent intensément à ce que sera l'avenir des réseaux d'ordinateurs, tandis que les constructeurs de matériels proposent leurs solutions particulières.

notamment en sélectionnant des laboratoires en Province comme « équipes associées » (à l'exemple du CNRS), auxquelles l'IRIA fournira des chercheurs ; améliorer les relations avec l'industrie, ou plus exactement apprendre à les pratiquer. Un *modus vivendi* entre l'IRIA et le CNRS s'établit progressivement, d'abord en lançant des actions de recherche conjointes, ensuite en instituant un centre commun : l'Institut de recherches en informatique et systèmes aléatoires (IRISA), créé en 1975 à Rennes comme laboratoire associé.

Le Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI) publie en 1975 un rapport, *Réflexions et propositions pour une politique de la recherche en informatique et automatique*, qui reprend les analyses des rapports de conjoncture du CNRS en les englobant dans une perspective plus vaste intégrant la recherche industrielle. Pour le moment, si la recherche en automatique se caractérise par « une excellente liaison de la recherche avec le

développement, qui conduit à un haut rendement de valorisation des résultats vers des objectifs d'intérêt économique et social », la situation en informatique est plus préoccupante : « infériorité sérieuse » de la R&D industrielle sur le sol national, qui avec seulement 2 000 chercheurs et ingénieurs ne peut prétendre, ni à l'indépendance technique, ni même « à une puissance de dialogue convenable dans la compétition internationale ». De ce fait, « nombre de résultats théoriques obtenus dans les laboratoires français risquent de rester inemployés ou de profiter à la concurrence internationale »¹²⁵.

536

La recherche publique en informatique a atteint en une dizaine d'années un niveau international dans quelques domaines, mais les chercheurs sont encore accaparés par les tâches écrasantes d'enseignement exigées par la demande et ne peuvent dégager assez de temps pour des travaux de pointe, qui seraient pourtant indispensables à l'établissement d'une science informatique reconnue. Autrement dit, la définition des sujets de recherche et les spécialisations des équipes ont été principalement déterminées par les besoins de l'enseignement, trop peu par l'industrie dont la demande de recherche est trop faible. La recherche reste d'ailleurs « le plus souvent expérimentale, sans support théorique » d'une science qui en est encore « à l'âge ingrat » et, comme telle, mal acceptée dans le système universitaire et au CNRS¹²⁶.

On retrouve dans ce document les thèmes principaux du rapport Boiteux qui avait inspiré le Plan Calcul dix ans plus tôt : l'informatique et l'automatique sont des activités stratégiques d'importance nationale et européenne ; elles posent en même temps des problèmes politiques et sociaux inédits. Si les grands choix relèvent du politique, ils ne peuvent s'effectuer qu'en maîtrisant complètement les données techniques. Un grand effort de recherche dans ces disciplines est donc indispensable à tous points de vue. Il devrait atteindre 1 % du PNB¹²⁷.

f. Au CNRS : les Sciences pour l'ingénieur et la création d'une section d'informatique

La direction du CNRS, après avoir ouvert plus largement le Centre à la coopération avec l'université, cherche à faire une meilleure place aux applications des sciences. Plusieurs facteurs l'y incitent : les dilemmes rencontrés lors du redécoupage de 1966, qui n'ont pas trouvé de solution satisfaisante ; les événements de mai 68, qui ont suscité une contestation de la science, à laquelle il faut répondre en affichant son utilité sociale ; les difficultés budgétaires

¹²⁵ Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI), *Réflexions et propositions pour une politique de la recherche en informatique et automatique*, Paris, La Documentation française, 1975, p. 17. Voir en annexe la liste des membres du CCRI.

¹²⁶ *Ibid.*, p. 28.

¹²⁷ *Ibid.*, p. 11. Cette proportion, 1 % du PNB, englobe la recherche en matière de composants et les dépenses de recherche effectuées par les multinationales en France.

consécutives à cette période troublée, qui poussent le CNRS à chercher des ressources complémentaires hors des subventions publiques, donc à montrer l'utilité de ses recherches pour l'industrie ; le fait que le CNRS s'avère moins présent que les universités dans les « Sciences pour l'ingénieur » et éprouve le besoin de s'y replacer ; l'exemple américain où, pour des raisons similaires, les dirigeants de la NSF instituent en 1971 le programme RANN (Research Applied to National Needs) malgré une opposition vigoureuse des puristes, tout en investissant en informatique théorique.

Le CNRS peut d'ailleurs s'appuyer sur un capital d'expérience, puisque ses laboratoires de chimie, d'électronique ou de mécanique des fluides collaborent depuis longtemps avec les entreprises et les armées. Le nouveau directeur général depuis 1969, Hubert Curien, est un cristallographe qui a beaucoup travaillé avec les centres de calcul et a conscience des changements qu'apporte l'informatique à la pratique des sciences en général. Globalement, il juge mauvais le découpage du Comité national et veut donner à la direction du CNRS les moyens de mener une politique de priorités plus accentuée.

W. Mercouroff, déjà chef de la Mission à l'informatique du MEN, est nommé en 1971 directeur scientifique au CNRS, succédant à G. Jobert à la tête d'un « secteur résiduel » (mathématiques, sciences de la terre...). Il est responsable notamment des moyens de calcul et de la recherche en informatique. C'est la première fois qu'un membre de la direction du CNRS a l'informatique comme perspective prioritaire de son action. Mercouroff s'est initié au domaine dont il a la tutelle en discutant avec les spécialistes et en lisant quelques livres, notamment *La Science informatique* d'Arsac, qui l'a nettement influencé. Physicien, rien ne le retient d'opérer une coupure entre l'informatique et les mathématiques.

Le CNRS va évoluer vers cette issue par trois voies, initialement dans le cadre d'une stratégie pour reprendre la main en recherche informatique face à un IRIA fragilisé¹²⁸ :

- Le lancement d'Actions Thématiques Programmées « Informatique ».
- L'autonomisation des moyens destinés à la recherche informatique dans le budget du Centre.
- La création d'une instance autonome pour l'informatique au Comité national en 1975.

¹²⁸ En 1971, le nouveau directeur scientifique identifie cinq modes d'action dans ce domaine :
 • Le recrutement et la répartition des moyens par la section 1 • L'action poursuivie à travers les laboratoires propres • La création d'une commission horizontale « Informatique appliquée aux autres disciplines » • Le lancement d'ATP • La formation grâce aux bourses d'ingénieurs-docteurs, récemment rétablies (W. Mercouroff, « Le CNRS et la recherche en informatique et automatique », 5 octobre 1971, Arch. nat. 85-0505-152, dossier « Informatique »).

La direction du CNRS a d'abord cherché une formule permettant à la fois de conserver l'association entre les mathématiques et l'informatique, tout en resserrant les liens de celle-ci avec d'autres disciplines. Reprenant l'idée de feu le COMIRO supprimé en 1967, elle essaye de juxtaposer une « commission horizontale » aux sections du Comité national. Les archives gardent la trace de plusieurs projets de ce genre, sans suite¹²⁹. Les seules formules qui fonctionnent sont les comités qui disposent de ressources à distribuer, tout simplement parce que les experts n'ont pas le temps de jouer les agents de liaison sans portefeuille.

Le CNRS a créé en 1969 une nouvelle formule, les Actions thématiques programmées (ATP). Une ATP est un mode d'action incitatif qui permet à la direction du CNRS d'attribuer, sur contrat, des crédits à des laboratoires ou à des chercheurs travaillant dans un domaine que l'on veut développer. Plus efficace que l'ancien classement en A, B ou C, la formule s'inspire des actions concertées DGRST, mais avec une approche plus « fondamentale ». Le Comité national participe en déléguant des représentants des sections intéressées aux comités d'ATP – c'est la principale innovation par rapport aux RCP, qui restaient évaluées par les sections. Ce mode d'action remédie dans une certaine mesure aux cloisonnements disciplinaires, en permettant de financer des recherches aux marges des disciplines établies, mais il ne peut servir à recruter des chercheurs.

Mercouroff le met immédiatement en œuvre. En 1971 est lancée une ATP « Informatique » (budget 1,382 MF) avec quatre thèmes qui délimitent ce nouveau champ scientifique et affirment explicitement son autonomie vis-à-vis des mathématiques :

- Bases fondamentales de la science informatique.
- Organisation logique des données.
- Méthodologie des systèmes (correspondant à la demande pressante du *software engineering*).
- Construction des algorithmes et méthodologie de la programmation (idem, avec accent sur la programmation structurée).

Avec une ouverture affichée à l'informatique théorique, cette ATP constitue « la première marque officielle d'intérêt pour ce sujet » et obtient la participation de douze équipes¹³⁰. Elle permet de réunir un comité d'évaluation formé de

¹²⁹ Une liste de personnalités est dressée en décembre 1970 pour constituer une section horizontale informatique, comprenant sept membres de la section 1, six membres du corps électoral de la section 3, dont Lagasse, Perret, Le Mezec, Faure, Raymond, Spitz (Thomson) et d'autres scientifiques de diverses disciplines (Arch. nat. 85-0505-23).

¹³⁰ RA 1972 p. 107 et 422 et RC 1974 p. 10. « Pour soutenir cette idée de science informatique, j'avais lancé une ATP informatique et j'avais dit à une équipe de chercheurs théoriciens, dont Nivat : "Vous dites qu'il y a une informatique théorique, je ne demande qu'à vous croire. Mais

représentants de plusieurs sections¹³¹. Un thème « Apport de l'Informatique aux Mathématiques » est ajouté en 1973.

Trois autres ATP sont lancées en 1974 et contribuent à développer ce secteur :

- Informatique (budget 1 MF).
- Automatique, traitement et stockage optique des informations (2,881 MF).
- Informatique d'organisation, ATP montée en partenariat avec l'IRIA/ SESORI (12 MF).

Un « club Bases de données » est créé parallèlement au début des années 1970 par diverses équipes, afin d'organiser la communication entre chercheurs et d'établir des orientations communes. Le domaine des systèmes de gestion de bases de données se caractérise à la fois par un besoin de recherches fondamentales et par une forte demande de l'industrie informatique et des utilisateurs finaux. Ainsi, un ingénieur issu du Centre de programmation de la Marine et devenu chercheur à l'IMAG, Jean-Raymond Abrial, développe des méthodes et des concepts autour des SGBD, donnant rapidement lieu à la mise au point d'un système très innovant *Socrate*, développé avec la société ECA-Automation et commercialisé par la CII. Le club « Bases de données » s'intègre au groupe Inforsid créé par l'IRIA en 1973 pour faciliter les échanges entre chercheurs et industriels et promouvoir les recherches en informatique des organisations.

L'autonomisation des moyens de la recherche informatique

La section 1 s'est assez vite divisée en deux sous-ensembles, tant pour les tâches d'évaluation que pour la rédaction de documents de politique scientifique. Dans les années 1970, la direction du CNRS favorise cette autonomisation de l'informatique, qui rejoint un mouvement identique des automaticiens de la section 3.

À partir de 1971, la direction financière du CNRS attribue une « sous-enveloppe » à l'informatique, à l'intérieur des crédits de la section 1. Cela permet de regrouper le budget de l'informatique avec celui de l'automatique et des télécommunications dans un « Groupe sectoriel », le GS 7, l'un des quatorze groupes sectoriels constitués par le VI^e Plan pour identifier des secteurs prioritaires. Les crédits correspondants progressent plus rapidement que le budget total du CNRS. Cette différence de traitements ne va pas sans tensions, que la direction du CNRS subit toujours lorsqu'elle mène une action incitative

je vous paye pour le démontrer et pour écrire des travaux sur l'informatique théorique" » (entretien avec W. Mercouff, 14 novembre 1986).

131 Le comité de l'ATP Informatique est composé de : Malavard (président), Arzac, Bolliet, Hervé, Pair, Picard, Pitrat, Raymond, offrant donc une large diversité de points de vue. Malavard, dont le laboratoire dépend désormais en partie de la section 1 et poursuit de son côté le développement de méthodes de simulation et de modélisation mathématiques, notamment pour l'Aéronautique, trouve dans l'ATP le moyen de se rapprocher de l'Informatique.

indépendamment du Comité national. En 1973, la section 1 remarque que « le montant des crédits affectés à l'ATP Informatique est très élevé, comparativement à l'ensemble des crédits alloués à la section » (le PV de réunion, évidemment bien lissé, n'est qu'un écho très affaibli des discussions qui ont dû être vives). Le GS7 répond aussi à une demande de la Délégation à l'informatique, qui a besoin d'identifier les crédits affectés à l'informatique pour établir ses statistiques et mesurer le progrès du Plan Calcul.

Ainsi, dans la gestion des moyens budgétaires, l'informatique est distincte des mathématiques à partir de 1971. Elle n'en subit pas moins les difficultés causées par l'amalgame en section 1 lorsqu'il s'agit d'évaluer chercheurs et laboratoires. D'où la pression croissante en faveur de la création d'une commission autonome.

Tableau 26. Les chercheurs en informatique en 1972

Nature des recherches	Chercheurs permanents	Stagiaires	% de l'effectif
Informatique théorique	81	5	14,1
Organisation des systèmes	127	20	22,3
Technologie des machines	36	6	6,3
Ingénierie d'exploitation	49	14	8,6
<i>Total partiel « bases »</i>	<i>293</i>	<i>45</i>	<i>51,3</i>
Langages	68	19	11,9
Informatique interactive	74	7	12,9
Reconnaissance des formes	76	11	13,4
Bases de données	60	10	10,7
<i>Total partiel « communications »</i>	<i>278</i>	<i>92</i>	<i>48,7</i>
Total général	571	92	100

L'*Annuaire 1973 de la recherche en informatique et en automatique* (IRIA-SESORI) offre un panorama de toute la recherche informatique française publique et privée. Il recense plus de 700 « chercheurs permanents et confirmés » dans la recherche publique, dont 120 automaticiens étudiant les systèmes numériques ; et environ 200 dans le privé¹³². Il les répartit entre des recherches sur les « bases » et des recherches sur les « communications » (homme/machine, etc.). *Communications* a sans doute été préféré à *applications* pour nommer cette rubrique. Les automaticiens ne sont pas comptés dans ce tableau.

Les « Sciences pour l'ingénieur » et la création d'une instance autonome en informatique

Le prochain redécoupage d'envergure n'interviendra qu'à la fin du mandat des sections élues en 1971 – et, pour des raisons administratives, ce mandat sera d'ailleurs prolongé d'un an. Sans attendre, Mercoureff tente à nouveau de créer une commission horizontale « Informatique appliquée aux autres disciplines » qui « mènerait les actions actuelles du Délégué à l'informatique dans la recherche fondamentale orientée » ; la section 1 actuelle assurerait

¹³² Reproduit dans CNRS, Rapport de conjoncture *Informatique et moyens de calcul polyvalents*, 1974, p. 12.

les services de la recherche en informatique mathématique, la commission horizontale ceux des autres domaines. À terme, cette commission horizontale « pourrait être transformée en section normale, ajoutant l'informatique aux autres disciplines ». Le directeur général, intéressé, ouvre un dossier à ce sujet. Mais la tentative n'ira, semble-t-il, guère plus loin.

Mercoureff est aussi chargé de participer à une réflexion collective sur les « Sciences pour l'ingénieur »¹³³. Cette expression elle-même est très discutée : on a voulu éviter les mots *appliqué* ou *application*, qui remontent au XVIII^e siècle et sont trop provocants envers les puristes, mais il suffit de dévier vers « Sciences de l'ingénieur », terme qui met en cause l'unité de la Science, pour soulever une tempête de protestations épistémologiques et buter sur les mêmes oppositions que le projet de créer une section d'informatique, dix ans plus tôt.

L'objectif qui se dégage progressivement est d'aboutir à la création d'un nouveau secteur scientifique au CNRS, qui s'ajoutera aux grandes disciplines classiques. À l'exemple de la mécanique des fluides, plusieurs disciplines ont des difficultés à trouver leur place dans l'organisation de la recherche fondamentale et aspirent depuis longtemps à prendre leur autonomie vis-à-vis des catégories scientifiques établies : l'informatique vis-à-vis des mathématiques, l'électronique et l'automatique vis-à-vis de la physique. La mécanique a déjà, d'une certaine façon, montré l'exemple en se détachant des mathématiques.

La promotion des SPI va de pair avec la promotion de la technologie dans l'enseignement supérieur, qui est dans l'air du temps. Ainsi, la faculté des sciences de Montpellier est devenue l'université des sciences et techniques du Languedoc. L'innovation la plus spectaculaire s'effectue en-dehors du système existant avec la création de l'université de technologie de Compiègne¹³⁴. Soutenu depuis 1969 par une forte volonté politique, malgré un véritable « sabotage par la haute administration », ce projet aboutit en 1972. L'UTC comprend dès sa première rentrée en 1973 un département de Mathématiques appliquées et d'Informatique. C'est un département de ressources en mathématiques, informatique, automatique et traitement du signal, qui participe aux enseignements des autres départements mais ne gère pas de diplôme de second cycle. Il a en revanche une mission de recherche, avec un DEA « Contrôle des systèmes » (Bernard Dubuisson), qui attire vite beaucoup d'élèves. L'intitulé n'affirme visiblement pas une autonomie

¹³³ G. Ramunni, *Les Sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la société*, Paris, CNRS Éditions, 1995.

¹³⁴ P. Lamard & Y.-Cl. Lequin, *La Technologie entre à l'université. Compiègne, Sevenans, Belfort-Montbéliard*, université technologique de Belfort-Montbéliard, 2006.

de l'informatique, l'équipe initiale semble axée sur une configuration d'analyse numérique et de modélisation mathématique en interaction avec l'automatique, assez semblable à celle qui domine à l'IRIA. Le département évoluera plus tard vers le Génie informatique.

542

Depuis plus de dix ans, l'informatique et l'automatique se sont développées en corrélation, au point qu'on avait déjà songé en 1965 à les rassembler dans une même commission au CNRS. Si elles diffèrent par certains de leurs objets (l'automatique est centrée sur les notions de boucle de contrôle et de rétroaction et a pour but principal la commande de processus énergétiques) et se développent dans des laboratoires et des enseignements distincts, elles utilisent de nombreuses compétences communes et, de plus en plus, les mêmes technologies électroniques de base ; ainsi, les mini et micro-ordinateurs, qui étaient surtout utilisés en automatisation de process et de mesures, commencent à conquérir les applications informatiques proprement dites, parfois en réseaux, ce qui pose de nouveaux problèmes aux spécialistes des systèmes¹³⁵. Et toute l'informatique est en train de passer au « temps réel » qui est inhérent à l'automatique.

Dès 1969, la section 3 (Électronique, automatique) a défini les rapports entre l'informatique et l'automatique :

Un problème appartient en propre à l'informatique lorsque sa résolution fait intervenir essentiellement les compétences du mathématicien appliqué [...]. Par contre, un problème ressort selon nous de l'automatique si la solution fait appel aux connaissances physiques de l'ingénieur. [...] Pratiquement, il n'existe pas de solution de continuité entre ces deux domaines. Dans un avenir plus ou moins lointain, les problèmes posés par les relations organiques entre l'informatique et l'automatique devront être envisagées¹³⁶.

La réflexion sur les « Sciences pour l'ingénieur » est menée par un groupe de travail réuni en 1972 par Robert Chabbal, directeur du secteur Physique au CNRS¹³⁷. L'exercice est délicat : il faut innover tout en rassurant ceux qui s'inquiètent d'une éventuelle remise en cause de la mission fondamentale du CNRS. Là aussi, les discussions portent d'abord sur les définitions et les catégories. On distingue deux familles de « SPI » : celles qui relèvent d'un secteur socio-économique particulier

¹³⁵ CNRS, *Rapport d'activité 1973*, p. 215.

¹³⁶ CNRS, *Rapport de conjoncture 1969*, s. 3.

¹³⁷ Ce groupe de travail compte 15 membres des disciplines concernées, dont G. Giralt (automatique) et L. Malavard (mécanique des fluides et informatique). Robert Chabbal, « Rapport du groupe de travail sur les Sciences pour l'ingénieur », *Courrier du CNRS*, juillet 1973 ; et CNRS, *Rapport d'activité 1973*, p. 137-138.

Un tract FEN-CGT de l'époque considère comme des « propositions inquiétantes » la fixation de « critères spécifiques d'évaluation des sciences et des recherches pour l'ingénieur », l'accroissement des moyens des laboratoires du SPI, la création des « groupes de prospective spécifiques et des ATP spécifiques pour ces sciences », la mise « des résultats obtenus au service des entreprises industrielles publiques ou privées ». « Pour la préparation du VI^e Plan, la direction du CNRS a imposé une méthode de travail par objectifs qui fait disparaître complètement la notion de discipline [...] Ces orientations constituent une grave menace, à court terme, non seulement pour la vie des laboratoires, mais pour l'avenir de la science elle-même »^a. La signature d'un accord de coopération CNRS-Rhône Poulenc en 1975 soulèvera une tempête de protestations à gauche.

a Tract FEN-CGT signé Chanconie, Courtois, Vergnaud, 29 novembre 1973. M. Chanconie reprend cet argumentaire au Directoire du CNRS.

(électrotechnique, mécanique, etc.) et celles qui, « horizontales », répondent aux besoins de nombreux secteurs (automatique, informatique, métrologie, etc.). Le groupe s'attache à énoncer une déontologie des SPI en trouvant un compromis entre les exigences de la coopération avec l'industrie (secret temporaire, propriété intellectuelle, etc.) et celles de la recherche, essentiellement la nécessité de publier les résultats dans des revues de niveau international, en évitant de se perdre dans des « contrats alimentaires ». Elles ont en commun de jouer « un rôle essentiel de transfert » vers les domaines d'applications. Le rapport conclut sur la nécessité de renforcer les moyens des laboratoires de SPI, de lancer des ATP dans ces domaines, de développer la recherche dans les écoles d'ingénieurs, de tenter des mélanges d'équipes universitaires et industrielles. Particularité notable, ce rapport sera suivi d'effets.

Le CNRS transforme simultanément ses structures de relations avec l'industrie, créant notamment des « Clubs recherche-industrie » (CRIN) où l'industrie informatique apparaît immédiatement, à commencer par IBM.

Au comité de direction du 19 septembre 1973, W. Mercouroff indique que dans son secteur se pose un problème de redécoupage évident de la section 1 qui fonctionne en deux sous-sections : Mathématiques et Informatique. « Faut-il créer une section d'informatique autonome ou, au contraire, orienter l'informatique vers le secteur des sciences pour l'ingénieur ? » Mercouroff serait assez acquis à l'idée de regrouper en une seule section l'automatique, l'électronique et l'informatique, malgré sa réticence personnelle à perdre la direction de l'informatique, la section 3 relevant du secteur de la physique.

Dès 1974, la gestion de la recherche informatique est désormais autonome au CNRS. Le rapport de conjoncture, émanant du Comité national, se présente en fascicules séparés :

- *Informatique et moyens de calcul polyvalents*, constituant un panorama de toute la recherche informatique française, publique et privée (**tableau 26**).
- *Automatique*, désormais séparé du rapport de conjoncture de l'électronique (la section 3, comme la section 1, fonctionne en deux sous-sections).
- *Mathématiques pures et méthodologie mathématiques*, dont une petite partie concerne les mathématiques directement liées à l'informatique – mathématiques numériques, mathématiques de l'informatique, théorie combinatoire, ce que l'on groupera bientôt dans la catégorie *mathématiques discrètes*.

544

L'autonomisation de l'informatique est aussi nette dans les rapports d'activité, documents qui relèvent de la direction du CNRS. Depuis 1972, le rapport d'activité n'est plus présenté par section, mais adopte une nouvelle présentation regroupant informatique, automatique et électronique dans un « Groupe sectoriel 7 ». Les « Mathématiques et méthodologies mathématiques » en sont distincts (« Groupe thématique 2 »), ainsi que les moyens de calcul (GT1). Cette nomenclature correspond à la fois aux secteurs d'activité identifiés par le Commissariat du Plan¹³⁸ et à des lignes budgétaires distinctes au CNRS où l'automatique et l'informatique restent prioritaires.

Le processus de création du secteur SPI aboutit en 1975 à une décision au niveau gouvernemental qui donne le feu vert au CNRS¹³⁹. Cette innovation institutionnelle permet de résoudre une série de problèmes qui se posaient depuis plus d'une décennie. Le directeur est l'automaticien toulousain Jean Lagasse, directeur du LAAS, qui a pris pied à la direction du CNRS en créant un bureau des relations industrielles, puis en recevant une mission « Énergie » après le premier choc pétrolier. Brillant entrepreneur de recherches, Lagasse siège depuis dix ans dans les instances de politique scientifique où il a constamment milité pour l'autonomisation de son domaine. Il est évidemment l'un des plus ardents promoteurs des sciences pour l'ingénieur. Plutôt méfiant envers les études théoriques, il se laissera convaincre de poursuivre l'œuvre de Mercourroff sur ce plan en faveur de la recherche informatique.

Le nouveau secteur SPI s'appuie sur l'existence de laboratoires solides et réputés qui depuis des lustres pratiquaient les sciences pour l'ingénieur

¹³⁸ Il s'agit de la nomenclature adoptée pour le VI^e Plan : 6 groupes de réflexion, 8 groupes sectoriels et 6 groupes thématiques. Le GS7 s'intitule *Électronique, informatique et télécommunications (VI^e Plan Recherche, t. 1, p. 13)*.

¹³⁹ Conseil restreint du gouvernement, le 3 novembre 1975.

avant la lettre. Il bénéficie de l'appui de savants reconnus sur le plan de la recherche fondamentale, tels Louis Néel (magnétisme et physique du solide), Paul Germain (mécanique théorique) ou Pierre Grivet (physique du solide).

La principale difficulté du redécoupage tient à ce qu'il conduit à séparer l'informatique des mathématiques appliquées. Cette ablation ne se fait pas sans douleur, les mathématiciens voyant leur échapper des ressources considérables et des problèmes intéressants. En résolvant le dilemme de la place de l'informatique, on en pose un nouveau aux spécialistes d'autres disciplines comme les statistiques ou l'analyse numérique, qui se trouvent à leur tour écartelées entre deux sections. Question cruciale : l'analyse numérique doit-elle rester en section de mathématiques ou suivre l'informatique dans la nouvelle section 2 ? La direction du CNRS décide de les maintenir en section 1, devenue « Mathématiques, modèles Mathématiques ».

La polémique est vive avec les principaux tenants des mathématiques appliquées, Lions en tête. Le 19 février 1975 a lieu à l'Institut Henri Poincaré un grand débat sur le redécoupage du Comité national. Certains mathématiciens font preuve d'une rare violence verbale contre ce projet et ses initiateurs, les directeurs scientifiques Chabbal (Physique) et Lagasse (SPI).

C'est précisément à ce moment, en 1975, qu'un colloque se réunit pour exposer *L'Utilisation des calculateurs en mathématiques pures* ; l'organisateur rappelle, dans l'avant-propos des actes, « le plaisir de travailler ensemble qu'ont découvert lors de ces journées, des algébristes, des arithméticiens, des informaticiens, des géomètres, des physiciens théoriciens »¹⁴⁰. Ce colloque, tenu au moment où le CNRS entreprend de dissocier informatique et mathématiques pures, vise évidemment à affirmer « l'unité des Mathématiques » face à cette menace. De ce point de vue tactique, c'est un combat d'arrière-garde (notons l'aveu de ce verbe : ils « ont découvert »...). Du point de vue scientifique, il marque plutôt le début d'un rapprochement. C'est à cette époque en effet que les ordinateurs atteignent une puissance suffisante pour aider à vérifier des hypothèses ou des démonstrations mathématiques, et que l'on développe le calcul formel (portant sur des symboles et non sur des nombres). Ce rapprochement aboutira, par exemple, vingt ans plus tard à la confirmation assistée par ordinateur de la conjecture de Fermat.

Malgré leur distance personnelle, Lions et Kuntzmann partagent essentiellement la même vision. Mathématiciens tous deux, tous deux cultivant un champ scientifique qui s'étend des « mathématiques de l'ingénieur » à

¹⁴⁰ *L'Utilisation des calculateurs en mathématiques pures* (Journées de la société Mathématique de France, Limoges), SMF, Paris, Mémoire n° 49-50, supplément au n° de mars 1977. Parmi les participants figurent P. Barrucand, J. Céa, M. Fontet, N. Gastinel, M. Nivat.

l'informatique ou à l'automatique, et dont le centre reste l'analyse, ils placent au centre de leur activité des mathématiques de haut niveau, nécessaires aux progrès des techniques, lesquelles en retour alimentent les mathématiques en problèmes nouveaux. Kuntzmann réfute l'idée d'une « science informatique », dans un livre de 1974 qui apparaît comme une réplique à celui d'Arsac¹⁴¹. La ligne de partage entre ces conceptions se révèle nettement quand le redécoupage du Comité national du CNRS oblige à choisir. Lions et Kuntzmann s'inscrivent en section 1 (Mathématiques), tandis que la plupart des autres acteurs qu'on a évoqués rejoignent l'ensemble Informatique-Automatique.

546

À la première réunion de la nouvelle section « Mathématiques, modèles mathématiques » au printemps 1976, P. Lelong déplore la coupure entre mathématiciens et informaticiens, coupure qui entraîne « un manque de liaison dommageable ». Les mathématiciens se résigneront finalement à l'inévitable et bénéficieront eux-mêmes d'ATP en 1976-1977 : « Mathématiques » (1,126 MF) et « Mathématiques pour l'ingénieur » (0,7 MF).

La nouvelle commission 2 rassemble en février 1976 l'informatique, l'automatique, l'analyse des systèmes et le traitement du signal. Sa création permet de regrouper des spécialistes jusque-là dispersés dans différentes disciplines ; ainsi Maurice Nivat, qui siégeait jusque-là en section de linguistique, rejoint la nouvelle section d'informatique. La fusion entre des spécialistes venant de différentes disciplines se fait aisément, preuve qu'une communauté scientifique existe déjà. Des discordances de pratiques scientifiques apparaissent toutefois : les automaticiens ont, dès l'origine de leurs recherches dans les laboratoires d'électrotechnique, acquis des méthodes de travail et des conceptions de sciences expérimentales, beaucoup plus que les informaticiens conditionnés par dix ans de vie commune avec les mathématiques. On note des défauts mineurs et un certain déséquilibre entre sous-disciplines : l'informatique théorique et la combinatoire sont sur-représentées, d'autres sont sous-représentées comme l'architecture des systèmes. Des automaticiens revendiqueront parfois leur autonomie. Mais globalement la logique unitaire pèsera plus que les tendances centrifuges.

Les informaticiens bénéficient de leur intégration au secteur SPI, qui restera prioritaire dans les budgets du CNRS. Ils n'entrent donc pas en conflit avec l'Automatique pour les recrutements. Le directeur scientifique, J. Lagasse, pratique une politique de mise à niveau financière en favorisant, chaque année, un tiers des laboratoires d'informatique, formule qui garantit une certaine

¹⁴¹ J. Kuntzmann, *Apport de l'informatique à l'enseignement des mathématiques*, Lyon, CEDIC, 1974. Cette position apparaît déjà dans J. Kuntzmann, *Où vont les mathématiques ?*, Paris, Hermann, 1967. La discussion se poursuit dans un livre d'Arsac en 1987, *Les Machines à penser*, qui démontre d'ailleurs que les machines ne sauraient penser (contrairement au livre homonyme de Couffignal, 35 ans plus tôt).

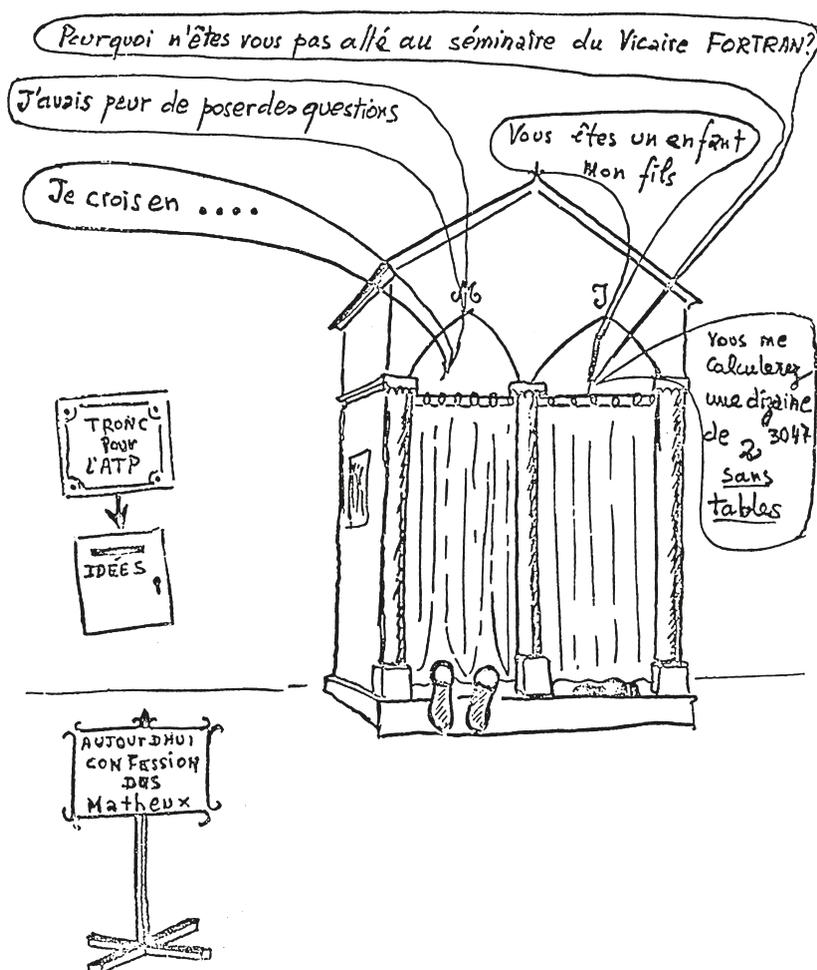


Figure 47. La confession des matheux

Renversement de l'échelle de valeurs : désormais l'Informatique est une figure du sens de l'histoire. Ne pas en faire est un péché (dessin suivant le compte-rendu par J.-L. Nicolas des Journées de la SMF sur « L'utilisation des calculateurs en mathématiques pures », *Gazette des Mathématiciens*, octobre 1975). Mieux qu'un confessionnal, la SMF crée à ce moment une commission Mathématiques-Informatique pour favoriser les relations entre les deux « communautés » et l'emploi des ordinateurs en mathématiques.

continuité tout en marquant l'effort sur un point jugé prioritaire. La section 2 gère des activités en croissance continue : en 1980, 28 laboratoires et formations, plus de 1 000 chercheurs équivalent temps plein, dont 157 chercheurs CNRS. Le nombre de chercheurs CNRS de rang A (MR et DR) relevant de la section passera de 9 en 1975 à 50 en 1986.

L'innovation institutionnelle opérée par le CNRS en créant les « Sciences pour l'ingénieur » règle donc de façon pragmatique la discussion sur la scientificité de l'informatique, et établit une configuration qui restera stable pendant vingt ans.

Celle-ci donnera satisfaction dans l'ensemble aux principaux intéressés, jusqu'à une nouvelle expansion des « Sciences et technologies de l'information » que le CNRS constituera en département à la fin du siècle.

g. Un paradigme informatique ?

Entre 1955 et 1957 sont apparus tous les signes de la constitution d'une profession autour du calcul, puis des ordinateurs. Dix ans plus tard, on voit émerger une discipline scientifique : niée en 1965 dans une délibération au CNRS, reconnue en 1967 par la création de diplômes universitaires spécifiques, de laboratoires et de l'IRIA, la discipline *informatique* est officialisée en 1969 avec les premières thèses référencées sous ce nom et son adoption dans l'intitulé de plusieurs chaires professorales et de la section 1 du CNRS. Encore trois ans et, en 1972, une action thématique du CNRS et une sous-section au Comité consultatif des universités confirment l'établissement d'un champ scientifique autonome. En 1975, la création d'une section de plein droit au CNRS peut être considérée comme l'aboutissement du processus.

548

La distance historique a le défaut de nous donner l'impression d'un processus rapide : il est si facile de compacter, en un paragraphe, tant d'efforts, d'attentes, d'espoirs et de déceptions ! La démarche consistant à repérer systématiquement, dans les archives, les traces de l'émergence de l'informatique biaise la description et pourrait donner l'impression d'un essor irrésistible – alors qu'il était au contraire en butte à maintes résistances. Pour les informaticiens de l'époque, le décalage est dramatique entre la croissance effrénée des besoins de formation ou de recherche et la lenteur des évolutions institutionnelles qui doivent permettre d'y faire face. D'où le ton véhément des polémiques qui débordent régulièrement des commissions vers la presse généraliste. Rarement, sans doute, on a vu à ce point des universitaires presser l'*alma mater* d'adapter ses structures et le contenu de ses programmes à la demande socio-économique – ils l'avaient déjà fait dans la France d'après 1870, mais en se bornant à multiplier les formations techniques, non en développant la recherche¹⁴².

Certes, les informaticiens doivent encore lutter pour se faire reconnaître comme tels par une partie du milieu savant et pour recevoir les moyens de travailler. Certes, les controverses dureront longtemps sur la nature scientifique de l'informatique. L'informatique atteint-elle le stade que Thomas Kuhn décrit comme l'acquisition d'un paradigme¹⁴³ ? Plusieurs écoles revendiquent une position centrale – l'analyse numérique, la modélisation mathématique, les recherches sur les systèmes ou sur

¹⁴² R. Fox, *Science, Industry, and the Social Order in Post-Revolutionary France*, Aldershot, Variorum, 1995.

¹⁴³ T. S. Kuhn, *La Structure des révolutions scientifiques*, op. cit., p. 41-42. On trouve dès les années 1970 une tentative d'appliquer les idées de Kuhn à la discipline informatique en

la programmation, l'informatique théorique –, tandis que la possibilité d'établir des méthodes de *software engineering* devient un sujet de débat pour longtemps.

Mais, dès la fin des années soixante, ces discussions sont menées à partir de positions institutionnelles, conquises par les informaticiens et volontiers accordées par les pouvoirs publics, qui n'ont plus rien à voir avec les incertitudes de 1965. Toute la recherche informatique est désormais, à l'image des chercheurs de l'Institut Blaise Pascal, sortie « des caves de l'Institut Henri Poincaré » pour s'épanouir sur les campus d'Orsay, de Jussieu ou de Voluceau et des grandes universités de province.

Les sociétés savantes internationales suivent le même rythme, si l'on prend comme repères la création de l'IFIP en 1959, celle de l'European Association for Theoretical Computer Science en 1972 : elles ne peuvent se constituer qu'à partir d'éléments nationaux préétablis, donc avec un décalage de quelques années.

Quant à l'Académie des sciences, on a vu qu'elle avait décerné des prix à des informaticiens dès les années cinquante. Vingt ans plus tard, elle élit membres deux savants dont l'activité a des interactions fortes avec l'informatique : J.-L. Lions (1973) et L. Malavard (1979), dans sa section de mécanique. Elle peut alors considérer qu'elle a donné une place décente aux mathématiques appliquées au calcul et à la simulation. Elle élira comme membres correspondants M.-P. Schützenberger (1978), J. Arzac (1980), É. Durand (1982), M. Nivat (1983), J. Ichbiah (1987). C'est seulement une décennie plus tard qu'un informaticien sera élu en tant que tel membre de l'Académie des sciences (Gilles Kahn, 1997), dans la section de mécanique devenue en 2003 « de mécanique et d'informatique », alors que la création d'une Académie des technologies aura modifié le contexte.

Les relations entre l'informatique et les mathématiques s'inversent alors progressivement, en France comme ailleurs.

Pour J. Ville, qui n'a pas cessé d'enseigner l'analyse matricielle et la logique, parallèlement aux mathématiques économiques, c'est l'avènement de la théorie des systèmes qui bouleverse l'ordre des sciences. Cette théorie, objet de spéculations depuis l'Antiquité, devient opératoire grâce aux progrès réalisés en biologie et en informatique. Si l'informatique était considérée d'abord comme un outil des mathématiques, on arrive à un stade où un problème que l'on ne peut traduire en termes informatiques... n'existe pas. Cela signifie que l'informatique peut *créer* des concepts mathématiques. D'ailleurs,

« si nous examinons, avec le recul qui nous est maintenant permis, les travaux de Gödel sur l'*Entscheidungsproblem*, tels qu'ils ont été présentés et discutés au

cours de formation : P. Wegner, « Research Paradigms In Computer Science », *Proc. 2nd Int. Conference on Software Engineering*, San Francisco, 1976.

séminaire de Karl Menger à Vienne, il apparaît avec une clarté aveuglante que ce sont des travaux d'informaticien. C'est là un renversement, l'inégalité :

Mathématiques > Informatique

menace bien de devenir :

Informatique > Mathématiques

Évidemment, ces inégalités dépendent des hommes liges des deux camps. En clair, de "qui est mathématicien", "qui est informaticien" »¹⁴⁴.

550

Au-delà de cette provocation délibérée, les activités naguère désignées par les termes *analyse numérique* ou *recherche opérationnelle* se redistribuent sous d'autres pavillons, *algorithmique* et *calcul scientifique*, ou *systémique*. La catégorie *mathématiques appliquées* était une catégorie à la fois pédagogique et socio-professionnelle qui englobait traditionnellement la mécanique rationnelle, le calcul différentiel et intégral, les équations aux dérivées partielles, les probabilités et statistiques. Elle perd graduellement de son sens à mesure, d'une part que d'immenses pans du savoir que des générations d'étudiants avaient laborieusement apprises depuis le XVIII^e siècle sont incorporés dans des logiciels de calcul, d'autre part que les applications mobilisent des mathématiques très variées, y compris celles qui étaient habituellement classées comme « pures ». Si, dans les années 1960, l'informatique était généralement considérée comme une branche des mathématiques appliquées ou une application des mathématiques, ce sont ensuite les mathématiques appliquées qui, ne pouvant plus se passer d'ordinateur, deviendront « une succursale de l'informatique¹⁴⁵ ». D'autre part une nouvelle catégorie *ad hoc* apparaît, les « mathématiques discrètes », fédérant les branches des mathématiques – algèbre, logique, théorie des langages et de façon générale les mathématiques du discontinu – qui permettent de représenter l'ordinateur ou son fonctionnement et sont employées en modélisation informatique. Cette catégorie offre une position alternative à celle de « science informatique ». Enfin, les progrès de l'informatique permettent de développer, au-delà du calcul traditionnel, la simulation numérique qui relève à la fois du calcul, de la théorie et de l'expérimentation : ouvrant d'immenses possibilités inédites à la recherche, posant aussi de nouveaux problèmes aux mathématiques, elle nécessite l'apprentissage d'une culture professionnelle spécifique¹⁴⁶.

144 J. Ville, *Mathématiques économiques et théorie des systèmes*, polycopié, Paris, université Paris VI et INSTN, Leçons enseignées en 1975-1976, p. 1. La « théorie des systèmes » reste discutée, comme la cybernétique.

145 L'expression est de Jean Kuntzmann.

146 M. Farge, « L'approche numérique en physique », *Fundamenta Scientiæ*, 1986, vol. 7, n° 2, p. 155-175. J.-P. Dubucs, « Simulations et modélisations », *Dossiers Pour la Science*, 2006, n° 52, p. 6-10.



Figure 48. Américanisation ou changement de paradigme ?

Traduction de la 2^e édition de N. Wiener, *The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society*, Houghton Mifflin Cy, 1954. La couverture de l'édition de poche s'orne d'une mémoire à tores de ferrites de Bull Gamma 60. C'est par ce livre de réflexions que Wiener est connu du public, mais il attachait plus d'importance à ses travaux de physique mathématique.



Figure 49. L'informatique dans l'Alliance atlantique

Fr. Genyus (pochette blanche) et Fr. Sallé (feuilletant ses papiers) à Garmisch. Louis Bolliet (université de Grenoble), François Genyus (IBM) et François Sallé (CII), tous trois actifs depuis 1960 dans le groupe Algol et la recherche en programmation, sont les participants français à la conférence OTAN *Software Engineering* de Garmisch-Partenkirchen (1968), qui s'attaque au problème de la fiabilité du logiciel et contribue à établir la nécessité d'en développer les bases scientifiques. Autres participants sur la photo : E.W. Dijkstra, M. Paul, D. Gries, D. Köhler, H. Donner.

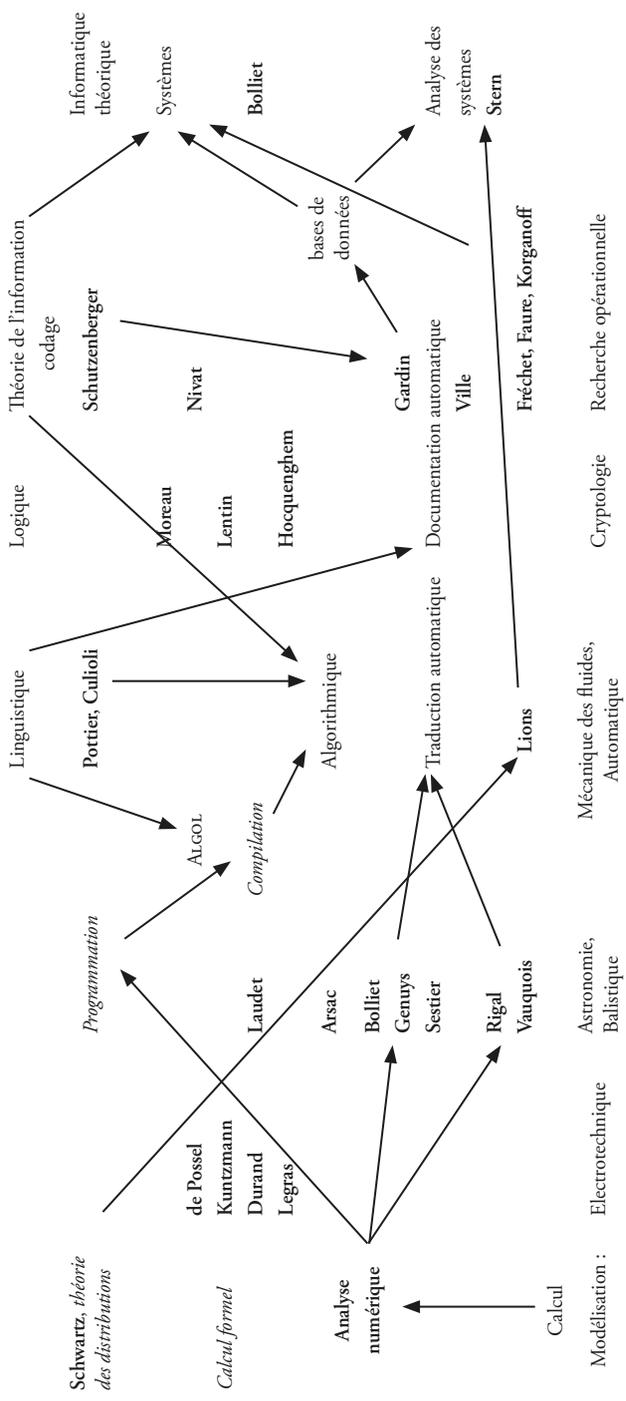


Figure 50. De l'analyse numérique à la science informatique

Autour du calcul, de l'ordinateur et du traitement de l'information, des spécialistes très diverses se rapprochent et entrent en coopération, attirés par le besoin de formaliser des pratiques pour les enseigner, d'explorer des usages inédits et de constituer la théorie de ces nouveaux objets. Ce schéma approximatif et nécessairement incomplet ne prétend pas décrire la totalité du champ informatique en construction (il faudrait une figure en quatre dimensions), mais rendre visibles les phénomènes de croisements et de recompositions qui produisent la discipline informatique à la fin des années 1960.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Résumons, en indiquant ses temps forts, cette masse de faits, de monographies et de tentatives pour comprendre une histoire dont les conséquences sont maintenant omniprésentes, mais dont les débuts, il y a un demi-siècle, peuvent nous paraître de plus en plus exotiques : des mots comme « tambour magnétique », « Algol », « recherche opérationnelle » ou « intérêt national », si intensément excitants et mobilisateurs alors, semblent aujourd'hui presque sortir du tiroir où Baudelaire conservait « plus de souvenirs que si j'avais mille ans ».

La France est le seul pays industrialisé où la recherche publique n'a pas réussi à construire d'ordinateur dans la période pionnière. Les causes profondes de cet échec remontent à la pauvreté de la recherche nationale dans l'entre-deux-guerres et à la faiblesse des besoins de calcul, qui découle elle-même de la faiblesse de la R&D dans l'industrie électrique. La défaite de 1940 a isolé la France du mouvement des sciences et des techniques pendant quatre ans, brisé un effort de redressement qui s'engageait, interrompu l'apprentissage de la coopération entre scientifiques, industriels et militaires. Dans les années cinquante, l'échec des organismes engagés dans la construction de calculateurs numériques (Institut Henri Poincaré, CNRS, ONERA, etc.) a perpétué ces faiblesses et contribué à retarder la reconnaissance académique du traitement de l'information : ils ne présentent dans ce domaine aucune réalisation technique convaincante capable d'amorcer un mouvement d'intérêt significatif.

Pourquoi la recherche nationale au temps de la Reconstruction n'a-t-elle pas réussi à se lancer dans le calcul électronique, alors qu'elle reprenait son rang dans d'autres technosciences, notamment l'aéronautique et le nucléaire ? L'absence, en tout cas la faiblesse d'une « tradition du calcul » dans l'université française de cette époque me semble constituer la principale explication : tandis que la position de pointe des atomistes français avant-guerre, l'existence d'une forte industrie aéronautique appuyée sur la recherche en mécanique des fluides dès les années 1930, fournissent les bases du redémarrage rapide de ces deux secteurs dès la Libération, on n'observe rien de tel dans le domaine des « machines mathématiques ».

C'est seulement autour de 1950 (année où l'économie française retrouve enfin son niveau de 1930 et où la guerre froide s'intensifie) qu'un intérêt nouveau pour le calcul, ses méthodes et ses machines déclenche un processus cumulatif

durable. Sur un terrain préparé par quelques pionniers surgit une demande d'expertise et de formation d'ingénieurs en mathématiques appliquées. Elle vient notamment de l'industrie électronique et des grands programmes d'équipement aéronautique, naval, électrique ou nucléaire ; la pression exercée par la Société française des électriciens pour que l'enseignement supérieur modernise et augmente ses programmes de mathématiques appliquées est bientôt suivie d'effets. Le calcul et diverses formes de simulation deviennent indispensables pour faire l'économie de l'expérimentation en grandeur réelle et pour maîtriser les systèmes de plus en plus complexes dont la conception réclame une précision croissante. La recherche universitaire, notamment celle qui contribue à ces programmes, exprime à son tour des besoins de calcul qui dépassent les modestes instruments de bureau dont elle se contentait depuis le début du siècle. Ce changement dans les pratiques est renforcé par l'exemple anglo-américain. Il suscite des vocations d'enseignants ou de chercheurs et motive la passations de contrats de recherche, apportant des ressources à cette activité émergente dans l'université. Les premiers calculateurs électroniques apparaissent à ce moment.

L'« informatique » se développe alors dans des pôles universitaires qui possédaient depuis le début du siècle une forte tradition de sciences appliquées, particulièrement l'électrotechnique : en premier lieu Grenoble, Toulouse, Nancy. Le calcul, interface entre les mathématiques et la technologie, ne pouvait s'affirmer que dans des facultés comportant des laboratoires de recherche à la fois intégrés aux structures d'enseignement et habitués à travailler avec l'industrie ou l'armement. Son émergence est plus tardive dans les Grandes Écoles d'ingénieurs, qui ne font pratiquement pas de recherche à l'époque. Le processus de répartition des pôles de recherche en informatique sur le territoire scientifique français bat en brèche les clichés sur le désert provincial et la concentration des talents à Paris – il résulte aussi d'une volonté décentralisatrice à l'œuvre dès les années 1950. Il montre la force structurante des systèmes locaux d'innovation sur la longue durée, où l'implantation universitaire est déterminante.

La diffusion de techniques et de compétences consécutive à l'installation des nouvelles machines s'accompagne d'un phénomène d'ordre social : la naissance d'une profession – peu importe que le mot *informaticien* n'existe pas encore. En 1955, quand les premiers ordinateurs à programme enregistré sont mis en service dans l'hexagone, la France ne compte que de rares spécialistes en programmation, en circuits et en architecture de machines, essentiellement chez les constructeurs, ainsi que dans les équipes universitaires susmentionnées ; ajoutons une poignée d'ingénieurs militaires. Deux ou trois ans plus tard, un véritable milieu professionnel s'est organisé, avec ses associations (AFCAL,

AFRA), ses centres de rencontre ou de propagande (Syndicat national de l'automatisme, Centre national de l'automatisation), ses manifestations scientifiques et commerciales (SICOB), ses moyens d'information (revues *Chiffres*, *Automatisme*, *Automation*) ; à quoi s'ajoutent bientôt les premiers livres traduits de l'anglais ou écrits par des Français compétents sur la question. Le départ une fois pris, la vitalité de l'informatique française est attestée par le fait que, au début des années 1960, une dizaine d'entreprises construisent des ordinateurs, tandis que se multiplient les pôles de recherche et de formation dans l'enseignement supérieur et que se diversifient les thèmes d'investigation en informatique non numérique.

L'irruption de la « Science lourde » dans les mathématiques tend à les reconfigurer. Cependant, une logique opposée, incarnée par le groupe Bourbaki, poursuit une purification des problématiques et des cursus. Les conflits qui surgissent autour de la reconnaissance institutionnelle de l'informatique révèlent la tension entre deux représentations antagonistes de la Science, l'une liée à la Technique, l'autre à la Culture. Ce problème est central dans les témoignages des pionniers français, mais on le rencontre aussi dans l'histoire des *computer sciences* en Amérique du Nord, souvent idéalisée par les Européens. Il est rendu particulièrement aigu dans le cas français par trois facteurs : le rôle central de Bourbaki dans les mathématiques françaises des années 1950-1970, qui oriente les talents mathématiciens vers des sujets ou des approches éloignées de l'informatique ; la place centrale de l'analyse dans la tradition mathématique française et la position très marginale de la logique, alors que l'informatique est fondée beaucoup plus sur celle-ci que sur celle-là.

L'informatique, qui n'existait pas comme champ autonome à la fin des années cinquante, conquiert sa légitimité d'abord en épousant la revendication d'existence des mathématiques appliquées, notamment de l'analyse numérique, puis en sortant peu à peu de ce cadre et en s'associant avec d'autres disciplines – linguistique, logique formelle, algèbre, etc. Ce mouvement s'observe dans des centres de recherche civils ou militaires, publics ou privés, dans les associations de spécialistes et dans les commissions de l'enseignement supérieur et de la recherche. Sa principale motivation est la nécessité de mieux comprendre ce que l'on fait en utilisant les ordinateurs et de formaliser des savoirs techniques afin de les enseigner, pour répondre à une forte demande du marché.

Cette évolution est à peine entamée qu'au milieu des années 1960 les décideurs scientifiques essaient d'organiser la recherche en informatique, « science encore incertaine », en plusieurs configurations complémentaires : avec l'électronique à la DGRST, avec les mathématiques au CNRS, avec l'automatique à l'IRIA (bientôt dominé lui aussi par la modélisation mathématique). Dans l'enseignement supérieur, l'informatique s'affirme

sous diverses configurations locales et par la création des maîtrises, licences et départements d'IUT à partir de 1967. Vers 1970, s'appuyant sur la dynamique du Plan Calcul, face aux réticences internes au milieu scientifique, les militants d'une discipline informatique autonome sont suffisamment assurés de leurs bases pour constituer des équipes de recherche en informatique fondamentale et réclamer la création de sections d'informatique au CNRS et au Comité consultatif des universités. Ces instances d'évaluation apparaissent au cours des années suivantes (sous-sections au CNRS et au CCU dès 1972, sections de plein droit en 1975 au CNRS, en 1983 au CNU), au rythme des réformes institutionnelles.

Revenons sur quatre aspects de ce récit, pour comprendre leur signification dans l'histoire générale de l'informatique comme dans l'histoire des institutions scientifiques :

556

- L'échec global de la construction d'ordinateurs par la recherche publique des années 1950.
- La situation de la science française dans le contexte international, notamment ses relations avec la puissance américaine.
- Les relations recherche-industrie.
- L'émergence d'une discipline informatique autonome.

LE PARADOXE DE LA NON-CONSTRUCTION D'ORDINATEURS

La France est pratiquement le seul pays avancé où la recherche publique n'a pas réussi à construire d'ordinateur avant la fin des années cinquante. Paradoxalement, à cette époque de dirigisme affirmé, c'est l'industrie privée qui a assumé tous les risques de l'innovation dans cette technologie de pointe.

L'histoire des trois ordinateurs construits au cours des années 1960 dans l'enseignement supérieur – par R. Perret à Grenoble, par V. Cordonnier à Lille et dans l'équipe de M. Laudet à Toulouse – éclaire les échecs et les carences de la période précédente. Deux d'entre eux sont réalisés dans des équipes d'Automatique (au LAG de R. Perret, à l'ISEN par V. Cordonnier), le troisième l'est dans un laboratoire d'informatique dont l'environnement est riche en électroniciens et en automaticiens (optique électronique, LAAS...), et dont les fondateurs ne sont pas mathématiciens *stricto sensu*. Ces faits confirment indirectement la difficulté ou l'impossibilité, pour le milieu mathématicien français de l'époque, de construire un calculateur : quand une « machine mathématique » est fabriquée par des universitaires, les mathématiciens n'y prêtent guère la main. Leur tour d'ivoire ne comporte pas d'atelier.

Tableau 27. Les projets de calculateurs
dans la recherche publique française jusqu'en 1969

Années 1950

Machine conçue « en interne »				Calculateurs de l'industrie
Laboratoire	Nom	Date	Destin	
I.H. Poincaré	Machine de Fréchet	1939-40	Abandon	1957 : achète Bull Gamma 3
	Machine de Couffignal	1939-40	Abandon	
LCA Pérès-Malavard	Aucun projet de machine numérique			1966 : achète SEA CAB 500, etc.
	Cuves rhéologiques	1934-1960s	Prolifération	(labos), non industrialisables
	Calculateur à réseau de résistances Delta 600		industrialisé par Labinall	
IBP	Machine de Couffignal	1947-1952	Abandon	1955 : Elliott 402, IBM 650, etc.
Institut d'optique	Projet de Maréchal	1948	Abandon	1952 : IBM CPC, puis IBM 650
ONERA	Ordinateur de Druet	1951-1953	Abandon	1958 : IBM 704
	MOP	1953-1959	Dépassée quand mise en service	
CNET	Calc. mécanique de Rose	1952	Technologie dépassée	
	Calculateurs analogiques inspirés par les machines SEA (1954)			

Années 1960

Machine conçue « en interne »				Calculateurs de l'industrie
Laboratoire	Nom	Date	Destin	
CNET	Antinea	1962	Bases de recherches sur la commutation numérique,	
	Ramsès	1965	ont renouvelé l'industrie de la téléphonie	
Grenoble CENG+IMAG	projet-papier de machine-langage	1963	Refusé par la DGRST	
Laboratoire d'automatique de Grenoble	MAT 01	1965	Mini-ordinateur original, industrialisé par Mors puis par Télémechanique – grand succès technique et commercial	
CEA	Unité de calcul spécialisée	1965	Usage interne temps réel, conçue par M. Vergez	
Université de Toulouse	CAT	1966	Usage pédagogique	dérivée de SEA CAB 500
ISEN Lille	ord. Cordonnier	1966	Usage pédagogique	dérivé d'IBM 1401
IRIA	MIRIA	1969	Mini-ordinateur conversationnel – n'intéresse personne	

On constate que les calculateurs numériques conçus dans les laboratoires publics jusqu'à la fin des années cinquante sont, soit abandonnés avant d'être terminés (cas de la plupart d'entre eux), soit dépassés techniquement au moment de leur entrée en service. En conséquence, les laboratoires finissent par acquérir des ordinateurs produits par l'industrie. Quelques calculateurs analogiques sont construits ; l'un d'eux, le Delta 600, deviendra un modeste produit industriel. Dans les années soixante, au contraire, plusieurs ordinateurs sont projetés et parfois réalisés dans la recherche publique. Deux d'entre eux dérivent de machines conçues dans l'industrie ; les réalisations les plus originales (ordinateurs du CNET pour la commutation numérique, MAT 01 de l'université de Grenoble) donneront lieu à des succès industriels et commerciaux.

Un point particulier mériterait une analyse approfondie fondée sur une comparaison internationale. Si les cuves rhéométriques ont été employées dans la plupart des pays sous des noms variés (*electrical tanks*, etc.), cette technique de calcul, ainsi que les autres appareils analogiques développés par les équipes Pérès et Malavard, semble avoir connu en France un développement plus prolongé qu'ailleurs. Élégante et bon marché, efficace à la fois pour la recherche et pour l'enseignement, elle a été perfectionnée pendant trente ans par des savants prestigieux dans des institutions parisiennes solidement établies. Elle a permis de se passer d'ordinateurs dans les laboratoires français de mécanique des fluides jusqu'au milieu des années soixante, où l'on considérait encore que « d'une façon générale les calculateurs arithmétiques sont moins bien adaptés aux besoins [...] que les calculateurs analogiques » pour divers problèmes de mécanique¹. Les cuves rhéométriques ont ainsi constitué un trait original, une particularité nationale, de l'histoire du calcul dans la France contemporaine. Astucieusement exploitée, cette technique correspondait bien à la prédominance de l'analyse dans la formation mathématique française et au savoir-faire des ingénieurs.

GRANDS ORGANISMES ET UNIVERSITÉ

Le développement plus ou moins inabouti de calculateurs a eu lieu dans deux types d'organismes :

- les instituts annexes d'université, voués à la recherche orientée soutenue par des partenaires extérieurs : Instituts Henri Poincaré, de mécanique des fluides, d'optique ;
- les grands organismes de recherche : CNRS, ONERA, CNET.

Par comparaison avec ce qui se passe à l'étranger, deux catégories d'établissements sont absentes de cette liste d'acteurs : les laboratoires de mathématiques des facultés des sciences et les écoles d'ingénieurs n'ont, ni les uns, ni les autres, entrepris de construire d'ordinateur avant les années 1960. Quelle différence avec le rôle joué, ailleurs en Europe, par Cambridge, Manchester, Amsterdam, Munich, Zurich, Prague, Stockholm, les Technischen Hochschulen ! Dans l'université française d'alors, il n'était pas concevable que des mathématiciens construisent des machines. Quant aux écoles d'ingénieurs, elles ne faisaient pas de recherche et l'on y enseignait une science... mûrie.

¹ Arch. nat. 77/1521/36, Groupe spécialisé pour les marchés de matériel de bureau électromécanique et électronique, PV séance 12 mai 1964, p. 4. Le patron de Supaéro, P. de Valroger, justifie en ces termes l'achat d'un calculateur analogique SEA NADAC 100 destiné au Centre d'études et de recherches en automatisme.

Voilà donc assez réduit, d'emblée, l'éventail des institutions susceptibles d'entreprendre la construction de calculateurs. Ce facteur, associé au manque d'expérience en matière de gestion de projet, à la faible demande de calcul jusqu'au début des années cinquante, ainsi qu'aux difficultés budgétaires de la IV^e République, explique l'échec de ces tentatives.

Le CNRS a été fondé par des universitaires qui ne trouvaient pas dans les facultés la possibilité de faire de la vraie recherche. Pourtant les instituts d'université avaient fait la preuve de leur efficacité au cours des années trente. En fait, dès l'établissement des grands organismes de recherche à partir de 1939, on observe une concurrence entre ceux-ci et les instituts annexes. Le CNRS s'efforce d'imposer sa mainmise sur les moyens de calcul de l'IHP (machines de Fréchet et de Couffignal en 1940-1942, fondation en 1946 de l'Institut Blaise Pascal qui éclipse le « CEMA », absorption du laboratoire de calcul numérique de l'IHP par l'IBP en 1958). Le laboratoire de calcul analogique né à l'Institut de mécanique des fluides de la faculté des sciences de Paris devient en 1946 un laboratoire propre du CNRS (Institut Blaise Pascal) et un service de l'ONERA ; le CNRS empêche l'Institut d'optique de faire construire un ordinateur électronique. L'université est donc mise hors jeu après-guerre, essentiellement par le CNRS, en ce qui concerne le développement de *hardware*.

L'Enseignement supérieur reprend ensuite l'initiative, consacrant à partir des années cinquante des moyens considérables aux équipements lourds de calcul et créant progressivement des diplômes spécialisés et des postes d'enseignants, dans un jeu d'émulation et de complémentarité avec le CNRS. Globalement, le budget de la recherche universitaire quadruple de 1960 à 1964, ses crédits d'équipement dépassant même ceux du CNRS. Dès cette époque, le CNRS et l'Enseignement supérieur mènent ensemble une action bien imbriquée, allant jusqu'à la nomination d'un chargé de mission à l'informatique commun en 1971. L'équilibre sera manifeste au cours des années 1970, avec une répartition géographique et fonctionnelle des grands centres de calcul et l'intégration progressive de l'IRIA dans le système académique.

RÉCEPTION, RÉCEPTIVITÉ, ACCLIMATATION : UN « STYLE NATIONAL » ?

Quand une découverte est faite dans un laboratoire étranger, c'est une pratique normale de répliquer l'expérimentation, pour la vérifier, pour se familiariser avec ses aspects théoriques et techniques, et pour la dépasser si possible. Ainsi, la découverte par Hertz des ondes électromagnétiques en 1888 a déclenché un bouillonnement d'expériences dans divers laboratoires d'Europe et d'Amérique. Un peu partout, on a construit des oscillateurs et des détecteurs, on a refait

les calculs, on a « joué » avec la nouveauté pour la maîtriser, l'intégrer dans les problématiques des savants et participer à l'innovation².

Rien de tel ne marque, dans l'université française, la réception des idées de Von Neumann et des réalisations anglo-américaines en matière de calculateurs. Si « la véritable conviction se traduit souvent par *l'action*, par le fait de s'approprier et de transformer ce qu'on a lu ou entendu pour intervenir et faire quelque chose de neuf »³, alors on peut conclure que le concept d'ordinateur n'était pas « convaincant », « intéressant » aux yeux des mathématiciens français : la machine de Von Neumann, inséparable d'un contexte d'expérience technique, de logique mathématique et de conceptions statistiques et probabilistes, ne s'insérait ni dans leurs questionnements, ni dans leurs perspectives.

560

Les quelques individus qui se sentaient concernés pouvaient difficilement envisager d'entreprendre la construction d'un ordinateur, dans un contexte institutionnel français reflétant le contexte intellectuel : faible aptitude des laboratoires universitaires à mener un grand projet technologique ; clivage entre écoles d'ingénieurs et recherche ; collaboration très limitée avec l'industrie et l'Armée ; monopolisation par le CNRS (laboratoire Couffignal) de l'investissement académique national en ce domaine, jusqu'en 1951. Si Léon Brillouin, dans sa conférence de 1947 sur les « grandes machines mathématiques » américaines, a exhorté ses auditeurs de l'ENS Télécom à aller travailler avec les Américains pour s'initier aux nouvelles machines, cette suggestion n'a guère été suivie d'effet dans l'enseignement supérieur. Seul le grenoblois René Perret passe un an chez Aiken et s'oriente ensuite vers l'Automatique. Benoît Mandelbrot séjourne à Princeton chez Von Neumann, mais s'intéresse plutôt à la théorie de l'information.

La « réception de l'ordinateur » en France ? Mieux vaut parler, de façon plus large, de la perception du « calcul électronique » par les scientifiques et les ingénieurs Français. Cette perception varie selon leurs connaissances des réalisations anglo-américaines, dont certaines sont d'ailleurs classifiées. Elle varie bien sûr dans le temps, en fonction des informations qui arrivent progressivement en France, et des recherches menées par les Français eux-mêmes. Elle varie enfin selon le parcours intellectuel et professionnel de ceux-ci : on ne va pas chercher exactement les mêmes choses, outre-Manche et outre-Atlantique, selon que l'on rumine un vieux projet baignant dans la mécanologie comme Couffignal, que l'on désire appliquer l'électronique à

2 M. Atten & D. Pestre, « De l'administration des preuves en physique », *La Recherche*, septembre 1998, p. 76-81.

3 *Ibid.*, p. 78.

des problèmes mathématiques et physiques comme Raymond, ou que l'on est chargé de concevoir un produit répliquant aux dernières annonces d'IBM, comme les ingénieurs de Bull.

Les rares Français concernés ne retiennent généralement, de ce qu'ils peuvent voir ou lire en Angleterre ou aux États-Unis, que les fragments qui apportent des solutions directes à leurs problèmes familiers. Ni ces problèmes, ni les savoir-faire courants, ni les programmes de recherche ou de développement en cours n'exigent d'importer plus que ces morceaux choisis. Au moins jusqu'au milieu des années 1950, l'ordinateur n'est perçu que comme une formule parmi d'autres – la plus difficile – du calcul électronique. Exceptionnels, non représentatifs sont les Français qui, par formation et par curiosité, envisagent le nouveau concept en lui-même, comme l'élément central d'un système technique en émergence, comme un paradigme avec ses implications et ses potentialités. Quand ils essaient de révéler celles-ci à leurs compatriotes, ils sont mal compris, et leurs analyses qualifiées de futuristes. Cette réception incomplète, dans le cadre d'une configuration d'intérêts différente de celle qui existe aux États-Unis et en Grande-Bretagne, est un élément fondamental du « retard français ».

Si la machine de Von Neumann a été « reçue » en France, c'est plutôt dans l'industrie que dans la recherche, principalement à la SEA qui l'a expérimentée jusqu'aux limites. Situation paradoxale dans la France des années 1950, où triomphent le dirigisme étatique, la mystique du Plan, la technocratie et la croyance dans la fécondité naturelle de la recherche fondamentale. C'est pourtant l'industrie privée, communément perçue à l'époque comme conservatrice et réticente à investir, qui réalise les premiers ordinateurs français, tandis que le vaste ensemble national de facultés, d'organismes de recherche et d'instituts techniques manque ou simplement ignore cette innovation destinée à révolutionner les conditions du travail scientifique.

Les conditions initiales particulières du développement de l'informatique française – pas de réalisation d'ordinateur dans la recherche publique ; création des premières équipes, soit par des mathématiciens appliqués répondant à la demande des écoles d'ingénieurs locales, soit par des mathématiciens s'intéressant spontanément au calcul – déterminent dans une certaine mesure un « style national » de l'informatique universitaire :

- Manque d'expérience en ingénierie de projets – il est frappant que, vingt ans après les errements de Couffignal, de Possel gaspille son talent en bricolages de machine à lire, tandis qu'à l'IRIA l'équipe Gløess fait de même avec MIRIA. Ce n'est pas tant les machines qui sont bricolées que les stratégies : ces projets ne s'insèrent dans aucun réseau de développement scientifique ou industriel et ne peuvent donc être que des impasses. Ils semblent menés

simplement dans l'illusion qu'il suffit de matérialiser des idées brillantes et des concepts avancés pour convaincre constructeurs ou utilisateurs.

- Faible développement de l'architecture de machines, qui contribue aussi à expliquer pourquoi le Plan Calcul démarrera avec des ordinateurs américains.
- Rôle central durable de l'analyse numérique. Le nom même de la première société savante, *Association Française de Calcul*, est significatif de ce centrage, par comparaison avec ceux des organisations équivalentes, *Association for Computer Machinery* (ACM) aux États-Unis, *British Computer Society* en Angleterre, fondées pourtant avant l'association française ; et de l'*International Federation for Information Processing*. Une centaine de chercheurs français se consacrent essentiellement à l'analyse numérique au début des années 1970.

562

Faute pour les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de réaliser des ordinateurs dans les années cinquante, tout un ensemble de connaissances et de savoir-faire, devenu central dans l'univers technologique né après-guerre, est donc resté absent pendant quelques années du monde scientifique français. La conséquence la plus directe est le retard en matière de formation à l'informatique, que les spécialistes ne cessent de dénoncer.

On observe initialement peu d'effets de génération, ce qui confirme la non-adéquation du modèle kuhnien de révolution scientifique : ceux qui participent dans les années cinquante au développement du « calcul électronique » sont aussi bien de jeunes thésards que des professeurs qui se réorientent. En revanche, avec l'émergence des systèmes et de l'informatique théorique dans la seconde moitié des années 1960, on voit apparaître une génération de nouveaux informaticiens qui ne sont pas passés par l'analyse numérique.

C'est aussi une génération politisée. Nous avons laissé à l'arrière-plan la révolte de mai-juin 1968 qui a bouleversé et divisé l'université. Mais il y aurait une étude complémentaire à réaliser sur les relations entre agenda politiques et agenda scientifiques. Pour ne citer que des exemples individuels, les recherches mathématiques de Jean-Paul Benzécri sur l'analyse des données s'inscrivent dans un projet politique visant à construire une alternative à la statistique établie. À Rennes également, les travaux et l'enseignement du jeune Yves Cochet sont difficilement séparables de son engagement écologiste. On a évoqué la décision prise par le fondateur de l'informatique théorique en France, M.-P. Schützenberger, de cesser de diriger des thèses après mai 1968 : anarchiste autant que mathématicien, comment aurait-il pu continuer à être un patron de recherche ? Et combien de mathématiciens ou d'informaticiens ont abandonné thèses ou agrégations, après que le vécu soixante-huitard leur a fait prendre conscience de l'inanité de ces rites de passage constitutifs de la reproduction de l'ordre social ?

Les particularismes locaux sont limités sur le plan des orientations scientifiques. Tous les pôles universitaires s'efforcent de couvrir l'ensemble des grands domaines de l'informatique au milieu des années 1960, ne serait-ce que pour offrir un programme d'enseignement complet. Les projets Algol et les orientations de la DGRST contribuent à homogénéiser les approches, tout comme ensuite l'essaimage des jeunes professeurs des pôles pionniers vers les nouveaux centres. L'analyse numérique et la programmation sont actives dans tous les centres, ainsi qu'un minimum de logique, de recherche opérationnelle et de cours sur la structure des machines. Les plus gros, qui sont aussi les plus anciens pôles, ajoutent des spécialités locales à ce tronc commun : traduction automatique ou théorie de la commutation (Grenoble), calculateurs hybrides et technologie des machines ou informatique médicale (Toulouse), reconnaissance des formes (Paris) ou de la parole (LIMSI à Orsay un peu plus tard) que l'on trouve aussi à Toulouse, etc.

L'informatique apparaît dans des universités où existe une longue tradition de sciences appliquées : elle se développe, soutenue et poussée par les instituts techniques devenus écoles d'ingénieurs. Et, derrière la demande exprimée par ces écoles, on trouve les besoins de l'industrie et de l'État en compétences nouvelles, assortis d'aides diverses, de partenariats, d'orientations de politique scientifique, de contrats de recherche, qui donnent au calcul, puis à l'informatique universitaire, les moyens d'exister.

La principale force qui joue, en sens inverse, contre l'essor de l'informatique est interne au milieu académique : c'est l'ensemble de valeurs et de pratiques professionnelles émanant des mathématiques pures. Pourquoi celles-ci peuvent-elles imposer leur domination « morale » ? D'abord parce que leurs représentants sont incontestablement une élite scientifique qui apporte une contribution majeure au progrès des connaissances ; mais aussi parce que cette élite partage ses valeurs avec la majorité des universitaires français et avec des institutions qui ont intégré, consciemment ou non, la hiérarchie logique des disciplines énoncée par Auguste Comte et l'idéalisme d'Ernest Renan qui considère la Science comme constituant, avec la poésie et la morale, la « religion naturelle » de l'humanité future⁴.

4 E. Renan, *L'Avenir de la Science*, Paris, Calmann-Lévy, 1890. On peut réfléchir à l'infini sur le problème de la classification des sciences (R. Daudel, *Une vision moléculaire du monde*, Paris, Hachette CNRS, 1981). Auguste Comte place les mathématiques aux côtés des sciences de la nature, qui sont généralement plus mathématisables que les autres. Cinquante ans plus tôt, Condorcet avait proposé une tout autre classification : d'une part, les sciences « physiques », s'occupant des objets naturels ; d'autre part, les sciences « psychologiques », s'occupant des objets créés par l'esprit humain, où les mathématiques voisinaient avec la métaphysique et les sciences sociales – sciences sociales que Condorcet entreprenait d'ailleurs de mathématiser. La classification de Condorcet semble correspondre, mieux que celle de Comte, à l'image et à la position revendiquées par les mathématiciens purs (Condorcet, *Tableau historique des progrès de l'esprit humain*).

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que l'on refuse le statut de science à l'informatique, activité à la fois nouvelle et interdisciplinaire – donc impossible à caser dans cette hiérarchie – et où la distinction entre recherche fondamentale et recherche industrielle n'a guère de sens.

Ce jeu des forces internes et externes à l'université, qui résistent à l'émergence d'une discipline nouvelle ou au contraire la promeuvent, n'est pas spécifique au cas de l'informatique : on l'a observé dès la fin du XIX^e siècle dans la création des premiers enseignements d'électricité, dont les *supporters* universitaires s'appuyaient sur l'industrie, sur les autorités politiques et sur les exemples étrangers pour imposer l'électrotechnique à des conseils de faculté réticents⁵.

Dans le cas de l'*informatique*, si ce terme est bien commode pour désigner globalement l'ensemble du traitement de l'information, il a du même coup le défaut d'évoquer une grande variété d'activités dont beaucoup n'ont rien de scientifique. La recherche informatique en souffre, ses détracteurs ne se privant pas de jouer sur l'ambiguïté du mot.

564

Ces conflits épistémologiques, qui se conjuguent avec la concurrence entre disciplines pour les ressources, retardent la mise en place ou le développement de formations spécialisées. La recherche est la première à souffrir de ces retards, puisqu'elle éprouve les pires difficultés à recruter des programmeurs pour ses centres de calcul.

UNIVERSITÉS ET GRANDES ÉCOLES

L'échec des grands organismes dans le développement d'ordinateurs, dans l'après-guerre, marque les limites des possibilités de modernisation de la science française, plus exactement de sa conversion à la science lourde. C'est dans l'université que se développent les premiers pôles de recherche et de formation en calcul numérique, à l'interface des facultés des sciences, des instituts de formation technique et de quelques grands clients civils ou militaires. C'est dans ces pôles universitaires pionniers que sont construits, après 1960, des ordinateurs qui feront parfois l'objet de transferts industriels réussis.

Les écoles d'ingénieurs, comme la plupart des universités, n'investissent généralement qu'au milieu des années soixante dans la formation à l'informatique. Celles qui ont précédé (Supaéro, Supélec) font figure

5 F. Caron et F. Cardot (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, t. 1 « Espoirs et conquêtes (1881-1918) », préface de Marcel Boiteux, Paris, Fayard, 1994, chap. 1 & 2. Voir aussi A. Grelon, « La formation des ingénieurs électriciens entre les deux guerres », dans M. Lévy-Leboyer et H. Morsel (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France (1918-1945)*, Paris, Fayard, 1995, t. 2. Et, d'un point de vue plus général, C. Charle, « Les limites d'un affrontement : science appliquée, science pure », *La République des universitaires (1870-1940)*, Paris, Le Seuil, 1994, p. 168-175.

d'exception. La plus difficile à remuer a été l'École polytechnique où un faisceau de contraintes (médiocrité des cours de mathématiques appliquées dans la décennie précédente, absence de laboratoire en ce domaine, manque de place dans les locaux comme dans le planning des cours, vision des débouchés, etc.) retarde l'émergence de l'informatique jusqu'à la fin de la décennie 1960. Toutefois, un flux régulier de jeunes polytechniciens n'a pas attendu pour s'orienter, après le diplôme, vers la recherche en mathématiques appliquées ou l'informatique. Ils y sont conduits par trois canaux principaux:

- Le canal J.-L. Lions-Institut Blaise Pascal, puis IRIA où, séduits par des mathématiques appliquées enfin intéressantes, ils viennent préparer une thèse et étoffer la cohorte des « lionceaux ».
- Le canal de l'Armement où des ingénieurs qui, soit font du calcul, de la recherche opérationnelle ou du traitement, soit développent des systèmes de contrôle-commande, décident après quelques années de valoriser leur expérience, de mieux comprendre ce qu'ils font ou d'attaquer de nouveaux sujets, en reprenant des études dans une université française ou américaine.
- Le canal de l'industrie informatique, dont les services de R&D recrutent à tour de bras des ingénieurs de toutes origines et leur donnent un sérieux complément de formation, parfois assorti d'un doctorat ou d'un *master* aux États-Unis.

La demande de compétences et l'intérêt du nouveau domaine sont donc assez forts pour contrebalancer en partie les rigidités de la formation polytechnicienne d'alors. Le mouvement est aidé par quelques dirigeants à l'esprit ouvert, mais aussi par des institutions. Ainsi, la filière d'études aux États-Unis, explorée initialement par Supaéro, est amplifiée à partir de 1962 grâce aux bourses de la DGRST.

Pour une minorité de jeunes polytechniciens, l'informatique apparaît ainsi comme une sorte de « botte recherche bis ». Avançons que, dès les années 1950, l'École polytechnique a bien une école d'application en informatique et en automatique : le MIT...

LA SCIENCE FRANÇAISE DANS LE CONTEXTE INTERNATIONAL

En concluant la partie I sur les changements dans la pratique des sciences, qui induisent vers 1950 une demande de calcul sans précédent, nous suggérons une « américanisation » de la recherche. Les États-Unis, grands gagnants des deux guerres mondiales, sont évidemment devenus le principal modèle, ne serait-ce que parce qu'ils fournissent l'essentiel de la technologie et des savoir-faire de base qui l'accompagnent ; ce rôle de modèle apparaît avec évidence dans le

vocabulaire technique et managérial. Mais ils ne sont pas le seul et leur influence ne s'exerce pas sur le mode trop simple de l'émission / réception.

D'autres pays exercent une influence. L'Angleterre, qui a l'avantage de la proximité, conserve longtemps le prestige que lui valent ses inventions pionnières. Au cours des années 1950, une dizaine d'ingénieurs français du secteur public vont s'initier au calcul électronique en passant un ou deux mois dans l'équipe Wilkes à Cambridge, plus rarement à Manchester ou chez Elliott ; ils en reviennent en diffusant ces connaissances nouvelles dans leur entourage professionnel et suscitent généralement l'acquisition rapide d'un ordinateur. Au milieu des années 1960, on envisage encore d'acheter outre-Manche un super-calculateur Ferranti Atlas, tandis que, face au défi américain, on va rêver jusqu'en 1971 à une alliance franco-britannique des constructeurs. Mais sur le plan industriel ce sont toujours les constructeurs américains qui l'emportent *in fine*, y compris parce qu'ils savent bien utiliser les ressources scientifiques européennes en complément des leurs.

566

La recherche soviétique en mathématiques appliquées tient, elle aussi, une bonne place dans les références d'articles et dans les contacts ou échanges internationaux, le rideau de fer étant assez perméable aux échanges *scientifiques*, d'autant plus que des sympathies idéologiques rapprochent alors une forte minorité des chercheurs français et leurs collègues de l'Est. La proximité essentielle tient à la forte tradition russe de lien entre les mathématiques et leurs applications qui trouve une nouvelle justification dans les faibles performances des ordinateurs soviétiques : leurs utilisateurs ont particulièrement intérêt à économiser sur la complexité des calculs et à trouver des méthodes de résolution astucieuses, ce qui intéresse aussi les Français qui ne disposent pas d'un luxe d'équipements comparables à celui des universitaires américains. En revanche, on ne trouve aucune influence *technique* des pays de l'Est, justement parce que leur retard est considérable en matière d'équipements et d'usages civils.

La recherche française en calcul et en mathématiques appliquées a pu s'insérer dès l'après guerre dans le réseau mathématique international où, de surcroît, le français est encore une langue de communication courante. La fondation Rockefeller y a contribué en finançant les colloques internationaux du CNRS, amplifiant la politique qu'elle menait déjà entre les deux guerres en payant aux jeunes mathématiciens français des séjours à l'étranger. Au cours des années 1950 s'édifie, au gré des rencontres, des correspondances scientifiques, des participations à divers comités et de la vie associative, une véritable « internationale du calcul ». Elle joue un rôle moteur dans la création de l'IFIP en 1959. Celle-ci est d'abord une société savante dans l'esprit de la

plupart des fondateurs européens, même si elle semble avoir une dimension technique plus marquée du côté des promoteurs américains. L'IFIP constitue bientôt une vaste zone de libre-échange intellectuel, aidant les pays les moins avancés, dont la France, à se mettre à niveau et fournissant aux chercheurs qui participent à ses instances un cadre pour définir en commun la nouvelle discipline, les bases de son enseignement académique et les programmes de recherche qui la feront progresser. Ses congrès permettent d'ailleurs de mesurer la place relative de la recherche française : à partir de la fin des années 1960, le nombre de conférenciers Français se stabilise à environ 5 % du total des communications. Dès ce moment, les chercheurs français sont intégrés à un marché international des compétences, que l'on considère les colloques et articles en anglais, les échanges universitaires ou les séjours de longue durée.

D'autres cercles jouent un rôle similaire, notamment les sociétés savantes des domaines voisins, calcul analogique ou automation. En même temps, de façon autonome, chaque laboratoire a ses propres relations internationales, sous forme de contrats de recherche ou de circuits d'échange de jeunes enseignants-chercheurs, ainsi que d'étudiants : Grenoble, Toulouse perpétuent en informatique leur tradition d'accueil d'élèves étrangers. En sens inverse, une proportion non négligeable de professeurs vont régulièrement enseigner dans des pays en voie de développement. L'espace de la recherche informatique s'est vite dilaté au-delà des frontières nationales. Quand commencent les années 1970, une centaine de chercheurs français en informatique ont déjà fait un séjour de longue durée dans des laboratoires nord-américains.

On trouve une partie des mêmes acteurs dans les activités scientifiques de l'OTAN : l'AGARD qui institutionnalise la communauté transatlantique de mécaniciens des fluides assemblée par Von Kármán ; les conférences qui, à partir de 1968, mettent au premier plan des préoccupations les questions de fiabilité du logiciel et de *software engineering*. Mais, tandis que les sociétés savantes sont des instruments d'enrichissement mutuel, d'homogénéisation et de rapprochement au niveau mondial, l'OTAN fonctionne de manière comparable au profit exclusif des pays membres, dans le souci de maintenir une avance vis-à-vis du reste du monde. IBM, elle aussi, mobilise des compétences scientifiques dans les pays où ses filiales s'affairent à développer le calcul ou le traitement de l'information et intègre la recherche dans sa stratégie multinationale pour maintenir sa prédominance. Tous les partenaires y gagnent, mais la puissance dominante y gagne plus que les autres.

Comment s'articulent entre elles ces différentes structures, dans leurs dimensions mondiale, transatlantique, européenne ou nationale, c'est ce que l'on aimerait comprendre plus précisément.

Reprenons la comparaison avec ce qui se passe dans les autres pays industrialisés, où les machines conçues dans les universités ont donné naissance plus ou moins directement aux séries d'ordinateurs produits par les entreprises. En France, faute de réalisations équivalentes dans les institutions de recherche à l'époque « pionnière », l'industrie ne peut compter que sur elle-même pour se lancer dans cette technologie nouvelle et risquée. Cette contrainte exerce une influence déterminante sur les orientations et le destin de l'industrie informatique française, qui doit assumer l'essentiel des coûts et des incertitudes.

568

Si l'on considère les calculateurs bâtis dans la recherche publique française (tableau 27), la relation recherche-industrie est l'inverse du schéma commun. Le CNET des années cinquante construit des simulateurs analogiques inspirés de ceux de la SEA et laisse à l'entreprise le développement beaucoup plus aventureux des ordinateurs. À l'université de Toulouse, la calculatrice arithmétique CAT utilise les technologies et certains concepts de la CAB 500 SEA ; à Lille, la machine de Cordonnier dérive d'un ordinateur IBM. Le transfert de savoir-faire va donc de l'industrie vers la recherche ! Dans les deux derniers cas, le but principal est la pédagogie, non l'innovation. Seul le MAT 01 du laboratoire d'automatique grenoblois résulte d'une démarche vraiment innovante. Industrialisé, il deviendra un vrai succès technique et commercial sous la bannière de Télémécanique. Il en va de même pour les systèmes de commutation électronique du CNET. Mais cela dans le contexte nouveau des années 1970.

Des relations entre le milieu académique et l'industrie informatique se sont nouées pourtant dès la fin des années quarante (laissons de côté la tentative Couffignal-Logabax, qui n'a pu avoir qu'un effet négatif sur ces relations). Le fondateur de la SEA, F.-H. Raymond, lui-même ingénieur Supélec et docteur ès sciences, a développé les collaborations avec les pionniers du calcul dans les universités et les écoles d'ingénieurs, les cours et conférences, les contrats de recherche, les échanges de personnel et d'information : c'est un véritable *continuum*, un tissu sans couture qui se tisse entre la recherche publique et cette *start-up* fondée sur une stratégie d'innovation à long terme.

Bull a une culture d'entreprise très différente, fortement investie dans la mécanographie comptable depuis les années trente. Ayant réalisé un bon calculateur électronique en 1952, elle élargit sa clientèle au calcul scientifique et se montre généreuse envers ces nouveaux utilisateurs : elle offre des machines et envoie ses ingénieurs enseigner les mathématiques appliquées. Mais, soucieuse de garder ses distances avec l'État, elle ne voit pas avant la fin des années cinquante ce que l'expertise universitaire pourrait lui apporter en retour, en matière de conception de systèmes et de programmation. C'est seulement la

crise du Gamma 60 qui la fait réagir : Bull multiplie alors les contrats avec la recherche publique, en *software* comme en *hardware*, à la fois pour rattraper son retard et pour obtenir les bonnes grâces de la DGRST ou des ministères dont elle se résigne à solliciter les subventions.

Jusqu'à la fin des années 1960, les relations entre le milieu académique et l'industrie informatique relèvent principalement de la formation : cours, conférences, stages, encadrement de thèses... Tous les constructeurs emploient des mathématiciens et des électroniciens qui assurent à la fois des formations internes à l'entreprise et des cours dans l'enseignement supérieur, où ils suppléent à la pénurie d'enseignants statutaires. En contrepartie, ils peuvent repérer de bons étudiants que leur entreprise recrutera par la suite. Cette coopération va souvent de pair avec un apport de machines par le constructeur, généralement une vente au prix coûtant, parfois un don. Des relations complémentaires sont nouées dans le cadre des associations et des comités de rédaction de revues ou de congrès.

En matière de « recherche », l'activité la plus fréquente est la sous-traitance de travaux d'analyse numérique ou de programmation de haut niveau, typiquement la réalisation de compilateurs. C'est un travail formateur qui valorise l'expertise universitaire, mais relève moins de la recherche que du développement – à la limite, les universités sont là en concurrence directe avec les grandes SSII comme la SEMA. Ce qui éclaire aussi les réticences que peuvent avoir les mathématiciens à reconnaître comme une discipline scientifique ces activités techniques des laboratoires de calcul.

Le contenu des relations recherche-industrie s'approfondit à partir de 1967, quand IBM et l'IMAG constituent un centre scientifique commun. IBM France avait jusque-là avec le CNRS et les universités des relations plus étroites et plus précoces que celles de Bull, mais de même nature. Désormais il ne s'agit plus d'offrir de l'expertise mathématique ou de réaliser des travaux ponctuels pour compléter un produit industriel, mais de concevoir des systèmes futurs ou des instruments de mesure de performances et d'explorer l'éventail des possibles, pour une informatique temps réel et conversationnelle qui pose des problèmes de plus en plus complexes. La recherche publique en est désormais capable. Au même moment, le laboratoire d'automatique de Grenoble (R. Perret) transfère son mini-ordinateur MAT 01 à une entreprise locale. Le Plan Calcul réagit quelques années plus tard, après avoir défini ses lignes de produits, en créant un centre CII-IMAG qui déloge celui d'IBM, mais sans en tirer des « retombées » de même ampleur qu'IBM. Quant aux relations CII-IRIA, elles sont minimales jusqu'en 1972, quand les produits CII sont déjà conçus et commercialisés. Bref, mis à part la SEA, qui est un laboratoire autant qu'une entreprise, et Mors puis Télémécanique qui ont su saisir l'occasion de se diversifier, les entreprises

françaises semblent faire appel à la recherche un peu comme elles utilisent leurs juristes : de façon réactive, et souvent trop tard.

Nous ne parlons ici que des constructeurs de matériels : les sociétés de service qui se développent dès cette époque ont encore moins de relations avec la recherche publique, car elles font très peu de R&D.

Du point de vue de l'industrie, la recherche académique n'est crédible dans les années 1950 que pour son expertise en analyse numérique ; elle ne le devient en matière de programmation, puis de systèmes, qu'au cours des années 1960. Ensuite, à l'époque où la recherche informatique s'établit, les possibilités d'action d'un organisme comme le CNRS restent très limitées avec une croissance annuelle deux ou trois fois inférieure à celle de l'industrie informatique...

570

Le rapport 1975 du CCRI, qui recommande évidemment un grand effort de recherche indispensable au maintien de la compétitivité nationale, regrette que l'industrie française soit loin d'en avoir pris sa part ⁶. La prise en compte des crédits de la Délégation à l'informatique dans l'enveloppe recherche, depuis 1966, a donné aux pouvoirs publics l'illusion qu'ils consentaient un effort de recherche suffisant, alors qu'il s'agissait surtout de développement technique. Celui-ci a d'ailleurs abouti à la compétitivité dans les ordinateurs et l'enregistrement magnétique. Faute de recherche industrielle et de capacité de transfert, les résultats obtenus dans les laboratoires publics risquent de ne pas en sortir et d'être bientôt périmés (la situation en automatique est meilleure de ce point de vue).

LES FRONTIÈRES DE L'INFORMATIQUE : LA MISE À L'ÉCART DE LA CYBERNÉTIQUE

S'ils étaient souvent confondus jusqu'au milieu des années 1950⁷, calcul électronique et cybernétique se sont rapidement dissociés, cette confusion étant devenue embarrassante. Son ultime occurrence est sans doute l'intitulé de la commission « Électronique et Cybernétique », créée en 1955 au CSRSPT. Les membres de ladite commission éliminent implicitement de leur champ d'action les réflexions sur le vivant et la société, comme l'analogie entre pensée humaine et fonctionnement des calculateurs. Au même moment, le choix du nom *Automatique* (qui jusque-là n'était guère employé qu'en adjectif), pour

6 Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI), *Réflexions et propositions pour une politique de la recherche en informatique et automatique*, Paris, La Documentation française, 1975, p. 26-27.

7 Ainsi dans le colloque du CNRS en 1951, dans un article écrit par un ingénieur d'IBM un peu plus tard (R. Rind, « La Cybernétique au service de l'homme », *Mémorial du progrès scientifique et technique*, 1954, p. 249-254).

désigner un congrès, une association et une discipline nouvelle centrée sur l'étude des servomécanismes, relève de la même volonté de distinction. Les auteurs savants d'ouvrages sur le calcul ou la recherche opérationnelle prennent soigneusement leur distance avec une *cybernétique* qui n'est bientôt plus qu'une étiquette médiatique ou un attrape-crédits. Ce bornage va de pair avec la professionnalisation du traitement de l'information. La question des frontières avec la cybernétique disparaît d'ailleurs bientôt des discussions dans le milieu informaticien, cette séparation ayant pris valeur d'évidence.

Il n'y a aucune interférence, dix ans plus tard, avec la mise en extinction du calcul analogique, assez brutale dans l'industrie informatique française quand en 1967 la CII liquide les apports « calcul analogique » des entreprises fusionnées par le Plan Calcul, tandis que le laboratoire Malavard commence sa conversion au numérique. Au même moment, diverses sociétés savantes concernées par le traitement de l'information, l'automatique et les mathématiques appliquées, qui se sont regroupées dans l'AF CET, exhument et adoptent le mot *cybernétique* : l'informatique et l'automatique sont assez solidement établies, sur le plan technique, pour n'avoir plus à craindre de confusion de ce côté-là.

Dans la décennie suivante, tandis que l'informatique obtient sa reconnaissance officielle dans les instances académiques, associée ensuite dans le cadre du CNRS à l'automatique, à l'analyse des systèmes et au traitement du signal, les aspects « sciences humaines et sociales » de l'ancienne cybernétique refont surface sous deux formes nouvelles : les sciences cognitives et les sciences de l'information et de la communication. Seules l'intelligence artificielle et la « systémique » (elle-même avatar de la recherche opérationnelle) font passerelles entre ces champs scientifiques séparés. Simultanément, des fragments de l'analyse des systèmes et diverses techniques informatiques entrent dans la constitution des « sciences de gestion », permettant à celles-ci de se différencier de l'économie⁸.

L'ÉMERGENCE D'UNE DISCIPLINE INFORMATIQUE AUTONOME : LES CONVERGENCES

Comment l'informatique devient-elle une discipline établie, reconnue dans le monde entier, contrairement par exemple à la cybernétique ou à la mécanologie ? L'informatique naît de la convergence de trois ensembles d'acteurs et d'objets :

8 F. Pavis, « L'institutionnalisation universitaire de l'enseignement de gestion en France (1965-1975) », *Formation emploi*, 2003, n° 27-283, p. 57-63. Sur les sciences cognitives et leur filiation cybernétique, voir B. Chamak, *Étude de la construction d'un nouveau domaine : les sciences cognitives. Le cas français*, Paris, thèse de doctorat, université Paris VII, 1997, et les articles du même auteur.

- Les utilisateurs, qui d'une part ont renouvelé l'analyse numérique en la développant à la mesure des possibilités des ordinateurs et des besoins du système technique (méthodes d'approximation, instabilité et erreur d'arrondi, etc.), et d'autre part ont élaboré des langages de programmation qui facilitent l'emploi des ordinateurs, mais qui posent de nouveaux problèmes faisant appel à la linguistique et à l'algèbre.
- Les théoriciens, qui apportent les cadres conceptuels de la logique et des mathématiques (calculabilité, récursivité, automates finis, etc.) et montrent que ces concepts permettent de décrire les principales structures en jeu dans les systèmes informatiques et peuvent constituer des modèles communs, unificateurs, à des phénomènes apparemment très variés.
- Les techniciens, qui ne cessent d'inventer de nouvelles structures matérielles ou logicielles : multiprogrammation, multiprocesseurs, traitement parallèle et coopération des processus, mémoire virtuelle, caches, pipe-lines... dont la modélisation et l'optimisation posent de nouveaux problèmes théoriques.

572

Trois cultures informatiques coexistent donc, qui se mélangent à des dosages variés dans les cursus d'enseignement, les équipes et les individus : l'informatique à dominante mathématique, l'informatique théorique, l'informatique à dominante technique.

Ces activités se rencontrent ou se croisent dans un lieu préexistant : le centre de calcul. À des spécialistes venant d'horizons très variés, l'ordinateur offre non seulement un outil collectif, mais un langage et des problèmes communs. Au-delà de son emploi technique, il joue un rôle de médiateur. C'est pour améliorer son efficacité que des ingénieurs de l'industrie et des armées se rapprochent des universitaires. C'est autour de lui que se recomposent savoirs et savoir-faire. C'est à son contact que les étudiants apprennent les pratiques du métier, en même temps que tout un folklore jouant à la fois sur l'imprévisibilité de ces si rationnelles machines, sur leur (im)puissance, sur la programmation de canulars, d'effets sonores ou visuels aussi éloignés que possible de leur vocation officielle. C'est d'abord dans un coin du centre de calcul, parfois au détriment du service aux utilisateurs, que des chercheurs entreprennent des investigations théoriques. Bien avant que l'informatique revendique son autonomie scientifique, elle a donc possédé ses laboratoires, bien distincts de ceux des disciplines établies. D'autre part, le centre de calcul est aussi un service commercial qui vend des « heures machine » et de l'expertise à des clients, qui nécessite investissements lourds et gestion d'équipes, toutes choses diamétralement opposées aux valeurs et aux pratiques du milieu mathématicien universitaire, et qui contribuent à fonder une culture et une identité professionnelles spécifiques aux « informaticiens ».

Qu'un instrument joue un rôle central dans la formation d'une science nouvelle, on en connaît des précédents : la machine à vapeur a inspiré la thermodynamique ; l'électro-aimant, une nouvelle branche de la physique ; le radar a permis l'existence de la radioastronomie. Mais les premiers étaient seulement des objets qui posaient des problèmes inédits, le troisième n'est pour les radioastronomes qu'un outil d'investigation. L'ordinateur, lui, est à la fois outil de recherches, par exemple pour les mathématiques appliquées au calcul ou la traduction automatique, et objet d'étude pour les logiciens et les algébristes.

Pourtant l'ordinateur n'est jamais mis en avant dans l'affirmation identitaire de la nouvelle discipline. Ce n'est nullement un « totem scientifique »⁹. Au contraire, les chercheurs en informatique prennent soin de souligner la distance entre leurs travaux et la machine, qui n'en est qu'un support. Ils centrent leur « identité scientifique » sur les structures d'information que traite l'ordinateur et sur leurs équivalences avec des objets mathématiques. C'est un élément de base de leur stratégie : profiter du service de calcul pour exister en tant que communauté et utiliser les machines, mais s'en différencier pour exister comme domaine de recherche. Cette ambiguïté est évidemment une source de conflits, notamment avec les administrations et les disciplines clientes du calcul. On en sortira au début des années 1970, quand la reconnaissance institutionnelle de la recherche informatique sera en bonne voie : les laboratoires d'informatique se multiplieront hors des grands centres de calcul.

La question de savoir s'il existe une « science informatique » ne prend vraiment de l'importance que parce que les ordinateurs donnent naissance à un secteur économique en forte croissance, pour lequel il faut former des foules de techniciens et d'abord former les formateurs. C'est la nécessité de définir des programmes d'enseignement qui conduit des universitaires à élaborer un corpus de savoirs, en mettant en œuvre la convergence de ces pratiques, de ces questionnements et de ces théories.

Une première étape consiste, à partir des pratiques empiriques de la programmation, à les formaliser et à en dégager l'essentiel pour pouvoir les exposer, transmettre des méthodes et les améliorer, essayer de les établir sur un socle scientifique. Le modèle mental est que toute technique commence par des

9 J'emprunte l'expression à B. Strasser, « Totems de laboratoires, microscopes électroniques et réseaux scientifiques : l'émergence de la biologie moléculaire à Genève (1945-1960) », *Revue d'histoire des sciences*, 2002, vol. 55, n° 1, p. 5-43. L'émergence de la biologie moléculaire, qui ne dispose initialement d'aucun laboratoire autonome, s'effectue en reliant diverses équipes en réseaux et en affichant le rôle central du microscope électronique. Elle diffère donc nettement de celle de l'informatique. En revanche, les deux disciplines se bâtissent semblablement par convergences et recompositions de savoirs.

bricolages tâtonnants, puis trouve des cadres cognitifs plus rigoureux (science, mathématiques, logique ou réflexion approfondie d'un technicien) qui permettent de sélectionner ou d'inventer les méthodes efficaces. Pour la construction des ordinateurs, on a les savoirs électrotechniques hérités de plusieurs générations d'ingénieurs. Pour leur conception logique, on a l'algèbre de Boole, ancienne œuvre abstraite qui trouve enfin un emploi pratique, et diverses branches des probabilités et de la statistique comme la recherche opérationnelle ou la théorie des graphes. Pour les méthodes de calcul, on a l'analyse numérique. Mais pour la programmation, pour la conception de systèmes d'exploitation, de manipulation de fichiers ou de bases de données, les pratiques empiriques, aussi méthodiques soient-elles, atteignent vite leurs limites et l'on éprouve le besoin de chercher des théories permettant de les modéliser et de les maîtriser.

574

Simultanément, un autre mouvement porte des scientifiques de disciplines variées à s'intéresser aux applications possibles des ordinateurs en-dehors du calcul. Pour des raisons politiques (défense nationale et diplomatie), des organismes investissent dans la traduction automatique. Pour des raisons administratives, scientifiques ou culturelles, d'autres s'intéressent à la documentation automatique. Des linguistes, des logiciens sont attirés vers l'ordinateur et apportent des concepts et des outils intellectuels différents de la culture normale du calcul électronique. Ce mouvement fournit à la fois des problèmes nouveaux et des réponses inattendues mais parfois pertinentes aux difficultés des premiers informaticiens. Ici, ce sont les recherches qui fournissent des sujets de cours.

Une seconde étape consiste à rassembler ces divers enseignements en programmes cohérents, afin de donner aux étudiants une vision d'ensemble de l'informatique et une culture scientifique assez approfondie pour qu'ils puissent ensuite travailler sur toutes sortes de systèmes, dans un environnement en changement technique rapide.

Or le CNRS, ayant raté naguère son entrée sur la scène du calcul électronique, n'est pas en mesure au milieu des années 1960 d'imposer au Comité national une classification des sciences qui bousculerait celle des disciplines universitaires. L'histoire des projets techniques éclaire ainsi celle des décisions ultérieures concernant la structuration de la recherche et des catégories du savoir.

Les discussions sur l'émergence et le statut de l'informatique, parmi les disciplines établies dans les instances d'évaluation, fournissent un beau cas de décision en situation d'incertitude élevée, où les scientifiques paraissent ne décider ni plus ni moins « scientifiquement » que, par exemple, les industriels

ou les hauts fonctionnaires qui élaborent au même moment le Plan Calcul. Elles révèlent à la fois :

- La priorité donnée par les instances chargées de la politique scientifique (CCRST, DRME, direction du CNRS) à ce nouveau champ de recherche, au long des années 1960. La DGRST offre par ailleurs aux scientifiques un « terrain neutre » où négocier priorités et programmes de recherche, en même temps qu'un instrument pour les mettre en œuvre.
- La difficulté à traduire cette priorité en évolutions institutionnelles, toute formule ne pouvant être qu'un compromis insatisfaisant entre les divers points de vue scientifiques et les possibilités matérielles et juridiques des organisations.
- La difficulté liée à la nouveauté de l'informatique, compliquée par son caractère pluridisciplinaire. Celui-ci vient de la variété des disciplines qui ont besoin de traitement de l'information et apportent des problèmes dont l'informatique se saisit. Les chercheurs intéressés sont gérés par leurs instances d'origine, donc ne peuvent constituer la masse critique nécessaire pour constituer une instance autonome, ils restent donc évalués selon des critères inadaptés, ce qui maintient les incertitudes sur le statut scientifique de leurs travaux... Ce cercle vicieux ne saurait être brisé que par une volonté politique, appuyée sur des associations qui peuvent représenter la nouvelle discipline en marge des grandes institutions. L'action des sociétés savantes, puis la multiplication des formules de recherche sous contrat au début de la V^e République, donne une première assise institutionnelle à la recherche informatique en construction, au moment même où elle commence à trouver des bases théoriques.

Dès le milieu des années 1960, l'informatique a cependant acquis un statut d'activité de recherches qui lui valent, sous divers intitulés, des lignes budgétaires prioritaires, des laboratoires, des chaires et des recrutements de chercheurs. Elle a sa revue subventionnée, ses colloques, ses ouvrages spécialisés, ses premières thèses doctorales. Des *leaders* s'imposent, qui sont non seulement des patrons de laboratoires ou des professeurs éminents, mais des maîtres reconnus au-delà de leur cercle institutionnel, des chefs d'écoles dont l'influence structure et oriente le champ scientifique : Kuntzmann et Durand en calcul numérique, Lions en mathématiques appliquées, Schützenberger en informatique théorique, et d'autres. Leurs approches et leurs stratégies intellectuelles définissent des centrages et des périmètres différents, complémentaires ou parfois antagonistes.

Si bien qu'on en arrive à discuter pour décider si l'informatique constitue « une science » et s'il faut lui consacrer des diplômes universitaires et des instances d'évaluation académiques. Ces positions sont ensuite conquises l'une après l'autre par une lutte acharnée des chercheurs informaticiens alliés à l'industrie

et au pouvoir politique, dans le mouvement du Plan Calcul et la volonté de rattraper les modèles anglo-américains. Si le Plan Calcul ne suscite pas l'enthousiasme du milieu scientifique, la CII ayant reçu pour mission principale de faire des ordinateurs de gestion et l'IRIA étant créé loin de toute structure académique, il offre cependant une dynamique générale très favorable à la réalisation des projets des informaticiens, à la légitimation de leurs recherches et à l'institution de diplômes spécifiques.

L'informatique (entendons par ce mot l'ensemble flou des acteurs qui la construisent et la promeuvent) utilise alors tous les mouvements, tout ce qui bouge, pour avancer et conquérir des positions. À la fin des années 1960, son institutionnalisation universitaire profite à la fois du Plan Calcul gaullien et des bouleversements provoqués par mai 68. Les « informaticiens » déploient deux types d'arguments pour promouvoir leurs activités scientifiques :

576

- L'argument du retard économique, énoncé dès 1955 dans la commission de cybernétique du CSRSPT, repris ensuite par la DGRST et le Commissariat au Plan, s'appuie sur les statistiques d'équipement en calculateurs et de besoin prévisionnels de main d'œuvre très qualifiée, pour demander un rattrapage massif par investissements dans l'informatique universitaire. Pour le mettre en œuvre, les informaticiens trouvent des appuis solides dans les organismes chargés d'améliorer la productivité et de moderniser l'économie nationale, puis dans un consensus politique autour du Plan Calcul, comme chez les utilisateurs-employeurs et dans l'industrie informatique, qui soutiennent généreusement les efforts éducatifs. Ils sont aussi en phase, de ce point de vue, avec les mathématiciens comme Lichnérowicz qui prêchent que la formation mathématique est le meilleur investissement possible pour le pays : l'informatique ne démontre-t-elle pas l'utilité pratique des mathématiques, même des plus abstraites ? Or, pour former des professionnels à une technologie en changement rapide, il faut d'abord former des enseignants, et y a-t-il meilleure formation que la recherche ?
- L'argument épistémologique, à partir du milieu des années 1960, décrit l'informatique comme une science en construction. Dépassant le stade où l'on enseignait des recettes artisanales d'emploi des ordinateurs, amalgamant diverses disciplines et concepts autour de ses problèmes les plus intéressants, elle devient / progresse vers / espère aboutir à/ un ensemble théorique cohérent et autonome. L'optimisme des formulations varie selon les auteurs et en fonction des images mentales qu'ils proposent de l'évolution d'une science. Ainsi, Arzac distingue dans la *Science informatique* des sous-disciplines qui

se trouvent, en 1970, à différents stades de scientificité¹⁰. Même chez ceux qui restent convaincus que l'informatique n'est qu'une application des mathématiques, le développement de la recherche en ce domaine paraît nécessaire pour deux finalités : élaborer les contenus de cursus cohérents menant à des diplômes ; maîtriser la complexité croissante des systèmes informatiques, afin que cette technologie tienne ses promesses en matière de productivité.

En résumé, dans les années 1960 la recherche informatique est encore en phase d'apprentissage, trop peu assurée de ses bases scientifiques et d'ailleurs trop faible en effectifs pour espérer constituer une instance d'évaluation autonome à l'université ou au CNRS. À défaut, elle se crée des positions partout où sa légitimation est plus aisée : d'abord sous forme de laboratoires et d'enseignements dans quelques facultés, organismes publics et entreprises, comme excroissance de services de calcul et en réponse à des demandes extérieures ; ensuite à la DGRST, qui a justement vocation à faire éclore des champs de recherche nouveaux ; puis à l'IRIA, qui prend la suite de l'action concertée Calculateurs de la DGRST. Simultanément, dans le cadre des associations professionnelles de traitement de l'information, l'informatique se donne une visibilité avec ses revues, ses congrès, ses relations internationales spécifiques. C'est seulement vers 1970 que, forte de ces positions, des moyens qu'elle y a acquis et des résultats scientifiques qu'elle commence à produire, elle peut entreprendre la conquête des instances centrales de régulation de la recherche académique. Au milieu des années soixante-dix, elle détient enfin des instances autonomes au CCU et au CNRS. Il ne lui reste plus, pour parfaire son statut de discipline établie, que des chaires et des fauteuils au Collège de France et à l'Académie des sciences, ce qui nécessitera encore deux décennies... voire plus : là, elle ne peut plus s'appuyer sur la demande socio-économique ou le volontarisme gouvernemental, seuls jouent les critères de cooptation, les rapports de force internes et les hiérarchies de valeurs du milieu scientifique.

10 J. Arsac, *La Science informatique*, op. cit., p. 217-218.

ANNEXES

1. Sections du Comité national exerçant la tutelle sur le calcul et l'informatique ..	580
2. L'informatique et l'analyse numérique au Comité consultatif des universités (1975).....	585
3. Dépenses d'équipement prévues pour le « calcul » (IV ^e et V ^e Plans).....	586
4. Équipement informatique de la Recherche et de l'enseignement supérieur (1965-1974)	588
5. Éléments statistiques sur la formation des informaticiens (1971).....	590
6. Membres du Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI), 1973...	592
7. Longévité des ordinateurs en France	593
8. Centres de calcul et réseaux CNRS pour l'informatique scientifique (1975).....	595
9. Liste des thèses en calcul et en informatique (1955-1973).....	597

SECTIONS DU COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE EXERÇANT LA TUTELLE PRINCIPALE
SUR LE CALCUL ET L'INFORMATIQUE (1950-1976)

SECTION 3, MÉCANIQUE GÉNÉRALE ET MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

1960-1963 :

Président : Joseph PERES.

Roger BRARD, directeur de l'École nationale supérieure du Génie maritime.

Albert CAQUOT.

580

P. CHAPOUTIER, inspecteur général des études et recherches de l'EDF.

Henri CORDIER, professeur, faculté des sciences de Poitiers.

Léopold ESCANDE, professeur, faculté des sciences de Toulouse, directeur de l'ENSEEHT.

André FORTIER, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Paul GERMAIN, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Magdeleine HUETZ, maître de recherche au CNRS.

Raymond JACQUESSON, professeur à la faculté des sciences de Poitiers.

Joseph KAMPE DE FERIET, professeur à la faculté des sciences de Lille.

Julien KRAVTCHENKO, professeur à la faculté des sciences de Grenoble.

Jean KUNTZMANN, professeur à la faculté des sciences de Grenoble.

Paul LAURENT, maître de conférences, faculté des sciences de Poitiers.

Lucien MALAVARD, professeur, faculté des sciences de Paris.

Jean MANDEL, ingénieur en Chef des Mines, Professeur à l'École polytechnique.

Robert MAZET, professeur, faculté des sciences de Poitiers.

Henri PONCIN, professeur, faculté des sciences de Paris, dir. de l'ENSMA de Poitiers.

René de POSSEL, directeur de l'Institut Blaise Pascal, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Jacques VALENSI, professeur, faculté des sciences de Marseille.

1963-1966 :

Président : Léopold ESCANDE, membre de l'Institut.

Claude BENZAKEN, maître Assistant à la faculté des sciences de Grenoble.

André BERROIR, chef de travaux à la faculté des sciences de Paris.

François CABANNES, professeur à la faculté des sciences de Paris.

P. CHAPOUTIER, professeur École nationale des ponts et chaussées, Inspecteur général des études et recherches de l'EDF (mort 1966).

Alexandre FAVRE, professeur à la faculté des sciences de Marseille.

Claude GASC, chargé de recherche au CNRS

Luc GAUTHIER, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Paul GERMAIN, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Magdeleine HUETZ, maître de recherche au CNRS.

Julien KRAVTCHENKO, professeur à la faculté des sciences de Grenoble.

Jean KUNTZMANN, professeur à la faculté des sciences de Grenoble.

P. LEMONNIER, attaché de recherche au CNRS.

Lucien MALAVARD, professeur à la faculté des sciences de Paris, directeur de l'ONERA.

J. MANDEL

Robert MAZET

Henri PONCIN

René de POSSEL

François-Henri RAYMOND, directeur de la Société d'électronique et d'automatique.

Jean-Louis RIGAL, professeur à la faculté des sciences de Besançon.

Maurice ROY, membre de l'Institut.

Jacques VALENSI, professeur à la faculté des sciences de Marseille.

En 1966, le Comité national est restructuré pour adapter la répartition des disciplines et des sections à l'évolution des sciences et résoudre les problèmes qui se posent dans certaines sections. Un décret augmente le nombre des sections de 32 à 34. Le nombre de leurs membres a été porté à 22 en 1962. Les événements de mai-juin 1968 entraîneront quelques réformes supplémentaires : l'effectif des sections sera porté à 26 membres par l'accroissement de la représentation des catégories B (AR et CR, assistants et maîtres-assistants) et C (Ingénieurs, techniciens et administratifs du CNRS). Le nombre des sections atteindra 36 en 1971.

SECTION 1 - MATHÉMATIQUES (1967-1971)

Albert AMOUYAL, chef du service de calcul du CEA à Saclay (nommé par le Premier ministre).

Jacques ARSAC, professeur à la faculté des sciences de Paris (nommé par le MEN).

Claude BENZAKEN, maître assistant à la faculté des sciences de Grenoble.

François BRUHAT, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Pierre CARTIER, professeur à la faculté des sciences de Strasbourg (nommé par le MEN).

Jean CEA, professeur à la faculté des sciences, Rennes (nommé par le MEN).

Philippe COURREGÉ, chargé de recherche au CNRS.

Daniel FERRAND, attaché de recherche au CNRS.

Pierre GABRIEL, professeur à la faculté des sciences de Strasbourg.

Noël GASTINEL, professeur à la faculté des sciences de Grenoble (nommé par le MEN).

582

François GENUYS, conseiller scientifique IBM, Paris (nommé par le Premier ministre).

Jean-Pierre KAHANE, professeur à la faculté des sciences d'Orsay.

Jean-Louis KOSZUL, professeur à la faculté des sciences de Grenoble.

Jean-Louis KRIVINE, maître assistant à la faculté des sciences de Paris.

Robert LATTES, directeur à la SEMA, Paris (nommé par le Premier ministre).

Michel LAUDET, professeur à la faculté des sciences de Toulouse, directeur de l'IRIA (nommé par le Premier ministre).

Pierre LELONG, professeur à la faculté des sciences de Paris (nommé par le MEN).

Jacques-Louis LIONS, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Pascal MARONI, chargé de recherche au CNRS.

Pierre SAMUEL, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Laurent SCHWARTZ, professeur à la faculté des sciences de Paris.

Jean-Pierre SERRE, professeur au Collège de France.

Marc ZAMANSKY, doyen de la faculté des sciences de Paris (nommé par le Premier ministre).

Invités (après juin 1968) :

Mlle JANOT, ingénieur, Centre de recherche nucléaire (Strasbourg).

R.-C. CROS, ingénieur, Centre d'analyse documentaire (Marseille).

Gabriel RUGET, assistant de recherche à Orsay (Mme MALGRANGE).

Alain BOSSAVIT, assistant de recherche (M. LIONS).

Yvon SIRET, assistant de recherche à Grenoble (M. KUNTZMANN).

SECTION 1 – MATHÉMATIQUES & INFORMATIQUE (1971-1975)

Président : Claude-François PICARD, directeur de recherche au CNRS.
Albert AMOUYAL, chef de département au C. E. N Saclay (démission).
Raymond BARRE, attaché de recherche au CNRS.
Gustave CHOQUET, professeur à l'université Paris VI.
Jean-Louis CLERC, assistant à l'université Paris XI (démission)
Robert CORI, attaché de recherche au CNRS.
Jacques DIXMIER, professeur à l'université Paris VI
Noël GASTINEL, professeur à l'université de Grenoble.
Marc-Olivier GEBUHRER, assistant à l'université de Strasbourg.
François GENUYS, directeur du Développement I.B.M. France.
Michel HERVE, professeur à l'université Paris VI.
Jean-Pierre KAHANE, professeur à l'université Paris XI.
Robert LATTES, directeur général adjoint de la S.E.M.A. Paris (démission).
Michel LAUDET, professeur à l'université Paul Sabatier Toulouse (remplacé par André DANZIN).
Jacques-Louis LIONS, professeur à l'université Paris VI (démission).
Gustave MALECOT, professeur à l'université de Lyon.
Pascal MARONI, chargé de recherche au CNRS.
André MARTINEAU, professeur à l'université de Nice (décédé) (remplacé par BRETAGNOLLE, maître de conférences).
Michel METIVIER, professeur à l'université Rennes I, puis IRISA.
Bernard NIVELET, ingénieur CNRS, chef du centre de calcul de l'IRIA (démission).
Charles PISOT, professeur à l'université Paris VI
Michel RAYNAUD, maître de conférences à l'université Paris XI
Philippe RENARD, ex-EDF et Délégation à l'informatique, chargé de la gestion automatisée à la CII.
Mme VERGNE-DOUVIER, attachée de recherche au CNRS (démission) (remplacée par BLANCHARD, AR CNRS).
Gérard ZEHNACKER, ingénieur au CNRS.
Rajoutés sur la liste (remplaçant les démissionnaires) :
Louis BOLLIET, professeur à l'université de Grenoble.
André DANZIN, vice-président de Thomson-CSF, successeur de M. LAUDET à la direction de l'IRIA en 1972.
Anne LITMAN, ingénieur CNRS.
Yves MATHIEU, assistant à l'université de Marseille.

SECTION 2, INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE, ANALYSE DES SYSTÈMES, TRAITEMENT DU SIGNAL, (1976-1982)

Claude BERGE, professeur à l'université de Paris.

Jean-Claude BERMOND (LRI), Orsay.

Henri BOUCHER, directeur de l'école nationale supérieure des techniques avancées, Paris.

Mario BORILLO, directeur du L.I.S.H., CNRS, Marseille.

Anne-Marie BOUSSION, ingénieur, Centre de documentation CNRS, Paris.

Alain COSTES, maître de conférences, INP ENSEEIH, Toulouse.

Jacques-Émile DUBOIS, professeur à l'université de Paris VII, directeur de la DRME.

André FOSSARD, professeur à l'école supérieure d'Aéronautique, Toulouse.

Jean-Yves GAY, maître assistant, université d'Aix-Marseille III.

Georges GIRALT, directeur de recherche au CNRS, LAAS, Toulouse.

584

Jean-Marie LABORDE, attaché de recherche CNRS, IRMA-Grenoble.

Jean-Louis LE MOIGNE, professeur, IAE, Aix.

Jean Pierre MAGE, ingénieur, Centre de calcul CNRS-Strasbourg.

Vincent MEISSONNIER, technicien, CNRS-Grenoble.

Robert MORE, maître assistant, université de Toulouse II.

Claude-François PICARD, directeur de recherche au CNRS, Groupe de recherche 22, Paris VI.

Bernard PICINBONO, professeur à l'université de Paris-Sud, Orsay.

Louis POUZIN, directeur de recherche, IRIA, Rocquencourt.

Guy RENARD, MR CNRS, LIMSI, Paris XI Orsay.

Philippe RENARD, directeur de l'informatique interne de la CII, Paris.

Jacques RICHALET, directeur scientifique du GER en biosystème (GERBIOS), Vélizy-Villacoublay.

Jacques SAKAROVITCH, attaché de recherche au CNRS, Institut de programmation, Paris.

Pierre TURPIN, directeur technique de la Compagnie générale d'automatisme, Brétigny.

L'INFORMATIQUE ET L'ANALYSE NUMÉRIQUE AU COMITÉ CONSULTATIF DES UNIVERSITÉS (1975)

En 1972, des sous-sections autonomes ont été attribuées aux principales branches des « Mathématiques appliquées », composant la 18^e section du CCU. Une partie des membres est renouvelée tous les 2 ans. On voit apparaître, à côté des pionniers représentant les pôles fondateurs, une nouvelle génération d'enseignants diplômés d'informatique. Notons que L. Nolin, bien que très engagé dans le développement des langages de programmation et de l'informatique théorique, se fait élire en analyse numérique.

Ce découpage demeurera jusqu'en 1983, où l'informatique recevra une section à part entière qui achèvera de la distinguer des Mathématiques.

sous-section 1 : Analyse numérique

Collège 1. Professeurs et maîtres de conférences :		Collège 2. Maîtres-assistants :
Élus	Nommés	
Aubin (Paris 9)		Broudicou (Alger) [coopération]
Baranger (Lyon 1)	Coatmelec (Rennes 1)	Chenais (Nice)
Céa (Nice)	Gastinel (Grenoble 1)	Eberhard (Grenoble 1)
Cherruault (Paris 6)	Trémolières (Aix-Marseille 3)	Rasclé (St-Étienne)
Ducateau (Clermont)		
Joly (Bordeaux 1)		
Laurent (Grenoble 1)		
Mignot (Rennes 1)		
Nolin (Paris 7)		

sous-section 2 : Informatique fondamentale et appliquée

Collège 1. Professeurs et maîtres de conférences :		Collège 2. Maîtres-assistants :
Élus	Nommés	
Bolliet (Grenoble 2)		Bousquet (Toulouse 3)
Boussard (Nice)	Laudet (Toulouse 3)	Cochet (Rennes INSA)
Colmerauer (Aix-Marseille 3)	Lecarme (Nice)	Courtin (Grenoble 1)
Jullien (Grenoble 1)	Vignes (Paris 6)	Derniame (Nancy 1)
Lentin (Paris 5)	Ville (Paris 6)	
Perennou (Toulouse 3)		
Perrot (Paris 6)		
Vauquois (Grenoble 1)		

IV^e PLAN (1962-1965) :
DÉPENSES D'ÉQUIPEMENT PRÉVUES POUR LE « CALCUL »

Cette synthèse des prévisions d'investissements dans la recherche civile confirme l'effet cumulatif des activités enseignement / recherche / service de calcul dans les pôles pionniers (Grenoble, Toulouse, Paris, suivis de Lille et de Nancy) qui reçoivent les plus fortes dotations. Il s'agit principalement d'équipement (« gros ordinateurs » de 8 MF pour Grenoble et Toulouse), secondairement de constructions immobilières. Le tableau ne mentionne pas l'ONERA et divers centres (Besançon, Clermont, Nancy). Une partie de ces crédits sera rognée par le plan de refroidissement.

586

CNRS : mathématiques	Centre de recherches mathématiques (province)	2 MF
	IBP (ordinateurs, grande machine analogique)	24 (38 MF demandés)
	Documentation et traduction automatiques	11
	Traduction automatique (Grenoble)	2,2
	Statistiques, économétrie (Lyon)	0,55 (constructions)
	Physique nucléaire théorique (Strasbourg)	1,90 (constructions)
	Physique théorique (Marseille)	1,20 (constructions)
	Petites machines pour labos divers	3,60
	Centre d'automatique (Grenoble)	5,25 (constructions)
CNRS : sc. humaines	Trésor de la langue française (Nancy)	9,50
Enseignement supérieur	Équipement « Mathématiques » (Paris)	10
	Service de mathématiques appliquées (Grenoble)	15
	Institut de calcul numérique (Toulouse)	10
	Centre de calcul numérique (Aix-Marseille)	1
	Équipement mathématique (Bordeaux)	1 (calculateurs)
	Probabilités, statistiques, économétrie (Caen)	1,50 (dont 1 pour calculateur)
	Institut d'automatique (Lille)	7 (dont 3 pour calculateur)
	Physique nucléaire et théorique (Bordeaux)	3 (construction)
Bureau des longitudes	Équipement de calcul astronomique	3,45
Observatoire de Paris	Équipement de calcul	5
	Équipement de recherche astronomique	29,40
CNET	Central électronique expérimental à calculateur	1,90

Source : Commission du Plan pour la Recherche, Annexe I « Tableau général des opérations retenues au titre du IV^e Plan. Financement en 1962 », juin 1962 (Arch. nat., DGRST RE 130/14) (chiffres identiques à 1961).

V^e PLAN (1966-1970) : DÉPENSES PRÉVUES POUR L'INFORMATIQUE ET L'AUTOMATIQUE

Le V^e Plan s'oriente vers un Plan Calcul qui n'est pas encore défini, mais dont le principe est acquis depuis l'affaire Bull en 1964. Il prévoit de créer 800 postes d'enseignants en Mathématiques dans l'enseignement supérieur, dont 200 en Mathématiques appliquées. Et 350 postes de chercheurs au CNRS en Mathématiques : 50 en Mathématiques pures, 150 en Physique théorique, 150 en Mathématiques appliquées. S'y doivent ajouter 600 postes de techniciens et de secrétaires.

Informatique et automatique (recherche) (MF)

Enseignement supérieur	CR d'automatique (fac. sciences Lille)	2 MF
CNRS	Création du LAAS (Toulouse)	7,5
	Centre de calcul analogique [futur LIMSI] (Orsay)	3
Aviation civile	CR sur le traitement d'informations radar	10
	Création de l'IRIA	15
Total Informatique et automatique		37,50

Équipement de calcul et de traitement de l'information

Enseignement supérieur	Grenoble	11 MF	Centres de calcul A
	Toulouse	12	
CNRS	IBP (construction à Orsay)	3	
	Équipements	38	Total centres A : 70
Enseignement supérieur	Orsay Physique théorique	7	Centres de calcul B
	Observatoire de Meudon (Paris)	9	
	Lille	4	
	Nancy	5	
	Rennes (transfert de la machine de Toulouse)	3	
CNRS	Paris, sciences humaines	6	Total centres B : 45
	Marseille (transfert de la machine de Grenoble)	3	
	Strasbourg	8	
	(calculateurs de faible puissance)	11	
Enseignement supérieur	Paris Orsay Institut de programmation	3	Centres de calcul C
	Facultés de la région Parisienne et CNAM	3	
CNRS	Besançon	1	
	Bordeaux	0,50	
	Clermont-Ferrand	2	
	Grenoble	2	
	Lyon	3	
	Strasbourg	1,50	
Finances et affaires éco.	Centre national d'exploitation	2	Total centres C : 25
	Centre de calcul et de recherche éco. (Orléans)	1,20	
	Centre régional de calcul et de recherche éco.	0,80	
	Liaisons et pupitres d'interrogation	5	
Total équipements informatiques électroniques : 140 MF. Actions concertées DGRST : 80 MF			

Certaines opérations n'ont finalement pas été réalisées comme prévu. Ainsi, la machine de Grenoble (IBM 7040) n'a pas été transférée à Marseille, mais à Clermont. Le ministère des Finances semble avoir inséré dans ces budgets d'équipement de recherche une partie de ses propres centres de traitement statistique.

Source : Commission général du Plan & DGRST, V^e Plan, t. 2. La recherche scientifique et technique.

ANNEXE 4

588

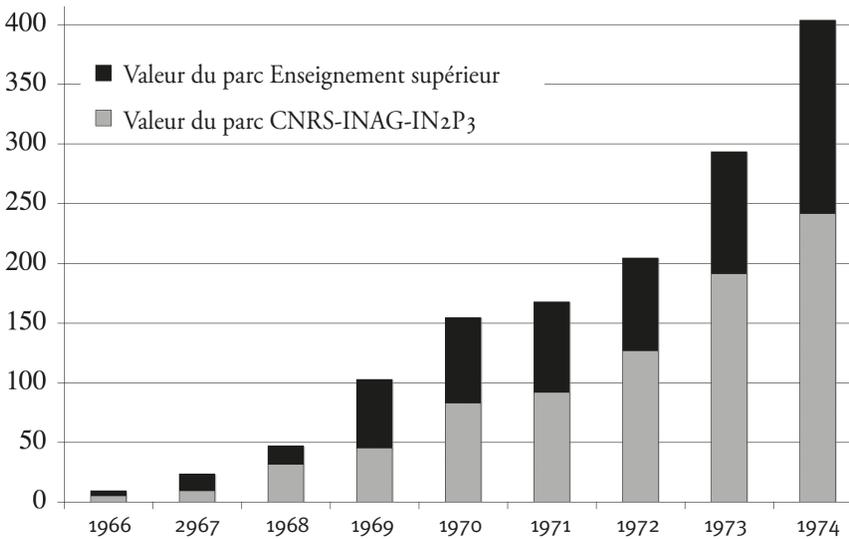
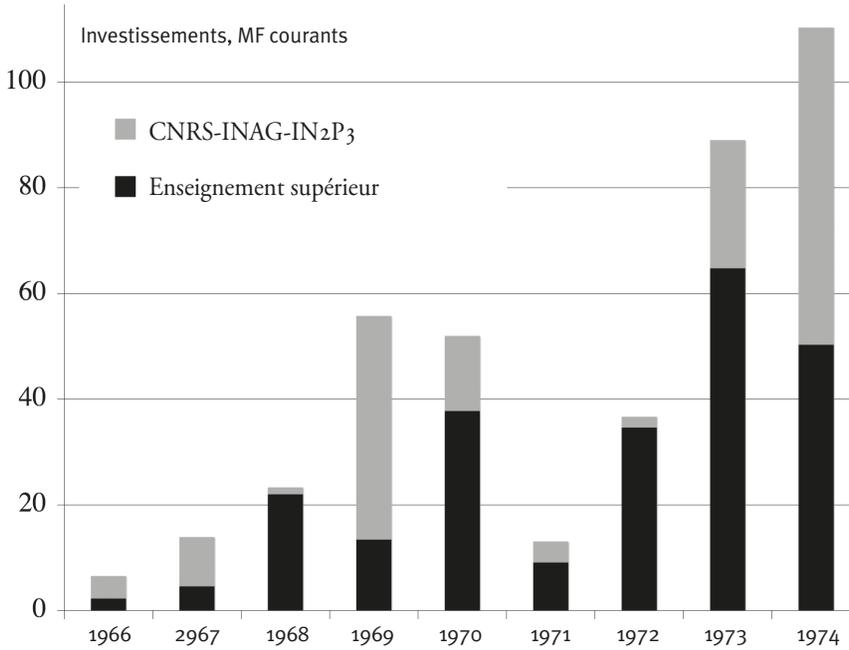
ÉQUIPEMENT INFORMATIQUE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR (1965-1974)

On constate la forte poussée d'investissement qui accompagne le Plan Calcul à la fin des années 1960, l'effet de la récession de 1971, la reprise et les coups d'accordéon ultérieurs.

L'Enseignement supérieur décide en 1971 de grouper ses moyens en Centres de calcul interuniversitaires polyvalents, régionaux, au service à la fois de l'enseignement, de la recherche et de la gestion universitaires¹. La combinaison des innovations : multiprogrammation, *time-sharing*, connexion par terminaux distants, permet le traitement sur un même ordinateur des applications scientifiques, des travaux pratiques d'étudiants en programmation, de calculs à la demande et des travaux de gestion administrative pour les établissements et les services de toute une académie, donc une centralisation accrue autour d'un ordinateur très puissant.

Outre les grands centres du CNRS, de l'IRIA, du CEA et de l'École des mines, 14 centres universitaires possèdent de gros calculateurs relativement récents au début des années 1970 : 7 CII 10.070, 5 Iris 80, 5 gros IBM, Univac ou CDC ; 8 centres moyens ont des machines plus modestes ou plus anciennes ; 15 petits centres s'équipent de minis ou de terminaux. Les IUT voisins des gros centres ont leurs propres ordinateurs, parfois partagés avec de petites équipes de recherche.

1 MEN, circulaire du 19 novembre 1971 instituant des Centres de calcul interuniversitaires polyvalents.



Source : Mission à l'informatique, « Proposition pour un schéma directeur Informatique au Secrétariat d'État aux universités », 22 avril 1975, Arch. nat. 85-0505-152, dossier « Informatique ».

ÉLÉMENTS STATISTIQUES SUR LA FORMATION DES INFORMATIENS (1971)

	Création	Formations ouvertes	Effectif	Diplômés en 1971
Baccalauréat H	1969	31	?	173
IUT (départements d'informatique)	1966	18	3003	750
BTS « Traitement de l'information »		7	366	158
Maîtrise d'informatique	1966	8		600
MIAGE	1970	5	485	

(Rapport de la commission pour l'enseignement de l'informatique, MEN, avril 1972)

590

Dans l'enseignement secondaire, d'autres formations de technicien informatique (programmeur) se sont ajoutées au Baccalauréat H : Brevet professionnel d'informatique (sanctionnant une formation continue destinée aux salariés, 1969), Certificat d'aptitude professionnelle aux fonctions de l'informatique (1970, définition assez vague, bientôt supprimé). Une initiation à l'informatique existe aussi en section G2 du baccalauréat technique économique (formation de comptables).

Le BTS-TI (Brevet de technicien supérieur de traitement de l'information, préparé en 2 ans), qui a remplacé le BTS de mécanographie dans les collèges ou lycées techniques (Strasbourg, Mâcon, Marseille, Angers, etc.), disparaît au fur et à mesure que sont créés les départements d'informatique des IUT.

Les départements d'informatique des IUT forment des diplômés (« DUT ») en 2 ans, exceptionnellement en 1 an. Conçu principalement pour combler le retard en formation à l'informatique de gestion, le programme comporte : techniques de traitement de l'information (40 %), étude de l'entreprise (20 %), mathématiques et statistiques (20 %), techniques de communication, de dynamique de groupe et Anglais (20 %), complétés par un stage en entreprise. Le programme des maîtrises d'informatique appliquée à la gestion (MIAGE) s'inspire.

Dans l'enseignement supérieur, outre les formations spécialisées, une initiation à l'informatique est donnée à un nombre croissant d'étudiants au niveau du 1^{er} cycle (elle vaut... ce que valent les enseignants astreints à cette corvée, multiplié par le taux d'intérêt des étudiants à qui on apprend à perforer un petit programme en Cobol...). Dans la plupart des disciplines, les étudiants

de maîtrise peuvent s'inscrire au certificat C₄ d'informatique appliquée, dans les universités où celui-ci existe.

Ces formations s'ajoutent à celles des écoles d'ingénieurs et des enseignements créés dès la première moitié des années 1960 : Instituts de Programmation de Paris et Grenoble, CNAM.

Effectifs d'informaticiens	1970	à former 1970-1975	Prévus pour 1975
Analystes	21 500	+ 34 000	55 600
Programmeurs	17 500	+ 23 000	41 000
Opérateurs & pupitreurs	16 000	+ 25 000	41 000
Total	55 000	+ 82 600	137 600

(Rapport de synthèse de la commission d'études sur les besoins en informaticiens)

Les effectifs en spécialistes devraient croître d'environ 20% / an pendant la période 1970-1975. Ce chiffre est inférieur à certaines évaluations antérieures en ce qui concerne les spécialistes. En revanche une large opération de sensibilisation est prévue dans l'enseignement secondaire.

LONGÉVITÉ DES ORDINATEURS EN FRANCE

On donne ici un échantillon randomisé... par la disponibilité des informations : il est facile de connaître la date d'acquisition d'un ordinateur, non celle de sa mise au rebut. On a omis les petites machines satellites des grandes (IBM 1401...), ainsi que les calculateurs analogiques ou de *process control*, qui restent en fonctionnement plus longtemps que les ordinateurs d'usage scientifique ou gestion.

À partir du milieu des années 1960, l'installation de nouveaux gros ordinateurs va de pair avec des constructions immobilières destinées à les abriter. Cet effort aboutit à la création de centres de calcul polyvalents au début des années 1970 : régionaux (cadre universitaire), nationaux (CNRS).

Les ordinateurs fonctionnent en général 5 ou 6 ans dans une institution avant d'être remplacés. Dans beaucoup de cas, lorsqu'ils ont été achetés, ils sont ensuite cédés à bas prix à une autre organisation qui les utilise plus ou moins bien et plus ou moins longtemps. Leur vie opérationnelle atteint donc souvent une dizaine d'années. C'est le cas, par exemple, de l'IBM 704 du centre de calcul d'IBM France, installé place Vendôme en 1957, cédé en 1962 à l'Institut Blaise Pascal du CNRS, et envoyé à la ferraille en 1967 quand le CDC 3600 qui le remplace entre en fonctionnement. Même chose pour les IBM 704 du CEA militaire, cédé à l'ONERA, et du CEA civil (Saclay), transféré à l'établissement nucléaire de Cadarache. Les établissements de R&D nucléaires et militaires ont la liberté d'acquérir les machines les plus puissantes et les plus récentes, donc les remplacent plus vite que la recherche académique.

On constate que le choix des machines et des fournisseurs demeure très ouvert même quand le Plan Calcul bat son plein, au début des années 1970 : les CII 10.070 ou Iris 80 restent en concurrence avec les gros ordinateurs IBM, Univac ou Control Data.

Enseignement supérieur et recherche académique

Utilisateur	Machine	Acquise	Remplacée	par	Remplacée
Univ. Grenoble IMAG	Bull G.ET	1957	1963	IBM 7044	1967
Univ. Grenoble IMAG	IBM 1401 & 7044	1963	1967	IBM/360-67	1972 ?
Univ. Toulouse	IBM 650	1958	1965	CAE510+IBM7044	
Univ. Nancy	IBM 650	1959	1965	CAE 510	
Univ. Toulouse	IBM 7044	1963	1971	CII 10.070	1973
Univ. Nancy (TLF, fac. de lettres)	Bull G.60	1964	1971	CII 10.070	
Univ. Lille	Bull G.ET	1961	1966	Bull M 40	1970
Univ. Clermont	IBM 1620	1962	1967	IBM 1401 & 7044	1972 ?
Univ. Rennes	IBM 1620	1962	1969	CII 10.070	1975
CNRS Institut Blaise Pascal	Elliott 402	1955	1962	NCR-Elliott 803	
CNRS Institut Blaise Pascal	IBM 650	1958	1966	IBM/360-40	
CNRS Institut Blaise Pascal	IBM 704	1962	1966	CDC 3600	1972
CNRS CIRCÉ	CDC 3600	1966	1972	IBM/370-165	1974 (-168)
CNRS CIRCÉ	IBM/360-75 & 50	1967	1972	IBM/370-165	
CNRS Physique nucléaire IN2P3	CDC 6600	1967	> 1972		
CNRS Strasbourg- Cronenbourg	IBM/360-65	1967	1972	Univac 1108	1975
CNRS Marseille-Luminy			1968	IBM/360-44	1971
Univ. Marseille	CAB 500	1962	1966	SETI Pallas	1971
Univ. Besançon	CAB 500	1961	1967	SETI Pallas	
Univ. Bordeaux	IBM 1620	1961	1968	SETI Pallas	
Observatoire Meudon (puis INAG)	IBM 650	1958	1964	IBM 7040 & 360-65	1965 & 1976
Supélec	CAB 500	1962	1968	CII 10.070	
Supaéro	CAB500 + CAE510	1964	> 1968	CII 10.070	
CNRS Institut d'optique	IBM CPC	1952	1964	CAB 500	1970 ?
IRIA	CAE 90-80	1967	1970	CII 10.070	1975

594

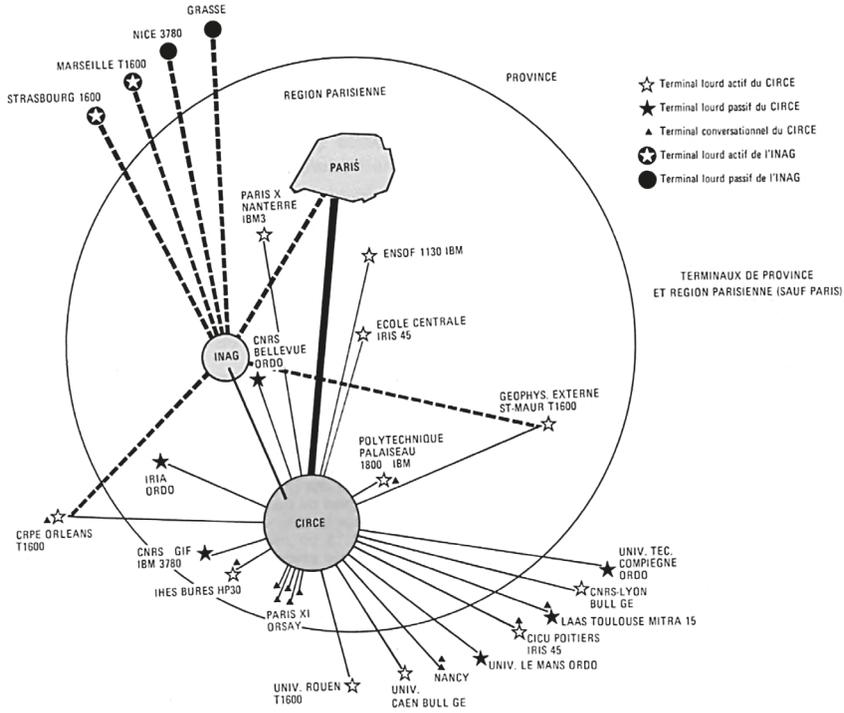
Administrations techniques, civiles ou militaires

Utilisateur	Machine	Acquise	Remplacée	par	Remplacée
Météorologie nationale	SNERI KL 901	1961	1967	CDC 6400	
STCAN	Bull G.AET	1957	1964	SDS 910	
Armée de terre SRO	Bull G.AET	1961	1966	Bull M 40	
Labo. central Armement (Arcueil)	IBM 650	1958	1964	IBM 7040	1967
CCSA (Armement, Arcueil)	Univac 1108	1967			
CEA-DAM (Vaujours)	Bull G.ET	1957	1962	Bull Gamma 60	1964 (CDC)
CEA-DAM (Bruyère-le-Châtel)	IBM 704	1959	1961	IBM 7090	
CEA-DAM (Limeil)	IBM 7094	1961	1967	3 IBM/360-50	
CEA-DAM (Limeil)	IBM 7030 Stretch	1963	1973	CDC***	
CEA civil (Saclay)	Ferranti Mercury	1957	1961	IBM 7090 puis 7094	
CEA civil (Saclay)	IBM 650	1957	1963		
CEA civil (Saclay)	IBM 704	1959	1961	IBM 7090 puis 7094	

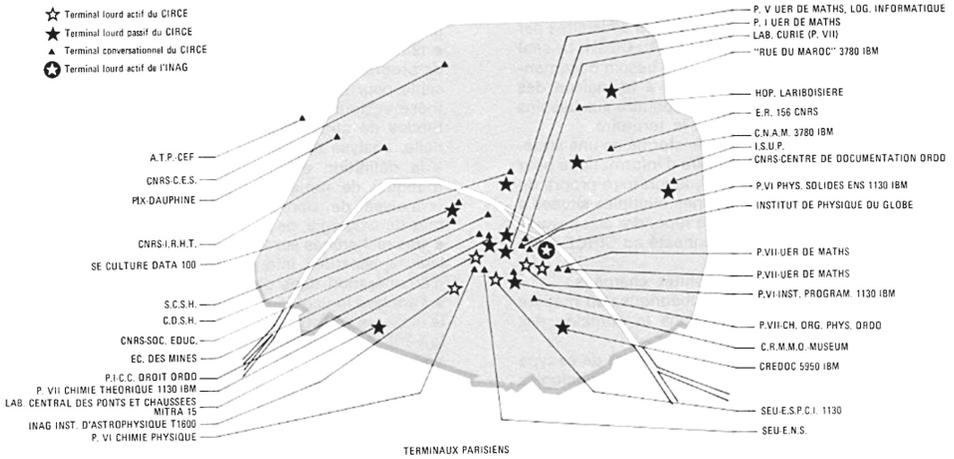
CENTRES DE CALCUL ET RÉSEAUX CNRS POUR
L'INFORMATIQUE SCIENTIFIQUE (1975)

Les centres de calcul ont été progressivement séparés des laboratoires de recherche informatique – non sans douleur. Dans la région parisienne, le CNRS a deux grands centres, l'un interdisciplinaire à Orsay (CIRCé, équipé d'IBM/370-168 et 158), l'autre pour l'astronomie et la géophysique à Meudon-Bellevue (IBM/360-65). Ils offrent des bibliothèques de programmes et des systèmes de gestion de bases de données. Tous deux sont reliés en *time-sharing* à de multiples terminaux, à travers les petits ordinateurs installés dans les laboratoires clients. Cette informatique en réseau, parfois déjà en mode conversationnel, constitue une transformation beaucoup plus profonde encore que l'apparition des premiers ordinateurs 20 ans auparavant. Résultant de longues recherches à la fois théoriques et techniques, elle transforme à son tour les conditions du travail scientifique.

La charge de calcul augmente de 20 % par an, le nombre de terminaux croît encore plus vite. L'université possède ses propres centres de calcul régionaux (non indiqués sur cette carte), dont la puissance de calcul globale équivaut à celle du CNRS. Les utilisateurs « académiques » payent le prix du service et de la maintenance, non l'amortissement des machines (« ticket modérateur ») ; ceux du secteur privé payent plein tarif (CNRS, *Rapport d'activité 1975*, p. 87).



Terminaux informatiques du CNRS dans les laboratoires parisiens.



LISTE DES THÈSES (1955-1973)

Pour effectuer une étude quantitative en histoire de l'informatique, mieux vaut ne pas compter exclusivement sur les ressources en ligne. Le système de recherche Sudoc, qui a heureusement une cellule d'assistance dévouée, ne trouve pas toutes les thèses demandées, loin de là. Ainsi, il ne donne pas celles de J. Hebenstreit (première thèse répertoriée *informatique*), de J. Pitrat, de M. Gross, de L. Nolin, d'A. Lentin, de J.-Cl. Boussard, de L. Bolliet... En 2008, la recherche par Sudoc avec le mot *informatique* fait apparaître une masse de thèses de l'université de Toulouse (une soixantaine pour la période considérée), presque rien de Paris ou de Grenoble (une demi-douzaine chacune seulement), encore moins des pôles secondaires. Une interrogation avec les mots-sujets : *mathématiques appliquées, analyse numérique, informatique*, sur l'université d'Aix-Marseille 1 entre 1958 et 1973, ne fait apparaître que 10 thèses de 1972-1973, la plupart soutenues à... Toulouse ou Paris ! Même genre de résultat pour les requêtes sur Lille. Pour Nancy, Sudoc ne fait apparaître que quelques thèses d'ingénieur-docteur en 1972-1973. Autres défauts, le directeur de thèse et le type de doctorat ne sont pas toujours mentionnés dans la base.

On a compensé partiellement ces distorsions par des recherches complémentaires :

- Souvent en complétant « à la main », par exemple en ajoutant les thèses nancéennes recensées dans la bibliographie de Cl. Pair (1988) et en obtenant celles qui ont été passées à l'Institut Élie Cartan (merci à Gérard Eguether et Philippe Nabonnand).
- En obtenant la liste des thèses préparées au LIMSI (« Paris, LIMSI »), communiquée par ce laboratoire (le CCA, installé à Orsay, devenu LIMSI en 1972).
- En obtenant les listes des thèses préparées à l'IMAG (Grenoble) et au LIMSI (Paris-Orsay). Il existe en effet une autre ressource en ligne, le catalogue des thèses recensées par la bibliothèque de l'ex-IMAG : <<http://tel.archives-ouvertes.fr/>>. Les thèses de l'IMAG sont elles-mêmes en ligne en version intégrale, ce qui fournit une source de grand intérêt pour l'histoire des sciences.

On a croisé cette collecte avec celle du *Mathematics Genealogy Project* qui donne de précieuses indications, mais plus sur l'ascendance scientifique des mathématiciens que sur leur descendance, faute que les données soient complètes¹ : on en revient toujours au même problème de sources.

Cette collecte des thèses effectuée, on les a intégrées en un fichier avec celles fournies par Sudoc. Puis on les a interclassées par année, en supprimant les éventuels doublons. L'ensemble obtenu n'est certainement pas complet (par exemple des thèses parisiennes n'apparaissent pas).

598

Comment définir le corpus ? On a choisi de « ratisser large », en incluant de nombreuses thèses de mathématiques appliquées, pour plusieurs raisons : d'abord, la recherche en informatique ne s'est dégagée que progressivement de cette catégorie, et bien souvent c'est par une thèse en mathématiques appliquées qu'ont débuté les chercheurs en informatique de la fin des années soixante ; ensuite, la seule lecture du titre des thèses n'indique pas quelle est la part respective d'analyse numérique, de programmation, de réflexion sur les méthodes nouvelles liées à l'emploi des ordinateurs ; enfin, ce corpus étant inévitablement incomplet, mieux vaut offrir « trop de bruit » que « pas assez de signal », ne serait-ce que pour faciliter les recherches ultérieures.

On voit apparaître dès 1966 des thèses de docteur-ingénieur référencées *Informatique* et des thèses de 3^e cycle *Traitement de l'information*. Faute de pouvoir examiner toutes les thèses elles-mêmes, on ne peut savoir s'il s'agit du référencement original ou d'une inscription ultérieure.

À partir du milieu des années 1960, les thèses d'analyse numérique devenant très nombreuses et l'informatique commençant à se dissocier de ce domaine, on a écarté celles qui semblaient avoir le moins de rapports avec l'informatique ou ses applications directes.

Il reste dans notre statistique un certain nombre de thèses d'informatique appliquée ou de calcul, sur des sujets allant de la mécanique des fluides à la recherche médicale, de la traduction automatique à la recherche opérationnelle. On les inclues dans la mesure où leurs auteurs participent à l'activité des laboratoires ou des enseignements d'informatique.

1 Le *Mathematics Genealogy Project* <<http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/>> est un service de la North Dakota State University, associée à l'American Mathematical Society. Il vise à dresser l'arbre généalogique scientifique des mathématiciens, les ascendants étant les patrons de thèse, les descendants les thésards. C'est un *work-in-progress* permanent, dont les principales sources sont les bibliographies en ligne et les informations remontant des internautes. Ainsi, pour J. Pêrès, il ne trouve (à la date où j'écris) que... deux « fils » J. Legras et J.-M. Souriau ! (Malavard n'apparaît pas). En revanche, l'effet Saint-Mathieu joue à plein pour J.-L.Lions (1246 descendants !).

Avec ces méthodes approximatives, on trouve près de 650 thèses de tous types soutenues entre le milieu des années 1950 et 1974. Plus de la moitié sont des doctorats de 3^e cycle (encore appelés *doctorat de spécialité*), ce qui confirme le succès de ce nouveau diplôme instauré au milieu des années 1950 pour les sciences. La statistique fait apparaître un flux régulier de thèses d'ingénieur-docteur (environ 150). Celles-ci n'orientent pas exclusivement leurs titulaires vers l'industrie : dans quelques cas, elles sont la première étape d'une carrière universitaire, attestée quelques années plus tard par une thèse d'État. Inversement, une thèse de 3^e cycle peut mener à des responsabilités dans l'industrie. La soixantaine de doctorats d'État qui apparaissent est certainement sous-évaluée (la base Sudoc n'indique souvent qu'une catégorie vague, comme « Thèse : Sciences » qui couvre vraisemblablement une grande partie des doctorats d'État).

La prédominance des « pôles pionniers » est confirmée : de l'ordre de 200 thèses sont soutenues à Paris, environ 170 à Grenoble comme à Toulouse.

D'une quinzaine annuelle au début des années 1960, on passe à une soixantaine en 1968-1969, et l'on tend vers la centaine de thèses par an en analyse numérique et en informatique au début des années 1970. La moitié des thèses ont été soutenues dans les quatre dernières années de la période (1970-1973), résultant des efforts d'accroissement de l'encadrement universitaire et des moyens matériels disponibles, ainsi que de la variété grandissante des problèmes scientifiques posés par le développement de l'informatique.

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Kaufmann, Arnold	1954	Grenoble	J. Kuntzmann	Thèse : Maths appli	Mise en équations et résolution des réseaux électriques en régime transitoire par la méthode tensorielle
Fraïssé, Roland	1955	Paris		Doct. d'État : Logique mathématique	Sur quelques classifications des systèmes de relations
Perret, René	1956	Grenoble	Louis Néel	Doct. d'État	Stabilisation des transports d'énergie à longue distance. 2e thèse : Technologie des calculatrices arithmétiques
Rouxel, Roland	1956	Grenoble	F. Esclangon	Doct. Ing.	Contribution à l'étude des phénomènes transitoire dans les enroulements
Rouxel, Roland	1956	Grenoble	Louis Néel	Doct. Ing.	Les opérations logiques dans les calculatrices digitales
Brillouet, Georges	1956	Paris		Doct. Sci. Math.	Etude de quelques problèmes sur les ondes liquides de gravité
Huard de La Marre, P.	1956	Paris		Sci. math.	Résolution de problèmes d'infiltrations à surface libre au moyen d'analogies électroniques
Renard, Guy	1957	Paris		Doct. Ing.	Représentation directe par analogie rhéologique des gradients de fonctions harmoniques en domaine plan limité ou illimité
Boscher, J.	1957	Paris		Doct. Sci. Math.	Résolution par analogie électrique d'équations aux dérivées partielles du quatrième ordre intervenant dans divers problèmes d'électricité
Tirumalesa, D.	1957	Paris			Contribution à l'étude des corrections de parois en souffleries transsoniques
Lauder, Michel	1957	Toulouse		doct. d'État : Physique	Contribution à l'étude du calcul numérique des champs et des trajectoires en optique électronique des systèmes cylindriques
Neidhofer, G.	1958	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Intégration approchée des équations différentielles lorsque la dérivée d'ordre le plus élevé ne figure que dans un terme correctif
Coulmy, Geneviève	1958	Paris		Thèse : Mathématiques	Théorie et pratique des courbes expérimentales
Gibault, R.	1958	Paris		3 ^e cycle: Physique	Résolution au moyen d'analogies électriques de problèmes d'effets d'épaisseur et de traînés minima pour des ailes en écoulements subsonique et supersonique
Dorand, J.-F.	1958	Paris		Doct. Ing.	Exploration de la couche limite en turbulence naturelle et en turbulence provoquée dans le cas d'un/écoulement supersonique le long d'une plaque plane
Hacques, Gérard	1958	Paris		Doct. Sci. Math.	Problèmes de la surface portante annulaire traités par des analogies rhéologiques
Thionet, P.	1958	Paris		Doct. Sci. Math.	Perte d'information par sondage/ Application de la notion d'information à la théorie de l'échantillonnage
Luneau, J.L.M.	1958	Paris		Physique	Sur l'influence de l'accélération sur la résistance au mouvement dans les fluides

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Michel, André	1959	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Représentation approchée des intégrales doubles
Vermot-Gaud, J.	1959	Grenoble	Benoit & Néel	Doct. Ing.	Étude d'une application de l'effort Hall à la réalisation d'éléments de circuits logiques
Attéia, Marc	1959	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle	Intégration approchée d'une équation différentielle provenant de l'étude de l'équation d'équilibre d'une coque cylindrique
Bianco, Edmond	1959	Marseille		3 ^e cycle	Courbure de l'onde de choc attachée
Huet, D.	1959	Paris	Doct. Sci. Math.		Phénomènes de perturbation singulière dans les problèmes aux limites
Carfou, Louis	1959	Rennes	G. Brillouet	Doct. Ing.	Étude du programme d'assemblage symbolique optimum PASO II
Baubion-Broye, Claude	1959	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Étude de systèmes de numération à base trois et à base quatre, codés binaire, en vue de leur utilisation dans une calculatrice automatique
Oulès, H.	1959	Toulouse	É. Durand	3 ^e cycle : Maths appli	Étude des outillages de programmation de la calculatrice arithmétique C.A.S.T.
Tran Van Tan	1959	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli spé informatique	Contribution à la résolution numérique de l'équation de Laplace
Lopes Pereira, Amaranro	1959	Toulouse	J. Lagasse	thèse d'université : Electrotechnique	Étude et réalisation d'un calculateur statique à courant continu
Nugeyre, J.-B.	1960	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle	Inversion numérique de la transformation de Laplace-Carson
Sourisse, Claude	1960	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Étude et réalisation d'un transféromètre pneumatique.
Veyrunes, Jean	1960	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle	Solution des problèmes aux limites différentielles linéaires par la méthode de décomposition de l'opérateur
Faury, Bernard	1960	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle en servomécanismes	Détermination de la fonction de transfert d'un servomécanisme par la méthode des boucles
Laurent, Pierre-J.	1960	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Méthodes du type Runge-Kutta pour des systèmes différentiels de forme particulière
Casacci, S.	1960	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Sur le calcul à la flexion des coques de révolution soumises à des champs de forces et de températures axisymétriques
Gastinel, Noël	1960	IMAG	J. Kuntzmann	Doct. d'État	1 ^{er} thèse : Matrices du second degré et normes générales en analyse numérique linéaire
Carlier, Jean-Pierre	1960	Toulouse	H. Boucher	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'analyse des systèmes à données intermittentes: appontage automatique sur porteurs au moyen d'une calculatrice numérique
Dauty, Henri	1960	Toulouse	H. Boucher	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude d'un DDA (analyseur différentiel numérique)
Lapeyre, Renée	1960	Toulouse	É. Durand	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude des équations et des systèmes différentiels de type particulier

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Guichet, Pierre L.	1960	Toulouse	M. Senouillet	thèse d'université : Maths appliquées	Étude de la stabilité d'un asservissement échantillonné et quantifié
Gaillard, René	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle	Réalisation d'une mémoire d'incrémentaires ternaires
Ligozat, Georges	1961	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Étude et réalisation d'un analyseur-synthétiseur de signaux.
Quilichini, P.	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude d'un problème posé par les chaînes de fabrication
Gorog, Etienne	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Essai d'une étude statistique des erreurs de calcul
Lévy, M.	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Contribution à l'étude de la méthode de Lanczos
Miellou, J.-C.	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Contribution à l'étude de l'erreur dans l'approximation des intégrales multiples
Bard, A.	1961	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Essai de généralisation de formules du type de Runge-Kutta faisant intervenir la dérivée suivante
Crérange, Marion	1961	Nancy		3 ^e cycle	Structure du code de programmation.
Vignolle, Jean	1961	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Étude et réalisation de l'asservissement en vitesse du tambour magnétique de la calculatrice numérique C.A.S.T.
Demaillly, Pierre	1961	Toulouse	M. Laudet		Les ordres initiaux de la calculatrice arithmétique de Toulouse
Poupot, Christian	1962	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Automatisation d'une cuve rhéoelectrique destinée à l'étude des champs laplaciens.
Augereau, D.	1962	Grenoble	B. Vauquois	3 ^e cycle : Maths appliquées	Utilisation des informations sémantiques en traduction automatique
Auroux, A.	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Contribution à la reconnaissance des structures syntaxiques en traduction mécanique
Dauphin, H.	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Recherche et identification automatiques des morphèmes en japonais
Schauer, G.	1962	Grenoble	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Utilisation de quelques types de normes de vecteurs dans des méthodes itératives de résolution de systèmes linéaires
Verdillon, A.	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Contribution à la documentation automatique dans le domaine des mathématiques appliquées
Le Goff, Roger	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle en servomécanismes	Traitement de l'information par calcul digital : application à la mesure des débits par moulinets
Lévy-Soussan, G.	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Application des fractions continues à la programmation de quelques fonctions remarquables
Siret, Y.	1962	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Principe des méthodes de Runge et Kutta à pas liés
Thellier, Pierre	1962	Grenoble	Pt. Fallot	Doct. d'État	Calculatrices arithmétiques en temps réel
Hennequin, Paul-Louis	1962	Paris		Doct. d'État : Mathématiques	Processus de Markoff en cascade
Lavoine, Jean-Pascal	1962	Paris		Thèse : Mathématiques	Calcul symbolique des distributions et des pseudo-fonctions

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Jumarie, G.	1962	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Contribution à l'étude théorique de l'écoulement de Couette des gaz raréfiés
Pouzet, P.	1962	Strasbourg		3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude, en vue de leur traitement numérique, d'équations intégrales et intégréo-différentielles de type Volterra pour des problèmes de conditions initiales
Maugis, Jean-Jacques	1962	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution au calcul numérique des intégrales doubles
Lapeyre, Renée	1962	Toulouse	É. Durand	Doct. d'Etat : Mathématiques	Contribution à l'intégration numérique des équations différentielles du 2 ^e ordre. Application au calcul des trajectoires électroniques dans les champs magnétiques de révolution
Boudarel, René	1962	Toulouse	J. Lagasse	Thèse d'université : Informatique	Stabilité des asservissements échantillonnés et quantifiés
Villier, Raymond	1963	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Contribution à la réalisation d'un analyseur différentiel digital.
Baer, J.-L.	1963	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude critique et données de compilation du langage Cobol
Lamoitier, J.-P.	1963	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Formes arborescentes des fonctions booléennes : applications aux circuits à cryotrons
Kaufmann, Arnold	1963	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle en servomécanismes	Analyseur-synthétiseur de signaux, de transferts et de spectres à 12 harmoniques
Zerner, Martin	1963	Paris		Doct. d'Etat : Mathématiques	Théorie des Hartogs et singularités des distributions : Solutions singulières d'équations aux dérivées partielles
Picard, Cl.	1963	Paris	J. Ville	doctorat ès-sciences	Théorie des questionnaires
Le Vasseur, Paul M.	1963	Paris		Thèse : sciences Mathématiques	Une méthode d'inversion numérique de la transformation de Laplace-Carson
Brun-Gabriel, J.-M.	1963	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Principe et étude des modalités d'exploitation d'un calculateur électrique d'ailes en supersonique linéarisé
Métivier, Michel	1963	Rennes		3 ^e cycle: Maths	Limites projectives de mesures martingales -applications
Lenain, Jacques	1963	Toulouse		3 ^e cycle : Electronique	Étude et réalisation de mémoires semi-mortes à cartes à courants de Foucault, à cartes métalliques
Arcangeli, Rémi	1963	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Une méthode de calcul automatique pour la résolution numérique du problème de Sturm-Liouville
Martin, Pierre Renaud	1963	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Sur la résolution numérique des équations intégrales de type Volterra
Sandru, Dumitru	1963	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Mémoire rapide à ferrites avec sélection par mot à deux noyaux par bit
Ritout, Michel	1963	Toulouse	É. Durand	Doct. d'Etat : Mathématiques	Contribution au problème du lissage des relevés expérimentaux
Echevin, C.	1964	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude des erreurs dans le fonctionnement d'un analyseur différentiel digital

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Liot, B.	1964	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude de la propagation des erreurs de calcul dans deux méthodes classiques de résolution de l'équation de la chaleur
Kerekes, E.	1964	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Comparaison des erreurs par pas dans différentes méthodes de résolution d'équations différentielles avec conditions initiales
Paccard, B.	1964	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle: Maths appliquées	Évaluation pratique de l'erreur par à pas dans les méthodes de Runge-Kutta
Laurent, Pierre-J.	1964	Grenoble	J. Favard	Doct. d'État	Étude de procédés d'extrapolation en analyse numérique
Berthaud, M.	1964	Grenoble	B. Vauquois	Doct. Ing.	Contribution à la synthèse automatique du français
Werner, G.	1964	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Étude de la syntaxe d'Algol - Application à la compilation
Saucier, Gabrièle	1964	IMAG	J. Kuntzmann	3 ^e cycle en servomécanismes	Codage des tableaux d'états des systèmes séquentiels asynchrones
Boussard, Jean-Claude	1964	IMAG		doct. d'État : Sc. appliquées	Étude et réalisation d'un compilateur Algol60 sur calculateur électronique IBM 7090/94 et 7040/44 Algol 60
Romac, R.	1964	Nancy		3 ^e cycle	Étude des méthodes de tri
Cusey, M.	1964	Nancy		3 ^e cycle : Maths appliquées	Construction d'un compilateur Algol pour IBM 1620
Courtois, Cécile	1964	Nancy		3 ^e cycle: Maths appliquées	Approximation de l'équation de la chaleur au sens des moindres carrés
Chanut, Augustine	1964	Paris		Thèse : Sciences	Contribution à l'évolution numérique des intégrales doubles
Fantuzzo, Jacques	1964	Toulouse	J. Lagasse	3 ^e cycle : Electronique	Étude et réalisation d'un dispositif semi-automatique permettant d'obtenir la courbe de réponse fréquentielle d'un système connaissant sa réponse en fonction du temps et vice-versa
Dols, Jean-François	1964	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Projet d'une mémoire semi-permanente à cartes capacitatives
Mourareau, Max	1964	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude des circuits électroniques d'exploitation d'une mémoire rapide de grande capacité
Simian, Gérard	1964	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Étude logique d'un bloc de calcul en virgule flottante devant équiper la calculatrice arithmétique de Toulouse
Tapia, Angel	1964	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Circuits logiques transistorisés à grande vitesse
Pince, Robert	1964	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appliquée	Contribution à l'étude d'un système de perception optique
Elefterion, Antoinette	1964	Toulouse 3		3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude et réalisation des circuits de liaison des organes externes à la calculatrice arithmétique de Toulouse
Bonnemoy, Claude	1965	Clermont	Hennequin	3 ^e cycle: Probabilités	Comparaison stochastique des méthodes de Runge-Kutta de rang 2, 3, 4
Melennec, Jean-Luc	1965	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Détermination du modèle mathématique d'une colonne de distillation pilote.

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Baissac, M.	1965	Grenoble	J. R. Barra	3 ^e cycle : Maths appliquées	Application des méthodes de la programmation dynamique au problème de la répartition optimale d'une activité
Di Crescenzo, Claire	1965	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Sur la solution d'un système linéaire aux différences associé au problème de Dirichlet pour l'équation de Laplace
Joubran, C.	1965	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude numérique du procédé de Peaceman-Rachford pour la résolution de problèmes elliptiques
Kaan, J.	1965	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude de l'utilisation des formules d'Obrechhoff pour la résolution numérique des problèmes différentiels avec conditions initiales
Netter, M.	1965	Grenoble	J. R. Barra	3 ^e cycle : Maths appliquées	Application de la programmation dynamique à des problèmes de croissance optimale
Nguyen, Huu Dung	1965	Grenoble	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Maths appliquées	Aspects non numériques de la programmation algol
Trehel, M.	1965	Grenoble	B. Vauquois	3 ^e cycle : Maths appliquées	Contribution à la théorie des catalogues
Ville, J.-L.	1965	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes numériques de recherche de la meilleure approximation
Xuan Nguyen, D.	1965	Grenoble	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes d'analyses syntaxiques descendantes pour langages «context-free»
Chion, J.	1965	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle: Maths appliquées	Deux méthodes de résolution d'équations algébriques : le procédé des réduites, l'algorithme de Routh
Sabonnadière, J.-C.	1965	Grenoble	M. Poloujadoff	3 ^e cycle: Maths appliquées	Applications des calculatrices numériques en électrotechnique
Wolf, J.	1965	Grenoble	N. Gastinel	3 ^e cycle: Maths appliquées	Méthodes de calcul des valeurs propres d'une matrice quelconque par utilisation de transformations unitaires
Tison, Pierre	1965	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.: Algèbre/logique	Théorie des Consensus
Delobel, C.	1965	Grenoble	Paul Namian	3 ^e cycle: économie	Modèle de prévisions des résultats de l'entreprise
Emond, A.	1965	Nancy		3 ^e cycle	Application de la notion de pile à des problèmes portant sur les chemins des graphes
Cazaux, Jean-Claude	1965	Toulouse	R. Beaufls	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude et réalisation de circuits de liaison des organes d'entrée-sortie à la calculatrice C.A.T.
André, Jacques	1965	Nancy		3 ^e cycle : Maths appliquées	Contribution à l'étude d'un compilateur Algol pour IBM 1620
Laporte, Jean-Marie	1965	Nancy		3 ^e cycle: Maths appliquées	Traitement des tableaux Algol, extension à l'Algol matriciel
Pair, Claude	1965	Nancy		Doct. d'État	Étude de la notion de pile, application à l'analyse syntaxique
Pertuiset, Roger	1965	Paris CNAM	R. Prudhomme	Doct. Ing.: Automatismes	Cablage d'ordinateur en application de la théorie des graphes
Fruman, D.	1965	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Problèmes de profils sub et supercavitants près de la surface libre/Résolutions rhéologiques

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Jenny, R.	1965	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Etudes théoriques sur l'aérodynamique des surfaces portantes déformables (Calculs par analogies rhéologiques)
Li Fang, T.	1965	Paris, LIMSI		Physique	Contribution à l'étude de la couche limite tridimensionnelle laminaire compressible avec transfert de chaleur
Escoffier-Cordier, Brigitte	1965	Rennes	J.-P. Benzécri	3 ^e cycle: Maths	L'analyse factorielle de correspondances
Vandenburgh, Harold	1965	Rennes	J.-P. Benzécri	Thèse d'université	Langages de programmation disponibles pour les opérations algébriques sur les polynômes
Badia, Jacques	1965	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'approximation numérique au sens de Tchebycheff des fonctions continues
Bazerques, Georges	1965	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Système de programmation pour la calculatrice arithmétique de Toulouse (C.A.T.)
Reverdy, Jacques	1965	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Sur une méthode d'approximation discrète des solutions des équations différentielles ordinaires
Altaber, Jacques	1966	Clermont	Hennequin	Doct. Ing.	Représentations arithmétiques de grands aléatoires
Payan, Charles	1966	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Contribution à la réalisation d'un prototype d'analyseur différentiel digital.
Carasso, C.	1966	Grenoble	P.-J. Laurent	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes numériques pour l'obtention de fonctions-spline
Dupraz, Mireille	1966	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Utilisation de l'algèbre de Boole en logique mathématique
Lecarme, Olivier	1966	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Etude comparative des principaux langages de programmation
Macheras, J.	1966	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Synthèse d'une fonction Booléenne par l'opérateur U
Melrose, Enrique	1966	Grenoble	R. Perret	Doct. d'État	Contribution à la réalisation d'un prototype d'analyseur différentiel digital
Cunge, J.A.	1966	Grenoble	N. Gastinel	Doct. Ing.	Étude d'un schéma de différences finies appliqué à l'intégration numérique d'un certain type d'équations hyperboliques d'écoulement
Piccolier, G.	1966	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Etude de la stabilité des chambres d'équilibre. 2e thèse: Solutions numériques et analytiques du problème des déformations axisymétriques des coques coniques dont l'épaisseur varie linéairement
Nougaret, Marcel	1966	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Commande par calculateur en ligne de la composition de tête d'une colonne de distillation pilote.
Pajus, Jean	1966	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Conception et réalisation d'un calculateur industriel (1ère partie).
Sempe, Bernard	1966	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Conception et réalisation d'un calculateur industriel (2ème partie).
Le Palmec, Jean	1966	Grenoble	S. l. n. d.	Doct. Ing. Sciences	Étude d'un langage intermédiaire pour la compilation d'Algol 60 : application à un calculateur de type microprogramme, C.A.E., 510
Attéia, Marc	1966	Grenoble		3 ^e cycle : Maths Appliquées	Etude de certains noyaux et théorie des fonctions «spline» en analyse numérique

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Bosmorin, Jean	1966	Lille		Doct. Ing. Maths appli	Expériences numériques sur un algorithme de recherche de la meilleure approximation polynomiale et rationnelle d'une fonction continue sur un intervalle fermé
Floch, A.	1966	Nancy		3 ^e cycle	Achèvement d'un compilateur Algol, traitement des procédures
Derniame, Jean-Cl.	1966	Nancy		3 ^e cycle : Maths appliquées	Etude d'algorithmes pour les problèmes de cheminement dans les graphes finis
Chernault, Yves	1966	Paris		Doct. d'État : Mathématiques	Approximation d'opérateurs linéaires et applications
Namian, Paul	1966	Paris		doct. d'État: Maths	Étude théorique du traitement des fichiers séquentiels en automatisme administratif
Pitrat, Jacques	1966	Paris	J. Ville	Doct. d'État	Réalisation de programmes de démonstration de théorèmes par des méthodes heuristiques,
Hiriart, Pierre.	1966	Paris Fac. Droit & Sc. Eco.	André Marchal	Doctorat : Droit	L'Electronique au service de l'administration des douanes : portée économique : incidences sur les modes de gestion administratifs
Chotin, J.-L.	1966	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Etude d'un plasma dans un «tube de choc» à membrane/Application au xénon
Sulmont, P.	1966	Paris, LIMSI			Applications de la théorie des surfaces portantes au calcul des hélices marines sub. et supercavitantes
Coatmelec, Ch.	1966	Rennes I	Georges Glaeser	3 ^e cycle : Maths appli	Approximation et Interpolation des Fonctions Differentiables des Plusieurs Variables
Gillor, Geneviève	1966	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Représentation des solutions numériques de l'équation de Laplace par des développements limités
Monchant, Michel	1966	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appliquées	Les ordres initiaux de la calculatrice arithmétique de Toulouse
Ippolito, Jean-Claude	1966	Toulouse	J. Lagasse	3 ^e cycle : Sciences	Contribution à l'étude du basculement partiel d'un noyau ferromagnétique. : Application à la réalisation de mémoires analogiques
Dedieu, Henri	1966	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Simulation d'un système modulaire de calcul
Marchand, Alain	1966	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Étude d'un système de traitement d'informations à usage scientifique utilisé par plusieurs postes simultanés : moniteur, codifieur /
Martin, Gérard	1966	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing. : Informatique	Étude d'un système de traitement d'informations à usage scientifique utilisé par plusieurs postes simultanés : générateur, interprète, procédure entrée-sortie
Tran-dong-gia	1966	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Étude et réalisation de l'unité d'exploitation des bandes magnétiques du calculateur C.A.T.
Sayers, K.H.	1966	Toulouse	M. Laudet	doctorat : Mécanique	Contribution au calcul des effets dus au fluage dans des structures
Lemarie, J.-M.	1967	Grenoble	J. Barra	3 ^e cycle : Maths appliquées	Prévision et décision en programmation linéaire stochastique

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Merzger, C.	1967	Grenoble	G. Hacques	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes de Runge Kurta de rang supérieur à l'ordre
Terrenoire, M.	1967	Grenoble		3 ^e cycle : Maths appliquées	Application de la programmation linéaire et convexe à l'approximation au sens de Tchebycheff avec contraintes
Benzaken, Claude	1967	Grenoble	J. Kuntzmann	doct. d'État: Maths	Monôme - étude morphologique. Contribution des structures algébriques ordonnées à la théorie des réseaux. 2e thèse: Algèbre de Jordan et domaine de positivité
Trilling, L.	1967	Grenoble	Boussard	Doct. Ing.	Contribution à l'étude des mécanismes de traduction des langages de programmation : application au traitement des structures définies dynamiquement
Amblard, Jean-Claude	1967	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Etude et réalisation d'une régulation analogique multiplexée pour processus aperiodique du 1er ordre avec retard pur.
Journard, Raymond	1967	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	2e thèse: La réalisation de fonctions logiques en circuits intégrés)
Lebourgeois, François	1967	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Traitement de problèmes logiques et séquentiels par calculateur numérique. Application au contrôle d'une installation pilote de distillation.
Pelissier, Claude	1967	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Contribution à l'étude de la commande optimale en chaîne ouverte des procédés industriels.
Chéin, M.	1967	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Etude des décompositions d'un réseau
Deschizeaux, P.	1967	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Synthèse de fonctions booléennes générales
Cohen, Jacques	1967	IMAG	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : sciences appliquées	Langage pour l'écriture de compilateurs
Colmerauer, Alain	1967	IMAG		3 ^e cycle : sciences appliquées	Précédence, Analyse syntaxique et langages de programmation
Bollier, Louis	1967	IMAG		doct. d'État : Sc. appliquées	Notation et processus de traduction des langages symboliques
Germain-Bonne, Bernard	1967	Lille	P. Pouzet	Doct. Ing. : Maths appli	Méthodes de calcul de pseudo-inverses de matrices
Frankk, P.	1967	Paris		3 ^e cycle	Sur divers problèmes de la plus courte distance d'un élément d'un ensemble à un sous-ensemble donné
Gross, Maurice	1967	Paris		3 ^e cycle	Analyse formelle comparée des complétives en français et en anglais
Temam, Roger M.	1967	Paris	J.-L. Lions	3 ^e cycle : Maths appli	Sur la Stabilité et la Convergence de la Méthode des pas fractionnaires
Maroni, Pascal	1967	Paris		doct. d'État : Mathématiques	La résolution du système de Chandrasekhar
Nivat, Maurice	1967	Paris		Doct. d'État	Transduction des langages de Chomsky
Siredey, Claude	1967	Paris		Doct. Ing.: Sciences	Un système de dépouillement numérique des sifflements atmosphériques
Mirzad, Seyed H.	1967	Paris			Calcul élastique des grands barrages-voutes dissymétriques à l'aide des ordinateurs électroniques

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Lafon, J.-C.	1967	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Variations de l'intelligibilité phonétique dans les modifications acoustiques du message verbal
Peyret, R.	1967	Paris, LIMSI		Doct. d'État	Contribution à l'étude théorique de l'écoulement dans un accélérateur de plasma à ondes progressives
Marec, J.-P.	1967	Paris, LIMSI		Doct. Sci.	Transferts optimaux entre orbites elliptiques proches
Girard, H.	1967	Paris, LIMSI		Me.Sci. aéronaut.	Applications de la méthode du gradient à l'étude numérique des transferts à puissance limitée entre orbites circulaires proches/ Comparaison avec la solution linéarisée
Risset, J.-C.	1967	Paris, LIMSI		Physique	Sur l'analyse la/synthèse et la/perception des sons étudiées à l'aide de calculateurs électroniques
Arcangeli, Simone	1967	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Un langage symbolique algébrique pour la calculatrice arithmétique de Toulouse
Sadaca, Jacques	1967	Toulouse	É. Durand	3 ^e cycle : Physique mathématique	Solutions numériques de l'équation biharmonique à deux variables
Argilas, François-Cl.	1967	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Assembleurs et système d'interruptions pour C.A.T.
Perbet, Marcel A.C.	1967	Toulouse	Y. Sévely	Thèse d'université : Automatique	Étude d'un système de commande numérique, optimal et autoadaptatif
Nicolova, Slavka	1967	Toulouse		thèse d'université : Maths	Contribution à l'étude et réalisation d'amplificateur de lecture pour une mémoire à couches magnétiques
Brusset, Jean.	1967	Toulouse 3	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appliquées	Système de contrôle des entrées-sorties et langage de conversation pour C.A.T.
Crouzeix, J.-Pierre	1968	Clermont	Hennequin	3 ^e cycle: Probabilités	Etude statistique de l'erreur de chute dans la résolution de systèmes linéaires
Deloche de Noyelle, Gérard	1968	Grenoble	R. Perret	3 ^e cycle	Conduite d'une unité de production d'éthylène par calculateur numérique. Optimisation statique.
Burtzbach, P.	1968	Grenoble	M. Nivat	3 ^e cycle : Maths appliquées	Langages bornés arithmétiques
Courtin, J.	1968	Grenoble	J.-C. Bousard	3 ^e cycle : Maths appliquées	Langages analysables de gauche à droite, construction d'un analyseur pour langages LR (1)
Duc-jacquet, M.	1968	Grenoble	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Résolution de quelques problèmes d'analyse numérique linéaire à l'aide de perturbations par des matrices antiscales
Ducrocq, Y.	1968	Grenoble	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthode d'estimation à posteriori d'erreurs
Brodeau, F.	1968	Grenoble	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Contribution à l'étude du contrôle optimal stochastique
Robert, F.	1968	Grenoble	Noël Gastinel	Doct. d'État: Mathématiques	Etude et utilisation des normes vectorielles en analyse numérique linéaire (1ere thèse) -- Inéquations variationnelles et problèmes aux limites (2eme thèse)

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Bourret, P.	1968	Grenoble	Noël Gastinel	Doct. Ing.	Méthode de calcul de certains écoulements
Fleure, J.	1968	Grenoble	J. Kravtchenko	Doct. Ing.	Traitement de données de débit sur calculatrice électronique
Fardeau, Michel	1968	Grenoble	R. Perret	Doct. Ing.	Contribution à la réalisation et exploitation d'un analyseur différentiel digital.
Durand, A.	1968	Grenoble	P.-J. Laurent	Doct. Ing.	Résolution numérique de problèmes en contrôle optimal à évolution linéaire et critère quadratique
Saillard, J.-C.	1968	Grenoble I	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude des formes lexicographiques des fonctions booléennes simples, représentation à l'aide de l'opérateur U
Lucas, Michel	1968	IMAG	O. Lecarme	3 ^e cycle : Maths appliquées	Technique de programmation et d'utilisation en mode conversationnel des terminaux graphiques
Verjus, Jean-Pierre	1968	IMAG	Louis Bolliet	Doct. Ing.	Étude et réalisation d'un système algol conversationnel Algol / DIAMAG
Arnold, André	1968	Lille		3 ^e cycle : Mathématiques appliquées	Formalisation des démonstrations mathématiques
Salessy, Paul	1968	Paris		3 ^e cycle : Sciences	Identification numérique de systèmes linéaires et non linéaires
Haugazeau, Yves	1968	Paris		Doct. d'État : Mathématiques	Sur les inéquations variationnelles et la minimisation de fonctionnelles convexes
Nolin, Louis	1968	Paris	Schützenberger	doct. d'État: Maths	Formalisation des notions de machine et de programme
Gilormini, Claude	1968	Paris		Thèse : Mathématiques	Approximation rationnelle avec contraintes
Mirzad, Seyed H.	1968	Paris		Thèse : Physique	Calcul des coques par une nouvelle technique aux éléments finis
Apter, Henri	1968	Paris		thèse d'université : Sc. appliquées	ère thèse Applications du calcul analogique à la résolution de problèmes d'optimisation
Caussade, B.	1968	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Une expérience de calcul hybride
Falque, S.	1968	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Transport de masse dans un tube avec effet catalytique à la paroi
Roux, M.	1968	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Algorithme pour construire une hiérarchie particulière
Euvraud, D.	1968	Paris, LIMSI		Doct. Sci. Math.	Utilisation des méthodes de développement asymptotique pour l'étude de l'écoulement sonique autour d'un obstacle
D'alche, E.	1968	Paris, LIMSI		Doct. Sci. nat.	Genèse de l'électrocardiogramme/Étude à l'aide de modèles
Catusse, Yves	1968	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Système de recherche documentaire automatique
Grimoud, Jacques	1968	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Maths appli	Adaptation numérique de la méthode des approximations successives dans les espaces de Banach Texte imprimé: applications aux équations différentielles

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Huyñh, Khanh Thanh	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude des méthodes d'évaluation de quadrature numérique
Huyñh, Khanh Thanh	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude des méthodes d'évaluation de quadrature numérique
Noailles, Joseph	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Contrôle optimal d'une intersection de n directions en état de saturation
Nogardé, Serge	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'approximation discrète des problèmes différentiels de condition initiale du premier ordre
Zareski, David	1968	Toulouse	É. Durand	3 ^e cycle : Maths appli	Contribution à l'étude numérique des problèmes d'élasticité plane
Kalfon, Daniel	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Résolution numérique d'un problème mal posé pour un opérateur elliptique du second ordre à coefficients variables
Laborie, Marc	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Étude et réalisation du système de commutation du tambour magnétique de la calculatrice C.A.T.
Rigal, Alain	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Résolution numérique de problèmes de propagation de la chaleur en milieu homogène
Souriac, Pierre	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Résolution numérique d'un problème mal posé
Ribeiro dos Santos, José	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appliquées	Contribution à l'étude des méthodes itératives et à l'accélération de la convergence dans la résolution numérique des équations aux dérivées partielles par la méthode des réseaux
Luguet, Jacques	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Structure de synthèse d'un système informatique de gestion intégrée : un compatibilité dynamique
Pouget, André	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Étude d'un système informatique de gestion intégrée
Rodrigues Hermes de Araujo, J.L.	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Contribution à l'étude des méthodes de décision : application à la prévision météorologique locale et à court terme
Tizianel, Roland	1968	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Détermination de la structure logique d'un analyseur différentiel numérique
Pérennou, Guy	1968	Toulouse		Doct. d'État : Mathématiques	Plans projectifs. Plans de Moulton + Contribution à l'étude des discriminateurs, calcul et optimisation
Castan, Serge	1968	Toulouse		Doct. d'État : Maths	Contribution à l'étude des problèmes de reconnaissance de formes, optimisation des discriminateurs
Barre, G.	1968	Toulouse		Doct. d'État	Résolution numérique d'e quelques problèmes de type elliptique rencontrés en mécanique des fluides

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Lagouanelle, Jean-Louis	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	Doct. Ing.	Contribution à l'étude des méthodes itératives de résolution et au calcul des racines multiples d'une équation
Marsili, Pierre-Marie	1968	Toulouse	Renée Lapeyre	Doct. Ing.	Contribution à la détermination des meilleures approximations polynomiales au sens de Tchebichef
Gottis, Jean-Bernard	1968	Toulouse		Doct. Ing. : Automatique	La reconnaissance des formes à l'aide de dispositifs du type Perceptron
Gouvernet, Joanny	1968	Toulouse	M. Laudet	Doct. Ing. : Maths appli.	Approximation de fonction solutions d'équations différentielles du premier ordre présentant une discontinuité à une borne du segment d'intégration
Causse, Bernard	1968	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Utilisation d'un ordinateur pour l'enseignement de l'Algol : cours et moniteur d'enseignement
Couderc, Bruno	1968	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Ètude critique des dispositifs du type «analyseur différentiel numérique»
Gottis, Jean-Bernard	1968	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Contribution à l'étude des analyseurs différentiels numériques : simulations de structures d'A.D.N. Procédures de remise à l'échelle
Labrousse, François	1968	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing. : Informatique	Sur l'utilisation des méthodes heuristiques dans la résolution automatique de problèmes
Meraye, Danièle	1968	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing. : Informatique	Réalisation d'un algorithme temps réel et extension au calculateur numérique
Nicolov, Guerorgui	1968	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Ètude et réalisation d'un analyseur différentiel numérique à mémoire rapide
Renteira, Jorge Enrique	1968	Toulouse		d'université : Informatique	Ètude et réalisation d'un générateur d'impulsions à un gigahertz
Couderc, Bruno.	1968	Toulouse 3		Doct. Ing. : Informatique	Le calcul en temps réel : exigences, performances, applications à l'ADN
Laudet, Michel	1968	Toulouse	Ruffié, Jacques	doctorat en Médecine	Le système Gm en bio-anthropologie: contribution à l'étude des méthodes de calcul des fréquences géniques
Beretti, Pierrette	1969	Clermont	Hennequin	3 ^e cycle: Probabilités	Etude numérique des chaînes de Markov et applications
Auslander, Alfred	1969	Grenoble	Jean-René Barra	doctorat : Mathématiques	Méthodes numériques pour la résolution des problèmes d'optimisation avec contraintes
Douady, J.	1969	Grenoble I	G. Berthier	3 ^e cycle : chimie quantitative	Application de méthodes de calcul numérique à la détermination de fonctions d'ondes moléculaires
Cosnier, J.	1969	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Sur la stabilité de la solution numérique pour un problème particulier d'équations aux dérivées partielles de type hyperbolique
Duquesnel, P.	1969	Grenoble I	Geindre	3 ^e cycle : Maths appliquées	Langage normalisé pour la description des informations médicales en radiologie
Guyot, J.-L.	1969	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appliquées	Ètude de quelques méthodes de calcul du polynôme caractéristique et des valeurs propres
Laplace, A.	1969	Grenoble I	Gérard Haecques	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes de Runge-Kutta-Fehlberg

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Martin, François	1969	Grenoble I	Cohen, J.	3 ^e cycle : Maths appliquées	Détermination de certaines caractéristiques des grammaires et langages «context-free»
Morin, Madeleine	1969	Grenoble I	P.-J. Laurent	3 ^e cycle : Maths appliquées	Méthodes de calcul des fonctions «spline» dans un convexe
Nguyen, Huy Xiong	1969	Grenoble I	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Etude du régime transitoire d'un modèle mathématique de jonction P-N
Sarret, Michel J.	1969	Grenoble I	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Problèmes d'implantation, le programme DESMAG
Fouland, Claude	1969	Grenoble I	R. Perret	Doct. d'État	Sur la commande quasi-optimale obtenue par apprentissage d'une classe de procédés physiques
David, René	1969	Grenoble I	Louis Néel	Doct. d'État : Physique	Langages de programmation en commande numérique de machines-outils
Hisleur, G.	1969	Grenoble I	J. R. Barra	Doct. Ing.	Exemples d'utilisation d'un ordinateur en statistique
Vandorpe, D.	1969	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Etude d'un modèle mathématique de certains dispositifs semi-conducteurs
Serre, C.	1969	Grenoble I	Louis Bolliet	Doctorat d'université	Contrôle des faisceaux éjectés du synchrotron à protons du C.E.R.N. au moyen d'un ordinateur utilisé en mode conversationnel
Cleemann, Edouard	1969	IMAG	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Maths appliquées	Un macro-langage pour la programmation des terminaux graphiques IBM 2250
Griffiths, Michael	1969	IMAG	Louis Bolliet	Doct. d'État : Informatique	Analyse déterministe et compilateurs
Rossi, Monique	1969	Montpellier		3 ^e cycle : Sc. appliq.	Réalisation d'un système informatique adapté à l'exploitation automatique des dossiers médicaux
Martin, J. M.	1969	Nancy I		3 ^e cycle	Un mode d'exploitation du dossier médical - Structure arborescente - Système modulaire d'interrogation
Quéré, A.	1969	Nancy I		3 ^e cycle	Etude des ramifications et des bilangages
Villard, J.	1969	Nancy I		3 ^e cycle	Emploi de PL/I pour les problèmes de linguistique
Bardos, Claude	1969	Paris	J.-L. Lions	3 ^e cycle : Maths appli	Problèmes aux limites pour les équations aux dérivées partielles du premier ordre
Lentin, André	1969	Paris	Schützenberger	doct. d'État : Maths	Contribution à une théorie des équations dans les monoïdes libres
Hebenstreit, Jacques	1969	Paris		Maths. Informatique	Générateur de microprogrammes
Bianco, Edmond	1969	Paris		Thèse : Mathématiques	Etude et formalisation d'une classe de systèmes
Bousquet, Jacqueline	1969	Paris		Thèse : Mathématiques	Equation intégrale gérant un problème de diffraction pour un réseau conducteur. Etude des singularités du noyau. Résolution numérique de l'équation
Mizzi, François	1969	Paris		Thèse : Physique	Méthode de résolution analogique et numérique de problèmes aux dérivées partielles
Thelliez, Sylvain	1969	Paris		Thèse : Physique	Introduction à l'étude des structures ternaires de commutation

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Bensoussan, Alain	1969	Paris		Thèse : Sciences mathématiques	Sur l'identification et le filtrage de systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles
Gross, Maurice	1969	Paris 7		doct. d'État	Lexique des constructions complétives
Bianco, Edmond	1969	Paris, LIMSI		Doct. d'État: Maths	Etude et formalisation d'une classe de systèmes
Cornil, M.	1969	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Etude d'une couche limite laminaire avec injection uniforme en écoulement hypersonique
Kadiyala, K.	1969	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Etude du profil des blocs creux de terre cuite par les revêtements photoréfractométriques
Vignes, J.	1969	Paris, LIMSI		Doct. Sci. appl.	Etude et mise en oeuvre d'algorithmes de recherche d'un extremum d'une fonction de plusieurs variables
Coudeville, H.	1969	Paris, LIMSI		Physique	Etude du sillage de cylindres et de sphères en écoulement hypersonique de gaz raréfié
Teil, D.	1969	Paris, LIMSI			Etude de génération synthétique de parole à l'aide d'un ordinateur
Gras, Régis	1969	Rennes	Michel Métivier	3 ^e cycle: Probabilités	Sur quelques points de programmation dynamique stochastique
Marzin, Guillaume	1969	Rennes	Métivier, Nivat, Arques		1) L'informatique documentaire, méthodes et réalisations 2) Etude de l'apport de l'informatique dans les systèmes radars
Mercier, Guy	1969	Rennes I		3 ^e cycle : Probabilités :	Reconnaissance des formes : Approximation des fonctions de décision et application à la reconnaissance des phonèmes
Bernadou, Michel	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Maths appli	Résolution numérique d'un problème non linéaire mal posé pour un opérateur elliptique du second ordre à coefficients variables
Phissamay, Boutiem	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Physique mathématique	Solutions numériques de l'équation d'Helmholtz : recherche d'une grande précision et applications électromagnétiques
Scouarnec, Christian	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Physique mathématique	Méthodes numériques de calcul de la fonction de contrainte dans un cycle de révolution soumis à des liaisons extérieures
Anton, Jean-Paul	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Création et exploitation d'une base commune de données dans un système de gestion intégrée
Capmas, Albert	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Modèles de prévision à court terme adaptés à un système informatique de gestion intégrée
Gros, Jacques	1969	Toulouse		3 ^e cycle : Traitement de l'information	Étude et réalisation d'un macro-générateur pour le calculateur CII 10 070

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Manou, C.	1969	Toulouse		Doct. Ing.	Application à l'étude des intumescences de l'acquisition et du traitement automatique des données
Carmassi, Michel	1969	Toulouse		Doct. Ing. : Automatique	Simulation du type analogique sur ordinateur : Thèse complémentaire
Hugot, Pierre	1969	Toulouse	M. Ritout	Doct. Ing. : Informatique	Contribution à la conception et à l'analyse d'un système d'exploitation en temps partagé pour le calculateur CII 10 070
Lemaréchal, Claude	1969	Toulouse		Doct. Ing. : Maths appliqués	Amélioration de la précision dans la méthode des pas fractionnaires
Black, Robert	1969	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Traitement des fonctions de commutation : minimisation
Bouisset, Marc	1969	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Traitement des fonctions de commutation : synthèse
Fournet, Henri	1969	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Implantation automatique des plaquettes dans un panneau arrière de calculateur : amélioration d'un premier positionnement pour préparer un cablage optimal
Grosca sand, Christian	1969	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Implantation automatique des plaquettes dans un panneau arrière de calculateur : élaboration d'un positionnement initial
Khasi, Arieh	1969	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Étude d'une conduite de tir de canon sur calculateur numérique et analogique et sur analyseur différentiel numérique
Seguela, Franc	1969	Toulouse	M. Laudet	Doct. Ing.: Informatique	Optimisation du stockage de blocs d'information continus dans un espace mémoire
Aragon, Jean-Marie	1969	Toulouse	M. Laudet	Thèse d'université : Automatique	Étude d'une méthode optimisée de gestion des fichiers sur mémoire de masse Texte imprimé
Chicoix, C.	1969	Toulouse	J. Lagasse	Doct. Ing.	Contribution à la commande numérique d'une synchro machine
Fournier, Jean-Marc	1970	Besançon		3 ^e cycle : Optique	Traitement optique de l'information appliquée à la mesure de ressemblance et à la classification des formes voisines
Philippart, Roger	1970	Grenoble		Doct. Ing. : Physique	Etude et réalisation d'une machine de reconnaissance de formes
Eberhard, André	1970	Grenoble		Doct. Ing. : Sciences appliqués	Algorithmes de l'analyse harmonique numérique. Algorithme de Cooley et Tukey
Flament, Jacques	1970	Grenoble		Doct. Ing.: Informatique	Etude bibliographique des éléments M.O.S. + Utilisation des séquences binaires pseudoaléatoires à l'optimisation des processus industriels
Hirsch, Jean-Jacques	1970	Grenoble		Doct. Ing.: Sciences	Contribution à l'étude des conversions numérique et analogique et analogique numérique au moyen d'une représentation stochastique de l'information

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Pichat, Étienne	1970	Grenoble		Thèse : Mathématiques	Contribution à l'algorithmique non numérique dans les ensembles ordonnés
Couraz, Joëlle	1970	Grenoble I	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Informatique	Simulation d'un système conversationnel
Beaume, G.	1970	Grenoble I	J.-R. Abrial	3 ^e cycle : Maths appliquées	Projet SOCRATE (2-2) : Gestion des mémoires
Vigliano, G.	1970	Grenoble I	J.-R. Abrial	3 ^e cycle : Maths appliquées	Projet SOCRATE (2-1) : Langage de requêtes
Miellou, J.-C.	1970	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Sur une notion de monotonie conduisant à une extension de l'application de la méthode variationnelle dans l'étude des systèmes d'équations et d'inéquations aux dérivées partielles : opérateurs paramétrés
Sautier, Gabrièle	1970	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Codage des automates asynchrones
Terrenoire, M.	1970	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Un modèle mathématique de processus d'interrogation : les pseudoquestionnaires
Tübach, J.-P.	1970	Grenoble I	Vauquois	Doct. d'État	Reconnaissance automatique de la parole. Étude et réalisation fondée sur les niveaux acoustique, morphologique et syntaxique
Lecarme, Olivier	1970	Grenoble I	Louis Bolliet	doct. d'État : Sc. appliquées	Contribution à l'étude des problèmes des terminaux graphiques, un système de programmation graphique conversationnelle
Chein, Michel	1970	Grenoble I	J. Kuntzmann	doct. d'État: Maths	Sur les problèmes de décomposition d'un graphe, liés à l'implantation
Bellissant, Camille	1970	IMAG		3 ^e cycle	Conception et compilation d'un langage pour l'écriture de cours
Lidell, Patrick	1970	IMAG		3 ^e cycle	Partition syntaxique d'un système logique décrit en CASSANDRE
Morin, Robert	1970	IMAG	J.-R. Abrial	3 ^e cycle	Projet SOCRATE - (2-3) Interprétation et compilation SGBD
Gabrin, Philippe	1970	IMAG		Doct. Ing.	Étude et réalisation d'un système de programmation pour la commande numérique des machines-outils
Syret, Yvon	1970	IMAG		sciences appliquées	Contribution au calcul formel sur ordinateur
Khalil, Raymond	1970	Nancy I		Doct. Ing.	Essai de formalisation de la description des compilateurs : application à Algol 60
Chavent, Guy	1970	Paris	J.-L. Lions	3 ^e cycle : Maths appli	Analyse fonctionnelle et identification de coefficients repartis dans les équations aux dérivées partielles
Idrissi, Ahmed	1970	Paris		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Structure d'implantation et d'exploitation de l'information dans les problèmes de collection et d'identification (structure conversationnelle)
Nédélec, Jean-Cl.	1970	Paris	J.-L. Lions	Doct. d'État: Maths	Schémas d'approximation pour des équations intéro-différentielles de Riccati
Djukanovic, Radojka	1970	Paris		Doct. Ing. complément.: Maths	Evolution sur la multiprogrammation

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Sag, Georges	1970	Paris		Sciences appliquées. Informatique	Stockage et traitement semi-automatique de la documentation chimique au moyen d'un ordinateur à disques magnétiques
Foata, Dominique	1970	Paris	Schützenberger	Thèse : Mathématiques	Théorie géométrique des polynômes eulériens
Bestougeff, Alexandre	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude méthodologique de la conception des périphériques d'ordinateur
Gauthier, Bernard	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	Réalisation d'un système Algol conversationnel
Houdas, Raymond	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	Représentation d'une fonction par une somme dérivable de translateds
Bossavit, Alain	1970	Paris 6	J.-L. Lions	3 ^e cycle : Maths appli	Sur la régularisation des équations variationnelles
Glowinski, Roland	1970	Paris 6	J.-L. Lions	3 ^e cycle : Maths appli	Etude et approximation de quelques problèmes intégraux et intégréo-différentiels
Camillerapp, Jean	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Utilisation des ordinateurs en reconnaissance des formes
Carvalho, Luiz Carlos de	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Etude et réalisation d'un compilateur paramètre
Coulon, Daniel avec la collab. de Daniel Kayser	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Conception et réalisation d'un programme d'enseignement assisté
Decarpentry, Jean	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Simulation d'un système
Leclaire, J.-M.	1970	Nancy 1		3 ^e cycle	Définition de la syntaxe des langages de programmation
Delhaye, Jean-Loïc	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Datal : un programme de démonstration automatique de théorèmes
Guiho, Gérard	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Représentations et traitements de surfaces sur ordinateur
Kahn, Edmond	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Le Filtrage digital
Kaysers, Daniel	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Etude d'un analyseur et d'un compilateur conçus pour l'enseignement assisté : Principes et réalisation
Petit, Yves	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Une Structure d'ordinateur en multiprogrammation

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Prost, Chantal	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Un Programme de recherche documentaire
Vuillemin, Jean	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli. Informatique	Une Formalisation de la notion de structures de données
Perrin, Dominique	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths. Informatique algébrique	Le Langage par un code préfixe et son monoïde syntaxique
Poussin, Françoise-Hélène	1970	Paris 6		3 ^e cycle : Maths. Informatique algébrique	Polynômes et nombres d'Euler
Chevance, René J.	1970	Paris 6		Doct. d'État	Un langage complet et cohérent pour l'informatique de gestion
Quinio, Jacques	1970	Paris 6		Doct. Ing. Informatique	Système hybride à réseaux résistifs
Tasso, Joseph N.	1970	Paris 6		Maths. Informatique	Hierarchisation et reconfiguration transparentes des ressources basées sur la structure des programmes et des données
Bestougeff, Hélène	1970	Paris Orsay		doct. d'État: Maths	Etude du dialogue homme-machine dans un environnement pédagogique
Raymond, Jacques	1970	Paris Orsay		Doct. Ing. Géométrie analytique - Informatique	Système de programmation pour la géométrie analytique
Horvat, J.-C., Houdas, R.	1970	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Représentation d'une fonction par une somme de traduites
Loiseau, G.	1970	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Comportement des tubes de Pitot dans les fluides viscoélastiques
Henne De Lacorte, A.	1970	Paris, LIMSI		Doct.	Etude et réalisation d'un égaliseur de parole
Komatitsch, J.-M.	1970	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Système de transmission digitale du signal téléphonique à compression d'information
Manasfi, M.S.	1970	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Correction par ordinateur des altérations phonétiques des noms français/Calcul d'adresses et recherche en table
Leray, M.	1970	Paris, LIMSI		Doct. Sci.	Contribution à l'étude des tourbillons dans l'hélium liquide II
Combarmous, M.	1970	Paris, LIMSI		Physique	Convection naturelle et convection mixte en milieu poreux
Pellaumail, Jean	1970	Rennes	Michel Métivier	Probabilités	Sur la dérivation et l'intégration des mesures vectorielles
Audounet, Jacques	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Sur l'approximation de problèmes d'évolution hyperboliques à non linéarité de type exponentiel
Behlert, René	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Spécifications d'un compilateur syntaxique
Dulac, Jean	1970	Toulouse	M. Raybaud	3 ^e cycle : Informatique	Etude d'un problème de ralliement optimal d'un missile : projet de résolution à l'aide d'opérateurs A.D.N.

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Gelis, Gérard	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Détection et diagnostic des défauts logiques dans les circuits combinatoires
Hamard, Jean-Claude	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Structures de données et compilation d'un langage de manipulation
Kon-Sun-Tack, Michel	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'élaboration d'un système de transmission de données: transmission de l'information et gestion régionale
Lavelle, Pierre-Jean	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à la gestion automatique d'un ordinateur
Martin, Jean-Pierre	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude des performances des substances photochromes et de leurs applications informatiques
Raynaud, Yves	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	A.P.L. : son implantation, son utilisation pour l'aide à la conception des systèmes de traitement de l'information
Salinier, Jean-Claude	1970	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude et à la réalisation de paramètres à noyaux ferromagnétiques en vue de leurs applications aux circuits logiques
Barthet, Henri	1970	Toulouse		Doct. d'État	Etude des propagations d'ondes par calcul automatique
Beaufils, René	1970	Toulouse		Doct. d'État: Informatique	Etude et réalisation d'un système informatique destiné à l'enseignement
Fichet, Bernard	1970	Toulouse	Renée Lapeyre	Doct. Ing.	Sur l'approximation et l'optimisation stochastique
Gresse, Alain	1970	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Traces automatiques de plaquettes en technologies multicouches et blocs denses
Marcoux, Annie	1970	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Simulation de réseaux logiques synchrones
Brignon, Jacques	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Étude et réalisation d'un poste terminal de dialogue avec un ordinateur
Larmat, Jean-Pierre	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Évaluation de performance des systèmes «temps-partagé»
Renault, Annie	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Répartition par calculateur d'un réseau logique en boîtiers de circuits intégrés
Renault, Francis	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Organisation de l'ensemble de programmes plaquettes: problèmes d'implantation posés par la fabrication d'une carte de circuits intégrés à cabler en circuits imprimés
Richard, Jean-Louis	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Étude et réalisation d'un calculateur de type analyseur différentiel numérique destiné à une centrale de navigation par inertie
Taillandier, Michel	1970	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Réalisation d'un compilateur algol pour le C.I.I. 10 010
Bazerque, Georges	1970	Toulouse		Maths	Contribution au développement d'une méthodologie pour le traitement des objets utilisés en informatique
Polignac, Christian de	1970	Grenoble I	Noël Gastinel	Doct. Ing.	Méthodes optimales de calcul de produits de matrices
Tribillon, Gilbert.	1971	Besançon		3 ^e cycle: Optique	Traitement optique d'une information perturbée arbitrairement ou non

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Adiba, Michel	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Editeurs par contexte pour systèmes conversationnels à partage de temps
Cagnat, Jean-Michel	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Structures de représentations des données en ordinateur : application aux traitements graphiques
Chauché, Jacques	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Transduction d'arborescences : application aux manipulations de formules sur ordinateur
Landelle, Alain	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Etude et réalisation d'une traduction automatique d'Algol 60 en Algol 68
Miermont, Jean-Marie	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Etude algébrique et programmatisation de la discrétion de figures planes
Peteul-Harmel, Bernard	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	La Mise au point de programmes par simulation : réalisation d'un support conversationnel de mise au point : PLOTE
Brezinski, Claude	1971	Grenoble		3 ^e cycle : Maths appli.	Méthodes d'accélération de la convergence en analyse numérique
Charélin, Françoise	1971	Grenoble	Noël Gastinel	Doct. d'État :Mathématiques	Méthodes numériques de calcul des valeurs propres et vecteurs propres d'un opérateur linéaire
Betour-Zoghbi, I.	1971	Grenoble I	C. Benzaken	3 ^e cycle : Informatique	Etude et programmation de problèmes relatifs à la présentation d'un groupe
Petit, Marc	1971	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli spré informatique	Quelques programmes graphiques d'analyse numérique
Sury, Daniel	1971	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli spré informatique	Autocompilation et conceptualisation des langages de programmation
Tournier, Evelyne	1971	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli spré informatique	Un exemple d'utilisation du calcul formel sur ordinateur : méthode générale de localisation des racines d'une équation algébrique à coefficients complexes
Ducateau, C.-F.	1971	Grenoble I	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Maths appliquées	Etude de quelques problèmes d'interpolation.
Pastel, A.-M.	1971	Grenoble I	C. Benzaken	3 ^e cycle : Maths appliquées	Sur les fonctions logiques permutoires
Deschizeaux, P.	1971	Grenoble I	Louis Néel	3 ^e cycle : Physique	Contribution à la conception assistée par ordinateur des systèmes logiques
Carré, R.	1971	Grenoble I	J. Benoît	Doct. d'État	Contribution aux études sur l'analyse et la synthèse de la parole : rôle et importance des formants
Gilles, G.	1971	Grenoble I	R. Perret	Doct. d'État	Elaboration du modèle mathématique et commande optimale par ordinateur numérique d'un échangeur thermique pilote
Rouault, Jacques	1971	Grenoble I	B. Vauquois	Doct. d'État	Approche formelle des problèmes liés à la sémantique des langues naturelles
Van Cusem, B.	1971	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Éléments aléatoires à valeurs convexes compactes
Bouchet, A.	1971	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État :Mathématiques	Etude combinatoire des ordonnés finis
Desnès, J.-F.	1971	Grenoble I	M. Terrenoire	Doct. Ing.	Elaboration automatique d'emplois du temps

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Barnier, J.	1971	Grenoble I	R. Perret	Doct. Ing.	Etude du couplage d'un calculateur numérique industriel MAT 01 et d'un calculateur analogique ALPAM
Montagnon, J.-A.	1971	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. Ing.	Synthèses booléennes dans les réseaux cellulaires
Chupin, Jean-Claude	1971	IMAG		3 ^e cycle	Le traitement des commandes dans une partition conversationnelle Fortran sur IRIS 50
Bordier, Jérôme	1971	IMAG		3 ^e cycle: Informatique	Méthode pour la mise au point de grammaire LL(1) compilation / langage
Le Sourme, Mathurin	1971	IMAG		sciences appliquées	Système d'acquisition de données et de télétraitement géré par un petit calculateur
Waller, Paul-Marie	1971	Lille I		3 ^e cycle : Maths appliquées	C-Langages permutables et analyse syntaxique
Dufourd, J.F.	1971	Nancy I		3 ^e cycle	Traitement automatique de la gestion scolaire d'une université
Lescanne, P.	1971	Nancy I		3 ^e cycle	Etude de quelques théories des langages et généralisation du théorème de Kleene
Lecomte, Josette	1971	Nancy I	Guy Bourquin	3 ^e cycle, Linguistique	Traitement automatique de la discontinuité dans le syntagme verbal homogène en anglais scientifique écrit
Crérange, Marion	1971	Nancy I		Doct. d'État	Description formelle, représentation, interrogation des informations complexes: système Pivoines,
Le Beux, Pierre	1971	Paris		3 ^e cycle : Informatique	Conception d'un système multiprogrammé sur mini ordinateur assurant l'acquisition, le traitement local de données en temps réel et l'intégration à un réseau de temps partagé Pierre Le Beux
Viennot, Gérard	1971	Paris		3 ^e cycle : Informatique algébrique	Factorisations des monoïdes
Fradin, Michel	1971	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	Etude et réalisation d'opérateurs permettant par leur assemblage la construction de structures microprogrammées générales ou spécialisées. Etude théorique
Laurière, Jean-Louis	1971	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	Sur la coloration de certains hypergraphes: Application aux problèmes d'emploi du temps
Mossière, Jacques	1971	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique pratique	Allocation de ressources dans un système à accès multiples
Walter, John P.	1971	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique pratique	Precos, un nouveau système ordinateur pour la simulation socio-économique
Bossuet, Gérard	1971	Paris 6		Doct. Ing. Sc. math.	Etude et réalisation d'opérateurs permettant par leur assemblage la construction de structures microprogrammées générales ou spécialisées. Etude pratique
Giatlet, Philippe G.	1971	Paris 6		Thèse : Mathématiques	Fonctions de Green discrètes et principe du maximum discret
Cochet, Yves	1971	Paris 7	M. Nivat	3 ^e cycle : Maths	Sur l'algèbre des classes de certaines congruences définies sur le monoïde libre.

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Barbe, Claude	1971	Paris Orsay		Doct. Ing. : Maths	Système d'exploitation en temps partagé : étude d'un système de pagination programmé
Azam, Daniel	1971	Paris Orsay		Doct. Ing. : Sc. appli. Téléométrie spatiale, informatique	Exploitation optimisée d'un ordinateur d'acquisition de télémesures spatiales
Tarbouriech, Robert	1971	Paris VII		Informatique appliquée	Compilateur ALGOL : analyses syntaxique et sémantique
Fossouriet, J.	1971	Paris, LIMSI		3 ^e cycle: Physique	Etude de l'écoulement autour d'un profil en instationnaire
Marcoux, G.M.	1971	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Conception et réalisation d'un analyseur de signaux acoustiques complexes
Oliwa, M.	1971	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Automatisation d'un système de recherche alphabétique/Etude d'un codage
Zegadi, A.	1971	Paris, LIMSI		Doct. Ing.	Holographie acoustique/Méthode d'application aux sondages
Ta Phuoc, L.	1971	Paris, LIMSI		Doct. Sci.	Méthodes analogiques et numériques de simulation de phénomènes de transfert non linéaire
Cochet, Yves	1971	Rennes	Maurice Nivat	3 ^e cycle : Maths pures	Sur l'algèbre des classes de monoïdes de certaines congruences définies sur le monoïde libre
Nourrigat, Jean-François	1971	Rennes I		3 ^e cycle : Maths Pures	Interpolation et compacité
Geffroy, Jean-Claude.	1971	Toulouse		3 ^e cycle : Automatique :	Contribution à la synthèse des machines logiques séquentielles à l'aide d'éléments à seuil
Jaladieu, Henri	1971	Toulouse	C. Durante	3 ^e cycle : Automatique :	Contribution à l'analyse à l'aide d'ordinateur du comportement transitoire de circuits logiques intégrés
Castanié, Francis	1971	Toulouse		3 ^e cycle : Electronique	Conception et réalisation d'un corrélateur vidéo-fréquences à sources de nombres aléatoires
Maurice, P.	1971	Toulouse	Jean Donio	3 ^e cycle : Inf.& automatique	Un interpréteur APL pour le CII 90-80: le traitement de la ligne
Scholl, Pierre-Claude	1971	Toulouse	Jean Donio	3 ^e cycle : Inf.& automatique	Un interpréteur APL pour le CII 90-80: (les fonctions)
Briot, Maurice	1971	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude des convertisseurs continu-continu: réalisation d'un convertisseur à tension de sortie commandable
Faitrouni, Adib	1971	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Étude des lignes de courant dans un élément à effet Hall plan
Ketterle, Jeanine	1971	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique	Les problèmes posés par l'étude de la simulation d'un système hospitalier
Moré, Robert	1971	Toulouse	Siman, M., Raynaud, Yves	3 ^e cycle : Informatique	Contribution à la réalisation d'un interpréteur conversationnel pour le langage APL: Insertion dans le système multipupitre CAE 510
Litaize, Daniel	1971	Toulouse		3 ^e cycle : Informatique :	Tracé automatique de plaquettes de circuits imprimés en technologie multicouche haute densité
Raynaud, Régine.	1971	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique :	Contribution à l'étude de l'enseignement assisté par ordinateur sur un système multipupitre

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Labarthe-Vaquier, Christian.	1971	Toulouse	G. Pérennou	3 ^e cycle: Informatique	Banques de données: interrogation et structure
Lirwin, Witold	1971	Toulouse		3 ^e cycle: Informatique	Contribution à l'étude des séries temporelles : application au traitement des signaux d'origine cardiaque
Richard, Jean-Pierre	1971	Toulouse		doct. : Sc. appliquées	Contribution à la détection des pannes dans les circuits logiques
Faure, Jean-Claude	1971	Toulouse	Jean Donio	Doct. Ing. : Informatique	Entrées-sorties en documentation automatique
Leenhardt, Gisèle	1971	Toulouse	Michel Rirout	Doct. Ing. : Informatique	Étude par simulation des méthodes d'organisation des fichiers sur disques
Scholl, Michel	1971	Toulouse	Jean Donio	Doct. Ing. : Informatique	Contribution à l'étude d'un système informatique spécialisé à l'enseignement assisté par ordinateur: les tâches relatives à la communication élève/machine
Alquier, Anne-Marie	1971	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Étude et réalisation d'un numériseur d'images
Farreny, Henri	1971	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Édition automatique de schémas logiques
Ferrié, Jean	1971	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing.: Informatique	La gestion des processus dans un système à partage de ressources
Grandadam, Michel	1971	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Enseignement de la gestion des entreprises par la simulation
Hijazi, Mohamed	1971	Toulouse		Doct. Ing.: Informatique	Conception et réalisation d'un convertisseur digital analogique à effet Hall-plan
Lorho, B & Vatrux, M.	1971	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing.: Informatique	Étude et réalisation d'un analyseur générateur syntaxique appliqué à PL/I: analyseur générateur descendant et programmes de service
Vatrux, Michel	1971	Toulouse	H. Boucher	Doct. Ing.: Informatique	Étude et réalisation d'un analyseur générateur syntaxique appliqué à PL/I: analyseur générateur ascendant et modules de service
Donio, Jean	1971	Toulouse		Sc. math.	Contribution à l'analyse statistique et informatique des modèles stochastiques : application à l'apprentissage
Faitrouni, Adib	1971	Toulouse	M. Laudet		Étude des lignes de courant dans un élément à effet Hall plan
Courvoisier, M.	1971	Toulouse 3	C. Durante	3 ^e cycle : Automatique	Contribution à la détection et à la localisation des pannes dans les systèmes séquentiels
Roussel, Ph.	1972	Aix-Marseille		3 ^e cycle	Définition et traitement de l'égalité formelle en démonstration automatique
Sagaspe, Jean-Pierre Louis.	1972	Bordeaux 1		Doct. Ing.: Sc. appliq.	Identification d'un système linéaire multivariable : application à un processus industriel
Torres, Frederico	1972	Bordeaux 1		thèse d'université : Sc. appliquées	Contribution à l'étude du bruit dans les systèmes logiques : étude comparative du comportement des diverses technologies
Abdul Kader, Issam	1972	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Décomposition des fonctions booléennes
El-Kari, Yacoub	1972	Grenoble	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Informatique	Plateaux d'idempotents dans un monoïde : partie génératrice et associativité dans un groupeïde

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Lefebvre, Patrick	1972	Grenoble	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Informatique	SPY : un système de contrôle : la mise au point de systèmes de programmation grâce à un couplage de machines
Peyrin, Jean-Pierre	1972	Grenoble	J.-C. Boussard	3 ^e cycle : Informatique	Organisation d'un essai didactique en programmation élémentaire
Terrine, Gérard	1972	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Construction automatique d'analyseurs syntaxiques ascendants déterministes à partir de CF grammaires éventuellement non de contexte borné
Verdillon, André	1972	Grenoble		3 ^e cycle : Informatique	Pannes dans les réseaux acycliques
Cavarero, Jean-Louis	1972	Grenoble	B. Lussato	Doct. Ing. : Informatique	Modèle d'évaluation de systèmes d'organisation
Aussems, A.	1972	Grenoble I	P.-G. Ciarlet	Doct. Ing.	Une mise en oeuvre frontale des méthodes d'éléments finis
Pham Dinh, T.	1972	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli	Étude d'une classe de normes dans les espaces vectoriels à dimension finie générées par les normes des espaces fonctionnels de Banach
Veillon, F.	1972	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli	Quelques nouvelles méthodes pour le calcul numérique de la transformée inverse de Laplace
Lobry, C.	1972	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État : Mathématiques	Quelques aspects qualitatifs de la théorie de la commande
Martinet, B.	1972	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État : Mathématiques	Algorithmes pour la résolution de problèmes d'optimisation et de minimax
Trehel, M.	1972	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État : Mathématiques	Bornes dans un ensemble ordonné fini : produit contracté, applications
Latombe, J.-C.	1972	IMAG	J.-C. Sabonnadière	3 ^e cycle	Elaboration d'un système pédagogique d'assistance à la conception en électrochimie enseignement
Berlioux, Pierre	1972	IMAG		3 ^e cycle : Informatique	Étude d'automates et de grammaires de ramifications
Le Héiget, Jean-P.	1972	IMAG	Louis Bolliet	Doct. Ing. CNAM	Généralisation de la notion d'espaces virtuels sous les systèmes CP-67/CMS
Lapiquonne, Serge	1972	Lille I		3 ^e cycle : Mathématiques	Sur les ensembles de valeurs d'une information généralisée
Buffet, Jean.	1972	Lille I		3 ^e cycle : Maths	Études préliminaires à la compilation d'Algol 68
Kamran, Saïd	1972	Lyon I		3 ^e cycle : Informatique :	Allocation de ressources dans un réseau d'ordinateurs
Desgoutte, Pierre.	1972	Lyon I		3 ^e cycle: Electronique	Conception et réalisation d'un analyseur différentiel digital de type séquentiel
Adler, Hans-Joachim	1972	Lyon I		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Quelques méthodes d'utilisation des ordinateurs dans l'analyse des grands réseaux électriques
Auriol, P.	1972	Lyon I	J.-C. Sabonnadière	Doct. Ing.	Contribution à l'étude numérique des régimes transitoires dans les réseaux à très haute tension

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Bellegarde, F.	1972	Nancy I		3 ^e cycle	FACE, langage pour l'écriture des compilateurs, définition et implémentation
Carbannel, N.	1972	Nancy I		3 ^e cycle	Rôle des fonctions récursives dans la définition d'une langue naturelle, application à la syntaxe française
Germain, P.	1972	Nancy I		3 ^e cycle	Système de gestion et d'exploitation documentaire d'un corpus de dossiers médicaux
Maroldt, J.	1972	Nancy I		Doct. Ing.	Définition de Face, langage pour l'écriture des compilateurs, implémentation d'un sous-ensemble
Grassin, Jacques	1972	Orléans		3 ^e cycle : Maths Logique	Ensemble d'indices des combinaisons booléennes d'ouverts dont une clé est récursivement énumérable
Fortin, Michel	1972	Paris II Orsay	Roger Temam	3 ^e cycle : Maths appli	Calcul numérique des écoulements des fluides de Bingham et des fluides newtoniens incompressibles
Borsu, M.	1972	Paris II Orsay		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Adaptation du langage fortran au calcul dans une structure algébrique quelconque
Haziza, Elie	1972	Paris II Orsay		Doct. Ing.: Sc. appliquées	Système de poursuite automatique par laser (commandes par ordinateur en temps reel-simulation digitale)
Aboullker, Francis	1972	Paris II Orsay		Thèse : Sc. phys.	Etude du projet d'un calculateur modulaire travaillant en multitraitement
Thang, Zam Khen	1972	Paris II Orsay		thèse d'université : Sc. appliq.	et utilisation d'un modèle informatique de la planification pour les moyens de production en énergie électrique / Zam Khen Thang
Girault, Claude	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Informatique	La Gestion des tampons dans les systèmes à temps partagé
Mont-Reymaud, B.-M.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Maths appli	Arbrescences et logique à trois valeurs: Application à la modélisation et à l'enseignement de la logique du diagnostic
Robinet, Bernard	1972	Paris 6	Arsac & Nolin	3 ^e cycle : Maths appli	Sémantique des tableaux. Application au langage APL
Bacelar	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Analyse d'un algorithme de classification automatique
Descamps, J. M.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Depouillement automatique d'un spectre de fluorescence x par ordinateur
Dubus, D.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Evolution d'un système biomathématique
Flavigny, B.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Sur la detection a priori des erreurs dans les programmes
Fournier, A.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Transformée de hadamard. Application de la theorie de l'information a l'etude de l'operateur humain
Jambu, M.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Techniques de classification automatique appliquees a des donnees «sciences humaines»

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Lardillier, P.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Allocation de memoire non pagee
Laurent, J.-P.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Un programme qui calcule des limites en levant les indeterminations par des procedes heuristiques
Laval, C.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Distributeur dans un reseau de teletraitement
Patris, J.	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Questionnaires avec circuits
Pham Chi, Cong	1972	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. Appliquées	Analyse automatique de spectres de resonance magnetique nucleaire par des procedes heuristiques
Diday, E.	1972	Paris 6		Doct. d'État : Sc. appliquées	Nouvelles methodes et nouveaux concepts en classification automatique et reconnaissance des formes
Brandwajn, Alexandre.	1972	Paris 6		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Procédure d'exploitation pour une liaison UC-UC
Gibert, A.	1972	Paris 6		Doct. Ing. : Sc. appliquées	Techniques de construction des systemes informatiques de gestion
Mansour, Mounir	1972	Paris 6		Doct. Ing. : Sc. appliquées	Programmes de generation de tests pour la detection des pannes dans les systemes logiques combinatoires
Roche, Claude	1972	Paris 6		Sc. math. : Paris 6: 1972	Information utile en reconnaissance des formes et en compression de données : application à la génération automatique de systèmes de reconnaissance optique et acoustique
Fortin, Michel	1972	Paris 6		Thèse : Mathématiques	Calcul numérique des écoulements de fluides de Bingham et des fluides newtoniens incompressibles, par la méthode des éléments finis
Perrot, Jean-F.	1972	Paris 6	Schützenberger	Thèse : Mathématiques	Contribution à l'étude des monoïdes syntactiques et de certains groupes associés aux automates finis
Ung, Vincent.	1972	Paris 6		Thèse : Sc. phys.	Echanges d'informations dans un système : commande et liaison d'un disque magnétique
Djaguinian, J.-Y.	1972	Paris 6	René de Possel	thèse d'université : Maths appliquées	Étude et réalisation d'un système informatique d'exploitation d'un traceur de courbes
Herbulot, J.	1972	Paris 6	René de Possel	thèse d'université : Maths appliquées	Étude statistique de l'influence des facteurs de l'environnement pour la circulation sanguine
Reynal, M.	1972	Paris 6	René de Possel	thèse d'université : Maths appliquées	Étude et réalisation d'un système informatique d'exploitation d'un traceur de courbes
Waller, M.	1972	Paris 6	René de Possel	thèse d'université : Maths appliquées	

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
De Santis, F.	1972	Paris 6		thèse d'université : Sc. appliquées	Conception et mise en route par un ordinateur d'un algorithme pour réaliser un système de gestion des stocks et minimiser les coûts d'inventaire avec un modèle de recherche opérationnelle
Serfatì, Michel	1972	Paris 7		doctorat : Maths	Contribution à l'étude des matrices booléennes et postiennes
Demars, C.	1972	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Contribution à l'étude de la structure acoustique du grand chant du Gibbon Concolor
Lhuillier, D.	1972	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Sur un couplage entre le flux de chaleur et la force de friction mutuelle dans l'hélium superfluide
Theron, M.	1972	Paris, LIMSI		3 ^e cycle	Sur le programme EUCLID/création, manipulation et visualisation de formes tridimensionnelles dans un langage géométrique à génération dynamique
Checroun, A.	1972	Paris, LIMSI		Doct. d'État	Traitement et reconnaissance des formes par un ordinateur/Application à la cartographie
Oche, C.	1972	Paris, LIMSI		Doct. Sci.	Information utile en reconnaissance des formes et en compréhension de données/Application à la génération automatique de systèmes de reconnaissance optique et acoustique
Lienard, J.-S.	1972	Paris, LIMSI		Doct. Sci. appl.	Analyse, synthèse et reconnaissance automatique de la parole
Maria-Sube, R.	1972	Paris, LIMSI		Doct. Sci. appl.	Résolution de problèmes de jets rotationnels de révolution
Lebon, P.	1972	Paris, LIMSI		Physique	Un nouveau micromanomètre et ses conditions d'utilisation/Un régime nouveauté la décharge de Penning
Philippe, Anne	1972	Rennes 1			Complexe de Amitsur et descente finie non plate
Tanter, Alain	1972	S.l. : s.n.		3 ^e cycle : Sc. appliq.	Définition et résolution numérique d'un problème de contrôle optimal pour un système perturbé gouverné par des équations aux dérivées partielles (modèle min-max) / Alain Tanter
Caubet, René	1972	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Étude et réalisation d'un système informatique d'exploitation d'un traceur de courbes
Cazenave, Pierre-Yves	1972	Toulouse	R. Trémolières	3 ^e cycle : Informatique	Sur la résolution d'inéquations variationnelles paraboliques d'évolution
Marqué, Christian	1972	Toulouse	René Beauflis	3 ^e cycle : Informatique	Étude et amélioration d'enregistrements holographiques utilisés comme supports d'information
Massip-Pailhes, Louis	1972	Toulouse	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Étude et réalisation de masques générés par ordinateur pour le filtrage des fréquences spatiales
Blaizot, France	1972	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Étude et réalisation d'un interpréteur conservatoire appliqué à PL/I
Blaizot, Laurent	1972	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Étude et réalisation d'un interpréteur conservatoire appliqué à PL/I: traitement des commandes de conversation
Deransart, Pierre	1972	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Un analyseur syntaxique non déterministe et des traitements d'arborescences pour aider au développement de la documentation automatique
Sallé, Patrick	1972	Toulouse		Doct. Ing. : Informatique	Simulation et découpage automatique des systèmes logiques
Virassamy, Joseph	1972	Toulouse 3	G. Pérennou	3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude méthodologique des simulations de gestion

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Galinier, Michel	1972	Toulouse 3		Doct. d'État : Mathématiques	Le déterminisme dans les grammaires LR(K)-LL(K) - Sujet complémentaire : l'Effet Hall plan et ses applications informatiques
Moya Anica, Emmanuel F.	1972	Toulouse 3		Doct. Ing.: Trait. du signal	Numériseur automatique des coordonnées et des vitesses d'un objet image par traitement du signal vidéo
Bergman, M.	1973	Aix-Marseille	A. Colmerauer	3 ^e cycle : Informatique	Résolution par la démonstration automatique de quelques problèmes en intégration symbolique sur calculeur
Kanoui, H.	1973	Aix-Marseille	A. Colmerauer	3 ^e cycle : Informatique	Application de la démonstration automatique aux manipulations algébriques et à l'intégration formelle sur ordinateur,
Pasero, R.	1973	Aix-Marseille	A. Colmerauer	3 ^e cycle : Informatique	Représentation du français en logique du premier ordre en vue de dialoguer avec un ordinateur
Chappe, Daniel.	1973	Besançon	Fr. Lhote	Doctorat : Sciences de l'ingénieur	Régulation de processus à constantes réparties de type parabolique
Pimort, B.	1973	Clermont		Doct. Ing.: Sc. appliquées	Resolution numerique des equations integrales de volterra par des fonctions splines liees au procede d'interpolation d'hermite
Cachat, Roger	1973	Grenoble		Thèse. Ing.-CNAM	Mesures de performances d'un système de multiprogrammation dans un environnement paginé / Roger Cachat
Mazille, J.-E.	1973	Grenoble I	Y. Chapron	3 ^e cycle : Automatique	Etude et résolution numérique d'un problème d'acrothermochimie
De Caluwe, Rita	1973	Grenoble I	J. Du Masle	3 ^e cycle : Informatique	Etude du langage de commande et de contrôle pour le réseau d'ordinateurs SOC (Système d'Ordinateurs Connectés)
Zhiri, A.	1973	Grenoble I	Louis Bolliet	3 ^e cycle : Informatique	Mécanismes de base et réalisation de fonctions pour l'utilisation interactive d'un réseau d'ordinateurs
Baranger, Jacques	1973	Grenoble I	Noël Gastinel	3 ^e cycle : Maths appli	Quelques resultats en optimisation convexe
Bellino, Jacques	1973	Grenoble I	Louis Bolliet	Doct. d'État	Mécanisme de base dans les systèmes superviseurs : Conception et réalisation d'un système à accès multiples
Carasso, C.	1973	Grenoble I	Noël Gastinel	Doct. d'État	L'algorithme d'échange en optimisation convexe
Delobel, Claude	1973	Grenoble I	J. Kuntzmann	Doct. d'État	Contribution théoriques à la conception et l'évaluation d'un système d'informations appliqué à la gestion/ base de données
Netto, Paulo O.B.	1973	Grenoble I	A. Kaufmann		Contribution à l'étude et à la programmation des méthodes morphologiques de créativité
Bajzar, Victoria	1973	IMAG		3 ^e cycle	Etude de la compilation de BASEL, langage de la famille d'Algol 68

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Della Dora, Jean	1973	IMAG		3 ^e cycle	Sur quelques algorithmes de recherche de valeurs propres
Lamberterie, Xavier de	1973	IMAG	Claude Hans	3 ^e cycle : Informatique	Espaces virtuels et gestion de fichiers SGF / mémoire virtuelle
Lepeuve, Martine	1973	IMAG		3 ^e cycle	Application des graphes de programme à l'optimisation d'un modèle destiné à mesurer les performances d'un système d'exploitation
Leroudier, Jacques	1973	IMAG		3 ^e cycle	Une analyse de système performance
Poignac, Karen de	1973	IMAG		3 ^e cycle	Utilisation du langage CASSANDRE pour la conception des machines microprogrammées
Savary, Henri	1973	IMAG		3 ^e cycle	Outils de mise au point pour langages de haut niveau : association de modules et contrôle de l'exécution
Finet, Luc	1973	IMAG		3 ^e cycle : Informatique	Entrées/Sorties dans les système d'exploitation système / noyau
Hans, Claude	1973	IMAG		3 ^e cycle : Informatique :	Contribution à l'architecture de mécanismes élémentaires pour certains systèmes générateurs de machines virtuelles hyperviseur
Duc-Jacquet, Marc	1973	IMAG		Doct. ès Sciences, Maths	Approximation des fonctionnelles linéaires sur les espaces Hilbertiens autoreproduisants
Mazaré, Guy	1973	IMAG		Doct. Ing.	Projet SOCRATE - (8) Structure d'un système d'exploitation adapté à la base de données
Mermet, Jean	1973	IMAG		sciences appliquées	Etude méthodologique de la conception assistée par ordinateur des systèmes logiques : CASSANDRE
Nguyen, Thanh Thi	1973	IMAG		sciences appliquées	XCP : un environnement graphique conversationnel pour l'examen des structures d'un système, application à CP-67 XCP
Werner, Georges	1973	IMAG		sciences appliquées	Problème de décidabilité et d'effectivité en théorie de complexité
Du Bois de Meyrignac, B.	1973	Lille I		3 ^e cycle : Automatique	Étude et programmation d'un couplage entre une calculatrice hybride et un calculateur de processus
Tarte, Jean-Cl.	1973	Lille I		3 ^e cycle : Automatique	Étude et programmation d'un couplage entre une calculatrice hybride et un calculateur de processus
Lanciaux, Didier	1973	Lille I		3 ^e cycle : Informatique	Conception d'un système frontal à accès multiple
Chambaret, Yves.	1973	Lyon I	G. Malecot	3 ^e cycle : Informatique	Enslot 72: système temps partagé réalisé sur un petit ordinateur, pour l'initiation à l'informatique
Adamo, Jean-Marc	1973	Lyon I		3 ^e cycle : Informatique	Elaboration d'un système conversationnel pour l'enseignement assisté par ordinateur
Moreau, G.	1973	Lyon I		Doct. Ing.: Sc. appliquées	Methodes pour la resolution des problemes d'optimisation de découpe
Bouchet, Anne-Marie	1973	Montpellier		Thèse : Sciences	Réalisation d'un interface standard entre une structure de fichier chaîné et le système d'exploitation D.O.S.

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Jouin, J.-B.	1973	Nancy I		3 ^e cycle	Reconnaissance des fonctions primaires de la phrase anglaise
Mohr, R.	1973	Nancy I		3 ^e cycle	Modèle algébrique pour l'analyse syntaxique de figures
Veron, M.	1973	Nancy I		Doct. d'État : Sc. appliquées	Contribution à l'étude des surfaces numériques unisurf. Conditions de raccordement
Dendien, J.	1973	Nancy I		Doct. Ing.	Gestion statique de mémoire dans un système de programmation modulaire
Savary, René.	1973	Nancy I		Doct. Ing.	Un Système de stockage de l'information géotechnique sur ordinateur
Ben Am Ghar, L.	1973	Nancy I		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Instruction d'affectation et définition d'un métalangage dans le projet CIV4
Ducloy, Jacques.	1973	Nancy I		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Compilation dans le projet Civa
Lucas, André	1973	Nantes		Thèse : Droit	La protection juridique des créations industrielles abstraites
Laurgeau, Claude.	1973	Nantes		Thèse : Sciences physiques.	Contribution au développement de méthodes numériques et hybrides hors ligne et en ligne en informatique chimique
Raymond, F.H.	1973	Paris		doct. d'État: Sc. appliq.	Formalisation du concept de calcul. Application à l'informatique
Challine, J.-F.	1973	Paris II		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Etude d'un outil de mesures de performances pour un ordinateur fonctionnant en multiprogrammation
Gautron, T.	1973	Paris II		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Realisation d'un preprocesseur conversationnel à syntaxe apt simplifiée
Jeannet, J.N.	1973	Paris II		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Contribution à l'étude de transformations permettant la description générale et l'étude des systèmes échantillonnés non linéaires
Paul, D.	1973	Paris II		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Generateurs d'états imprimés (cobol iris 50)
Smoucovit, A.	1973	Paris II		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Conception et réalisation d'un interpréteur apl pour l'ordinateur cit mitra 15
Germain, F.	1973	Paris II		Doct. Ing.	Algorithmes continus de calcul de réalisations markoviennes : cas singuliers et stabilisé
Klein, Jean-Parrice.	1973	Paris II		Doct. Ing.: Informatique	Détection de changement dans les caractéristiques d'un processus à représentation gaussienne markovienne
Clerget, Michel.	1973	Paris II		Doct. Ing.: Sc. appliq.	Systèmes linéaires positifs non stationnaires
Baudet, G.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Etude du comportement d'un tambour soumis à des demandes de transfert groupées
de Boussineau, E.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Le superviseur miisfit, sous système de l'os/360
Hossard, D.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Application de la cybernetique à la détermination actuarielle des réserves des compagnies d'assurance

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Jakubowicz, H.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Analyse numérique d'un problème de jeu différentiel gouverné par des équations aux dérivées partielles de type parabolique
Vidal Niquet, G.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Sc. appliquées	Langages du deuxième ordre et automates d'arbres infinis : applications à la sémantique des programmes et à la complexité des algorithmes
Tabet, Nazih.	1973	Paris 6		3 ^e cycle : Stat. math.	Méthodes et techniques numériques et informatiques
Clement, M.	1973	Paris 6		Doct. d'État : Sc. appliquées	Recherches sur l'analyse des systèmes séquentiels et applications industrielles et biologiques
Deza, M.	1973	Paris 6		Doct. d'État : Sc. appliquées	Quelques travaux sur la combinatoire et la théorie du codage algébrique
Yvon, J.-P.	1973	Paris 6		Doct. d'État : Sc. appliquées	Etude de quelques problèmes de contrôle pour des systèmes distribués
Dumontet, Jacques	1973	Paris 6		Doct. d'État : Mathématiques	Algorithme de dérivation numérique : étude théorique et mise en oeuvre sur ordinateur
Gelenbe, Erol	1973	Paris 6	J.-L. Lions	Doct. d'État : informatique	Modèles de performances de systèmes informatiques
Kaiser, Claude	1973	Paris 6		Doct. d'État : Maths	Conception et réalisation de systèmes à accès multiple : gestion du parallélisme / Claude Kaiser
Krakowiak, Sacha	1973	Paris 6		Doct. d'État : Maths	Conception et réalisation de systèmes à accès multiple : allocation des ressources
Quadrat, Jean-Pierre.	1973	Paris 6		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Méthodes de simulation en programmation dynamique stochastique
Durif, F.	1973	Paris 6		Doct. Ing. : Sc. appliquées	Traitement de signal en enregistrement magnétique
Martin, A.V.J.	1973	Paris 6		Thèse : Biologie humaine	Conception, réalisation et utilisation des microcalculateurs destinés à l'enseignement
Allab, Kada	1973	Paris 6		Thèse : Mathématiques	Approximation d'opérateurs non linéaires et identification des systèmes déterministes ou aléatoires
Quang Hong, Hoang	1973	Paris 6		Thèse d'université	Contribution à la conception d'un système conversationnel d'enseignement
Fiajole, Ph.& Steyaert, J.-M.	1973	Paris 7		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Une formalisation de la notion d'algorithme de tri non récurrent
Carayannis, G.	1973	Paris 7		Doct. Ing. : Sc. appli. Physique	Analyse de la parole par identification récursive d'un modèle du système de phonation
Pogu, Marc	1973	Rennes	JC Nedelec	3 ^e cycle: Maths appliquées	Etude et résolution numérique d'une équation parabolique non-linéaire de type dégénéré
Marie, Raymond	1973	Rennes	Michel Métrivier		Maintenance en univers stochastique. Modèle et optimisation
Le Fou, Jean.	1973	Rennes I	JC Nedelec	3 ^e cycle: Informatique	Mesure et analyse de l'utilisation d'un système informatique
Verjus, Jean-Pierre	1973	Rennes I	Louis Bollet	Doct. d'Etat: Mathématiques	Nature et composition des objets manipulés dans un système de programmation

Auteur	Année	Université	Dir. de thèse	Diplôme	Titre
Chapuis, R.	1973	S.l. : s.n.		3 ^e cycle : Sc. appliq.	Realisation d'un analyseur syntaxique du langage cobol fonctionnant en temps partage
Tran Huy, Hoan	1973	S.l. : s.n.,		Doct. Ing. : Sc. appliq.	Programme de generation de tests pour les systemes combinatoires et sequentiels
Mencik, M.	1973	Strasbourg 1		Doct. d'Etat : Sc. appliquées	Contribution a l'etude et a la realisation de la commande numerique programme d'une oxycoupeuse
Torgue, Jean-Cl.	1973	Toulouse 3	J. Lagasse	3 ^e cycle : E.E.A.	Contribution à la minimisation des fonctions logiques
Jacquart, René	1973	Toulouse 3	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Contribution à la définition et à la réalisation d'un système intégré pour la C.A.O.
Chamoiseau, Miguel	1973	Toulouse 3	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Interprétation statistique des schémas de discrétation du filtre linéaire optimal pour des systèmes stochastiques d'évolution
Gaulier, Bernard	1973	Toulouse 3	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Contribution à l'étude de terminaux présentateurs d'images : le problème de la recherche aléatoire rapide
Martin, Bernard	1973	Toulouse 3	M. Laudet	3 ^e cycle : Informatique	Définition d'un software de microprogrammation pour une machine du type MITRA 15 et d'un processus orienté vers l'émulation
Peroy, Jean-Paul	1973	Toulouse 3	G. Pérennou	3 ^e cycle: Inf. de gestion	Étude, réalisation et implantation d'une base commune de données à partir d'une structure traditionnelle de fichiers
Rigal, Jean-Jacques	1973	Toulouse 3	G. Pérennou	3 ^e cycle: Informatique	Étude d'un système de gestion d'une base commune de données
Rodriguez, François	1973	Toulouse 3		Doct. Ing.: Automatique	Cônes d'accepteurs: application à l'étude d'une hiérarchie infinie de cônes rationnels de langages d'accepteurs vérificateurs
Bartel, Benjamin	1973	Toulouse 3		Doct. Ing.: Informatique	Terminal distributeur d'items sonores pour un poste d'enseignement assisté par ordinateur
Faure, Jean-François	1973	Toulouse 3		Doct. Ing.: Informatique	Contribution à l'étude de la gestion du personnel par la simulation
Chinal, Jean	1973	Toulouse 3		Thèse : Mathématiques	Théorie microanalytique des processeurs arithmétiques
Reynaud Garoche, Françoise	1973	Grenoble I	J. Kuntzmann	3 ^e cycle : Informatique	Théorie des écoulements dans les réseaux

SOURCES

A. ARCHIVES PUBLIQUES

Archives Nationales

- F17 bis/16142 MEN Grenoble Instituts
- F17 bis/ 14254, 14256, 14257, 14258, 14261, 14264 (versement 1977/1326)
Éducation Nationale, Mission Informatique, équipement et gestion des
centres de calcul universitaires, 1963-1975
- 19820/762/2 ATP Informatique d'organisation (1974-1976), Traitement d'images
(1975-1977)
- AJ/16/5738 Dossiers Maurice Fréchet, Adrien Foch, Esclangon
- AJ/16/5775 Dossier Instituts 1924-1941 ; rapport sur l'organisation d'un laboratoire
national
- AJ/16/5776 Institut de mécanique des fluides
- AJ/16/5822 CNRS Correspondance relative aux affectations spéciales 1938-1940
- AJ/16/5823 CNRSA 1940, Couffignal, CNRS-IHP
- F17 bis/16142 MEN Grenoble Instituts
- 78/0305/4 CNRS Directoire 1974
- 78/0309/24 RC 1964, préparation et Découpage CN 1964-1966
- 78/0309/25 RC 1963-1964, projets d'équipements, recrutement de programmeurs
- 78/0309/26 Redécoupage CN 1964-1966
- 78/0309/45 MEN, Chemise École polytechnique
- 78/0309/50 Correspondance bureaux de Londres et de New York
- 80/0284 – Versement du 22-7-1980 (fonds René-Bazin)
- 80/0284/5 IHP
- 80/0284/7 CNRS(A) laboratoires universitaires Paris, enquête 1938-1939
- 80/0284/8 CNRSA, 1939
- 80/0284/11 CNRS(A) laboratoires universitaires Paris, enquête 1938-1939
- 80/0284/14 Toulouse, rapport Trombe mobilisation 1939
- 80/0284/16 Archives IBP. Note COPEP 1963, politique scientifique et technologique
- 80/0284/17 RAMI: courrier de POSSEL, participation à l'ATP Informatique
- 80/0284/19 Comptabilité du RAMI, contrats DRME, DGRST
- 80/0284/21 Comité national 1960-1965
- 80/0284/24 Rapport Auger, Nations-Unies, 1960. Avis du CN.
- 80/0284/26 RAMI, CIRCÉ, relations/hôpital Foch, Paoli administrateur de l'IBP

- 80/0284/27 Archives de l'IBP, courrier, visites, vacations
- 80/0284/30 Chercheurs en informatique
- 80/0284/30 Haut comité de coordination des recherches scientifiques
- 80/0284/32 IHP
- 80/0284/39 CNRS Mobilisation scientifique 1939-1940
- 80/0284/40 Inventaire du matériel scientifique évacué en juin 1940
- 80/0284/52 Institut de mécanique des fluides
- 80/0284/53 Institut de mécanique des fluides
- 80/0284/55 CNRS 1944-45, réorganisation
- 80/0284/56 CNRS 1944-45, Mission navale aux USA, recherches/missiles, guidage
- 80/0284/57 Mission en Grande-Bretagne : Rapkine, Hadamard, Valensi, Germain.
- 80/0284/60 Rapport Auger sur les tendances principales de la recherche, ONU, 1960, Avis du CNRS.
- 80/0284/69 IHP
- 80/0284/71 IHP
- 80/0284/74 archives du CNRSA, liste des brevets
- 80/0284/99 Directoire 1944-50.
- 80/0284/101 CNRS Plan quinquennal : 1948, 1951
- 80/0284/102 Institut d'optique
- 80/0284/104 Commission de la recherche scientifique et technique du Plan, 1954
- 80/0284/105 Commission de la recherche du II^e Plan, 1953-1954
- 80/0284/107 Rapports d'activité du CNRS 1944-1959 (manque 1954-1955). Rapport Lemerle sur le fonctionnement du CNRS et sur son personnel, 1958.
- 80/0284/112 CNRS 1950-65 : effectifs, budgets, résultats scientifiques, relations/industrie et enseignement, rapport quinquennal d'activité 1950-1955.
- 80/0284/115 Achats de la Mission CNRS en Allemagne, distribution aux laboratoires
- 80/0284/116 CNRS Mission en Allemagne 1945-1950
- 80/0284/117
- 80/0284/118 CNRS
- 80/0284/119
- 80/0284/122 CNRS Achats à l'étranger
- 80/0284/126 CNRS Recherches concernant la Défense Nationale 1946-1950
- 80/0284/141 colloques du CNRS et Fondation Rockefeller
- 80/0284/146 colloques du CNRS et Fondation Rockefeller
- 80/0284/149
- 80/0284/183 Prép. II^e Plan : appareillage scientifique ; ressources et moyens. Angleterre
- 80/0284/201 Conventions CNRS/divers organismes
- 80/0284/205 CNRS 1944-45: Comité directeur.
- 80/0284/209 CEMA et Groupe de Calcul Numérique 1944-1954

- 80/0284/226 CNET : Études, réunions, 1954
 80/0284/227 Rech. aéronautique, électronique (semi-conducteurs), ONERA 1945
 81/0401/60 SOGREAH
 RE 130/11-257 Note de l'Institut d'optique au CSRSPT sur la préparation du III^e Plan

Archives de la DGRST

Archives du CSRSPT et des actions concertées « Électronique » et « Calculateurs »

- 77/323/717 Rapport d'activité 1962 - Comité électronique (mars 1963)
 77/321/323 995 Archives du CSRSPT
 77/321/323 42
 77/321/323 189
 77/321/323 346
 77/321/323 352
 77/321/323 537-538
 77/321/323 710-713
 77/321/323 716-728
 77/321/323 970
 77/321/323 996
 77/321/323 1002-1004
 77/321/323 1029
 77/321/323 1070-1075
 77/321/323 1180-1184
 77/321/323 1544
 77/321/323 1719
 77/321/323 1721-1724
 77/321/323 1726
 81/0244 110-111.
 81/0401 54-79 PV CCRST 1958-1964. 63-157 : CCRST 1965-1966. 55/128 et 132
 81/0401 734/CC3 Correspondance concernant la mission Saint-Geours
 81-0428-1 CNRS, dossiers de laboratoires, 1971
 81/479-27
 RE 67/4,43
 RE 67/2, 43.4
 RE 77, 1-3
 RE 111, 29-31
 RE 122/8
 RE 122/13
 RE 130/30-560-2 Commission de la recherche scientifique et technique du Plan, 1954
 RE 196/5

Archives économiques et financières - Ministère de l'Économie et des Finances

Inventaire Budget/Contrôle financier

- B 30.960 CNRS (1967-1970), IRIA 1968 - rapport du contrôleur financier
B 30.966 dossier PTT 1957-1963

Trésor

- B 16.064 CEA achat en devises de matériel scientifique (1946-1955)
B 8976 et 8977 Avances aux entreprises travaillant pour la Défense (1939-1940)
10 D 2364 (extraits) id. Régularisation de la conjoncture - électronique, 1964-1965

Services historiques des Armées

Service historique de l'Armée de terre

- 2 N 136/1 Haut comité de coordination des recherches scientifiques 1939
6 N 327/3 Caisse nationale des recherches scientifiques
6 N 328/1 CNRS 1939

Service historique de l'Armée de l'air

- E 2132 ONERA 1946-1960
E 2136 Matra 1950-1961
E 2141 SNCASE-SO 1948-1961
E02 vol. I Secr. d'État Air, cab. militaire
E 2768 Comité permanent de l'automatisation dans l'Armée de l'air, 1959-1963
E 2838 DAT, radar, Eurocontrol 1960
E 2844 CASDN et bureau scientifique
E 2845 ONERA
E 2846 ONERA
E 2850-51 CTPFA : télécom, DAT, CASDN
E 2863 Dassault ; SNCANord 1949-1954
E 2864 SNCASE 1947-1960
E 2865 SNCASO et SNECMA 1947-1960

Archives du CNRS

Rapport d'activité, RA : série complète, de 1950 à 1986.

RA 1945-1946

Rapport de conjoncture, RC : série complète, de 1959 à 1984.

Le CNRS, Documentation française, Notes et études documentaires, n° 608,
25 avril 1947.

Le CNRS, Documentation française, Recueils et monographies, 15 juillet 1952,
PV du Directoire, 1950-1969.

PV du Conseil d'administration.

Listes des membres des sections et du corps électoral du Comité national.

PV des sections du Comité national ayant assumé la tutelle de l'informatique :

s.3 : juin 1963, avril 1965, novembre 1965, octobre 1966. s.1 : mars 1971. s. 1 et 3 : octobre 1975.

Archives du CNRS consultées à la Cité des archives contemporaines, Archives nationales :

- 85/0505-4
- 85/0505-5
- 85/0505-9 Correspondance DG - chemise « Kuntzmann »
- 85/0505-13 Correspondance DG (O à P)
- 85/0505-14 Correspondance DG (P à R)
- 85/0505-21 Redécoupage du CN
- 85/0505-23
- 85/0505-24
- 85/0505-27
- 85/0505-31 Terminologie informatique. Commission d'implantation des calculatrices, 1960-1965. Divers IBP.
- 85/0505-53 Comité de rédaction du *Mémorial de l'artillerie française*. CD du CETA 1960
- 85/0505-54 PV CN 1965-1966, dont s.3 et 10 et COMIRO
- 85/0505-58 PV CN 1969, manquent PV s.1 et 3
- 85/0505-59 PV CN 1970, manquent PV s.1 et 3
- 85/0505-60 PV CN 1971, manque PV s. 3
- 85/0505-65 PV CN 1975
- 85/0505-66 PV CN automne 1975 s.1 et 3
- 85/0505-107 Rapport d'activité CNRS 1944-1959 : projets. Redécoupage du Comité national 1964-1966.
- 85/0505-140 Laboratoires, CIRCÉ
- 85/0505-141 Laboratoires propres « C »
- 85/0505-152 MEN, Mission à l'Informatique (W. Mercouroff)
- 85/0505-155 Correspondance DG - services
- 85/0505-167 PV CD 1967-1975
- 85/0505-167 Relations Recherche-Industrie
- 85/0505-209 Centre d'études de mathématiques appliquées. Institut Henri Poincaré.
- 86/0369-34 PV Dir. 1969-1970, contient liste des formations avec leurs moyens depuis 1966
- 86/0369-50 PV Dir. 1967-1979.
- 82/0704-1 PV CN 1976 et 1977

85/195-77 Rapport du COMIRO. Commission d'implantation des calculatrices, 1963-1964.

Aucune archive n'a été versée par le directeur général du CNRS de 1950 à 1957, Gaston Dupouy. Les archives des directeurs scientifiques Georges Jobert et Wladimir Mercourroff, notamment leurs dossiers « informatique », n'ont pas été entièrement versées.

Archives de l'École normale supérieure

930595/43 Centre de calcul

930595/50-52 Centre de mathématiques appliquées, Laboratoire d'informatique de l'ENS, Département mathématiques et informatique

Archives de l'Observatoire de Paris

Ms. 1061 11-2 D Archives du directeur A. Danjon, dossier sur la création de l'Association française de calcul numérique, projet d'une conférence internationale du traitement de l'information en Europe, CR du *Colloque sur la formation des ingénieurs et des mathématiciens en analyse numérique sous le point de vue des machines mathématiques* (Munich, mai 1957).

638

Archives de l'Institut de programmation de Paris VI

(non classées) /histoire institutionnelle et technique de l'informatique au CNRS (Institut Blaise Pascal) et à la faculté des sciences de Paris

Archives du laboratoire de Physique de l'ENS

Journal du laboratoire de physique de l'ENS,

Archives du laboratoire Rocard

Archives de l'Académie des sciences

Compte-rendus *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*

Fonds 42 J, boîte 33

Dossiers Borel, Darmois, Fréchet, Valiron, etc.

Dossiers de prix et de médailles : Blondel, Hirn, etc.

Archives du rectorat de Paris

AG5 IHP

Archives de l'École polytechnique

PV du Conseil de perfectionnement (1960-1969)

PV du Conseil d'instruction, section Mathématiques et Mécanique (1959-1969).

Dossier 730 : Crédits, matériels et locaux pour informatique

Archives du Centre national d'études des télécommunications

- Rapports d'activité DRCT (1941-1943),
Rapports d'activité annuels - Compte-rendu général des études de télécommunications
menées par les services de recherches ministériels (1951-1962)
Carton Archives constitutives (1946-1949)
Carton 6 RA 1
Programmes de recherche (1947-1972).
Carton 30 Études : correspondances et rapports divers 1943-1947, programmes de
recherche (1947-1972).
Programme général des études pour chaque année (1947-1962).
Carton 67 Dossiers Recherches acoustiques et fiabilité des composants.
Archives Fonds Histoire
Comité du CNET PV de réunions (1950 à 1960).
CCTI puis CCTU, PV de réunions (1946 à 1960).
Programme général des recherches RME (1961).
Notes techniques

Archives de l'ONERA, Châtillon

- PV du conseil d'administration et du conseil scientifique
Notes techniques
Photothèque et DSPG de l'ONERA

Archives de l'EPSHOM-Brest, service hydrographique et océanographique de la Marine

ECAN Lorient, archives de la commission de Gâvre

Institut national de la propriété industrielle (INPI)

BOPI - Statistiques 1959-1967

Table des brevets par nom de déposant (1920-1967)

Table des brevets par matières (Catégorie XII-3 : « Poids et mesures, instruments de
mathématiques, compteurs et procédés d'essais ») : Dépouillement complet des
années 1920-1960

Archives départementales

Archives départementales du Doubs (Besançon)

- 1396w 1 PV conseil de l'Université ; budget détaillé de l'Université 1972 : contrats
1396w 16-48 documents préparatoires au budget de l'Université (1971-1985)
1396w 73 centre de calcul universitaire et laboratoire d'informatique
1242w 134-135 comptes et budgets de la faculté des sciences (1966-1969)

- 1242w 142 enquête DGRST sur les centres de recherche universitaires en Franche-Comté
- 1242w 145-146 rapports annuels de situation et travaux sur l'enseignement supérieur (1947-1966)
- 1242w 187-188 Observatoire (1944-1968).

Archives départementales de Meurthe-et-Moselle

- W 1018 dossier 119

Archives départementales de l'Isère - Archives de l'IMAG, Grenoble.

- IMAG 06 Correspondance Kuntzmann 1958-60
- IMAG 07 Correspondance Kuntzmann 1961-65
- IMAG 12 COPEP 1960-1964
- IMAG 14 DGRST 1963-69
- IMAG 25 contrats et RCP 1963-1977
- IMAG 33 IRIA, réseaux, école d'été, CA 1973-1976, RA, bulletins de liaison
- IMAG 37 groupes de travail, CNET, Bull, colloque EDP 1965, Anvar
- IMAG 38 AFCET, VI^e Plan, DRME 1970s
- IMAG 133 ADR comptabilité 1961-1980
- IMAG 161 CAB 500
- IMAG 186 Contrats DGRST 1963-65
- IMAG 187 Contrats DGRST 1966-1967
- IMAG 198 Contrats DRME 1966
- IMAG 199 Contrats DRME 1967-1968
- IMAG 200 Contrats DRME 1968-1970
- IMAG 209 Contrats CEA 1966-1968
- IMAG 234 Contrats ADR 1963

640

B. ARCHIVES PRIVÉES

Archives de Saint-Gobain, Blois

cote 45985 (n) PV du conseil d'université de Nancy

Archives historiques Bull, Bobigny (Archives de Seine-Saint-Denis)

Fonds documentaire de l'ACONIT (Grenoble).

Archives personnelles de F.-H. Raymond.

Archives personnelles de W. Mercouroff sur l'informatique au CNRS dans les années 1970, la Mission à l'informatique du MEN, les débuts de l'informatique dans les lycées. Archives personnelles de Geneviève Coulmy sur l'IBP et la machine de Couffignal.

C. ARCHIVES ÉTRANGÈRES

Grande-Bretagne (British Library)

Science and Engineering Research Committee, Computer Science Committee.
DSIR, *1949 Annual Report*, Her Majesty's Stationary Office, London.
Report of a Conference on High Speed Automatic Calculating Machines, Cambridge, 1949.
Congrès du National Physical Laboratory, mars 1953 (inauguration de l'ordinateur ACE Pilot), *NPL. Automatic Digital Computation*, Her Majesty's Stationary Office, London, 1954.

États-Unis

Charles Babbage Institute, Minneapolis (Mn) :

Charles Babbage Institute Oral History Collection
Thèses et documents variés conservés au CBI

Archives AGARD conservées au Caltech, Pasadena (Ca) :

AGARD General Assemblies 1958-1960
AGARD General correspondence 1952-1958

Signalons aussi les excellentes ressources progressivement mises en ligne pendant que ce travail se poursuivait, notamment : le *Bulletin Spécif*, Numdam (archives de revues mathématiques numérisées), le site de la Société mathématique de France (membres et publications), l'annuaire des ingénieurs du Conseil national des ingénieurs et scientifiques de France (CNISF).

D. ENTRETIENS ET CORRESPONDANCE

Pierre Aigrain (labo. Rocard, CSE, DGRST, DRME, direction des Enseignements supérieurs).
Évelyne Andreevsky (centres de calcul université de Paris), novembre 1994.
Jacques Arsac (astrophysique, Institut Blaise Pascal, Paris-VI), 25 mars et 27 mai 1987, décembre 2008.
Jean-Cl. Barbance (artillerie, DEFA, DMA, Polytechnique-Dir. des études, SEMA, Délégation à l'informatique), 1991, 1995, 1997, 4 février 1999.
Maurice Bataille (ONERA, Bull), 1990, 1992.
Wilfried de Beauclair (Darmstadt TH), 1991.
Philippe Becker (Logabax), 6 octobre 1986.
Jean Bellec (Bull), 1995, 11 Mars 1997, 1998, 7 janvier 1999.
Jacques Bénas (CNET), 1989.
Claude Benzaken (IMAG), 23-24 novembre 1996.
Maurice Bernard (CNET), 2005.
Michel-Yves Bernard (électronique, CNAM), 1990.

- André Berroir (mécanique, physique du globe, CNRS), 1996.
- André Blanc-Lapierre (DCA, CNET, universités d'Alger et de Paris), 16 novembre 1994, 19 mars 1997 (ce dernier entretien mené avec Jérôme Ségal et mis en ligne : <www.mpiwg-berlin.mpg.de/staff/segal/thesis/thesehtm/entret/blanclap.htm>).
- Laurent Bloch (CNAM, Institut Pasteur), 8 novembre 1993.
- Marcel Boiteux (EDF), 1993.
- Louis Bolliet (université de Grenoble-IMAG), 1988, 1990, 1992, 2008.
- Jean Bosmorin (fac. sciences Lille, IUT Montpellier), 2008.
- Henri Boucher (Génie maritime, ECAN Ruelle, CCSA), 1988, 1990, 1995.
- José Bourboulon (Bull, Cap-Gemini-Sogeti), 5 mars 1996.
- Jean Bouzitat (mathématicien ONERA, université), 14 décembre 1992.
- Georges Brillouët (mathématiques appliquées, ENSM puis doyen, Nantes), 1991.
- Jean Brodin (LRBA, SEA), 1993.
- Jean-Pierre Brulé (CSF, IBM, Bull), 28 mai 1991, 6 janvier 1993, 28 novembre 1995, 1998.
- Michel Brunet (RTC-Coprim), 26 avril 1993.
- Jean Carteron (SRCT, EDF, SEMA, STERIA), 1989, 1990, 7-2-1995, 17-11-1995, 1996, 16-6-1998.
- François du Castel (CNET), 1997, 1999.
- Roger Cayrel (astrophysicien), 21 novembre 2008.
- Monique Chabre-Peccoud (Sogréah, université de Grenoble), 2008.
- Robert J. Chapuis (Télécom), 1995.
- Jérôme Chastenet de Géry (ONERA, CNAM), 16 décembre 1992, 12 juillet 1994.
- Alain Chaverebière de Sal (Centre d'essai des torpilles, Toulon, CPM, SYSECA), 28-10-1997.
- René Chevance (CNAM, Bertin, CII, Transac, Bull, Paris VI), 5-9-1995, 16-11-1995.
- Pierre Colombani (STAé-ES, SEREB), 1996.
- Pierre-Louis Couffignal (fils de Louis Couffignal), 15 avril et 22 décembre 1988.
- Geneviève Coulmy (mathématicienne à l'IBP, puis au LIMSI), 30 avril 1988.
- Jean Coulomb (physique du globe, DG CNRS, CNES), 1986 et 16 novembre 1994.
- Philippe Courrège (mathématicien, CNRS), 7 juin 1988.
- Pierre Creyssel (Conseiller d'Etat, DAF du CNRS), 20 mars 1986.
- Bernard Damgé (CNRS), 26 septembre 1985.
- André Danzin (CSF, Thomson, Fininfor, INRIA), 1985, 1990, 1998, 1999.
- Michel Depaix (prof. Nancy), 2008.
- Rémy Després (CNET), 2008.
- Alain Desrozières (INSEE), 1996.
- Jacques Dondoux (CNET), 12 décembre 2001.
- Yves Druet (ONERA, Alcatel), 2 février 1993.
- Jacques-Émile Dubois (chimie, DRME, Paris VII), 1999.

Jean-Jacques Duby (IBM, IBP, IMAG, CNRS, AGF, Supélec), 1985, 1988, 1990, 2009.
 Émile Durand (université de Toulouse), 21 mars 1996.
 Lucien Duverger (Bull), 1991.
 Max Fontet (LITP, CNRS), 26 novembre 1986.
 Anita Gagny (traduction automatique), 25 mai 1987.
 François Genuys, 1985, 8 janvier 1988, 1991, 1995, 2008, 9 mars 2009.
 Paul Germain (Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences), 30 novembre 1995,
 11 décembre 1997.
 Roger Godement (mathématicien), 1998.
 Georges Goudet (CNET, université de Nancy, groupe ITT-France), 4 octobre 1993.
 Lord Halsbury (NRDC), 1^{er} juillet 1991, 28 avril 1992.
 Paul-Louis Hennequin (Univ. Clermont), mars 2009.
 Colette Hoffsaës (sociologue, AFCET), 1990.
 Jack Howlett (Atomic Energy Authority, Ferranti, ICL), 1^{er} juillet 1991, 10 janvier 1994,
 5 avril 1995.
 Dickran Indjoudjian (CNET, cab. ministre PTT, Paribas), 17 juin 1994.
 Michel Jacob (EDF), 1990.
 Pierre Jacquinet (laboratoire Aimé Cotton, DG CNRS), 25 mai 1986, puis avril-mai
 1987 avec J.-F. Picard.
 Georges Jobert (sciences de l'Univers, DG adjoint CNRS), 12 novembre 1986.
 Claude Kaiser (Génie maritime CPM, prof. CNAM), 2007, 2009.
 Gaston Kaleski (X 1926, PC), 7 mars 1997.
 Arnold Kaufmann (Recherche opérationnelle, armée, université de Grenoble), 1989.
 Yvon de Kergrohen (Bureau des longitudes), 12 avril 1994.
 Albert Knipper (Centre nucléaire, Strasbourg).
 Jean Kovalevsky (astronome), 22 janvier 2001.
 Jean Kuntzmann (IMAG), 1988, 1990, 1991.
 Jean-M. Laborde (mathématicien, université de Grenoble), 23-24 novembre 1986.
 Daniel Lacombe (mathématicien, prof. Paris VII et CNAM), 1992.
 Jean Lagasse (université de Toulouse, LAAS, CNRS, Régie Renault), 18 novembre 1986
 (entretien conduit avec J.-F. Picard).
 Robert Lattès (mathématicien ENS, Paribas, CEA), 4 décembre 1986.
 Jean Legras (université de Nancy).
 Gérard Lehmann (SADIR-Carpentier, LMT, groupe CGE), 1996.
 Pierre Lelong (Institut Henri Poincaré, université de Paris, DGRST), 10 novembre
 1993, 16 octobre 1995.
 J.-L. Léonhardt (IUT de Lyon, CNRS-LISH), 22 novembre 1995.
 Jacques Lesourne (SEMA), 21 janvier 1993.
 Christian Lhemann (CII), 16 et 23 juin 1993.
 Louis-Joseph Libois (CNET, DGT), 1989, 1990.

- André Lichnérowicz (mathématicien, cabinet Mendès-France, CNRS, IRIA), 14 mai 1986, 1995.
- Jacques-Louis Lions (mathématicien, Nancy, Paris, CNRS, CEA, INRIA, Polytechnique), 20 novembre 1986.
- Lucien Malavard (université de Paris, ONERA, Académie des sciences), 12 octobre 1987.
- Nicolas Manson (IBM France, École Centrale), 15 mai 1992.
- Pascal Maroni (mathématicien, IBP, université Paris VI), 3 mars 1986.
- Wladimir Mercouroff (physicien, Orsay, MEN, CNRS, ENS), 14 novembre 1986 et 10 avril 1990.
- Édouard Moreau, (informatique et mathématiques appliquées au CEA « militaire »), 1996.
- René Moreau (CASDN, université de Paris, Développement scientifique IBM), 1992, 1996.
- Paul Namian (SEA, IMAG, CNAM), 1989.
- Pierre Naslin (LCA, ENSA, OTAN), 1989, 1995.
- Maurice Nivat (informatique théorique Paris), 16 novembre 1994, 12 janvier 2009.
- Louis Nolin (IBP, INRIA), 24 juin 1986, 6 juin 1994.
- Claude Pair (université de Nancy, CNRS), 1986.
- Monique Pavel (Bull, faculté des sciences de Paris), 1993.
- Michel Parreau (université de Lille), 6 juillet 1993.
- Marc Pélegrin (STAé-ES, Sup'Aéro, CERT), 15 décembre 1997.
- Jean Peltier (mathématicien à l'IBP, puis à la CFP), 19 avril 1987.
- René Perret (Grenoble, INPG, LAG), septembre 1989, juin 1994.
- Georges Phélizon (LCT), 2 novembre 1993.
- Pierre Poulain (Inspecteur de l'Enseignement technique), 1996, 1997.
- Bernard Pronier (ECP 1951, LRBA, Philips-Coprim, ISEN, Léonard), juin 1993.
- Alain Profit (CNET), 22 mars 2002.
- François-Henri Raymond (CR Marine Toulon, industrie électrique, SEA, CII, Thomson, CNAM), janvier 1986, 8 et 29 décembre 1994, 6 juillet 1998.
- Guy Renard (labo. Malavard, LIMSI, INRIA), 1990, 1993.
- Alice Recoque (ESPCI, SEA, CII, Bull), février 1998, 2006.
- Jean-Louis Rigal (astronome, fac. sc. Besançon, univ. Dauphine), 5 novembre 1986.
- Jacques Riguet (mathématicien), 1997.
- René Rind (Centrale, IBM), 17 février 1993, 11 mars 1997, 2005.
- Jean Rivallier (Institut Blaise Pascal, Paris-VI, LIMSI), 31 mars 1987.
- Yves Rocard (ENS, STAé, Marine, CEA), 30 mars 1991
- Jean Rose (cristallographe, université de Paris), 1989.
- R. P. François Russo (hist. des sciences), 1986.
- Raymond Saint-Paul (CNAM), 28 juin 1988.

François Sallé (Supélec, Bull, CII), 7 novembre 1986, 1992, 2006.
Jean Salmon (mathématiques appliquées, CEA et CNAM), 18 mai 1993.
Fernand Scheurer (nucléaire Strasbourg), 1994.
Marcel-Paul Schützenberger (mathématicien, Poitiers, Paris & MIT), 1986.
Aimé Sestier (DEFA-LCA), 20 octobre 1994.
J.-C. Simon (physicien, CSE, Univ. Paris), 1994.
Jacques Stern (STTA, SESA, Bull, Sycomore), 30 mars 1999
Jean Suchard (CNRS-IBP, Univ. Paris), 1990.
René Taton (historien des sciences), 1993.
Pierre Thellier (ECAN Ruelle, CPM, SYSECA), 28 octobre 1997.
Robert Vallée (IBP, cybernétique), 16 juillet 1992.
Jean-Pierre Verjus (prof. d'informatique Grenoble, CII-HB), 1990.
Maurice Wilkes (université de Cambridge, Olivetti), août 1989.
Martin Zerner (mathématicien, universités de Marseille et de Nice), janvier 2009

SOURCES IMPRIMÉES

646

- Actes des 2^e Journées internationales de calcul analogique/ 2nd International Analogue Computation Meeting*, (Strasbourg, 1-6 septembre 1958), Paris, Masson, et Bruxelles, Presses Académiques Européennes, 1959.
- AGGARWAL N.-L. & B. BOUCHON, « Chronique sur la théorie de l'information », *RAIRO*, 1979, vol. 13, n° 4, p. 379-381.
- AIGRAIN Pierre, *Simple propos d'un homme de science*, Paris, Hermann, 1982.
- AFCAL-IFIP, *Traitement numérique de l'information*, Paris, Dunod, 1960.
- An., « Jean Leray (1906-1998) », *Gazette des mathématiciens*, supplément au vol. 84, 2000.
- An., *De la radioastronomie à la didactique de l'informatique. Journée en l'honneur de Jacques Arzac*, Paris, Publications de l'Institut Blaise Pascal, 1991.
- An., *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trim. 1967.
- AUROUX Alain, Jacques BELLINO & Louis BOLLIET, « Diamag, a Multi-access System for On-line Algol Programming », *Proc. AFIPS*, New York, Spartan Books, 1966, SJCC, vol. 28.
- ANTOINE Gérald et Jean-Claude PASSERON, *La Réforme de l'Université*, Paris, Calmann-Lévy, 1966.
- ARON Raymond, *Mémoires. 50 ans de réflexion politique*, Paris, Julliard, 1983.
- ARSAC Jacques, *Transformation de Fourier et théorie des distributions*, Paris, Dunod, 1961.
- ARSAC Jacques, André LENTIN, Louis NOLIN, Maurice NIVAT, *Algol, théorie et pratique*, Paris, Gauthier-Villars, 1965.
- ARSAC Jacques, « À propos de la réforme de l'Enseignement », *Progrès et Science*, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trimestre 1967.
- ARSAC Jacques, *La Conduite des ordinateurs*, Paris, Dunod, 1968.
- ARSAC Jacques, *La Science informatique*, Paris, Dunod, 1970.
- ARSAC Jacques, *Les Machines à penser*, Paris, Le Seuil, 1987.
- ARSAC Jacques, *Un informaticien. Entretien avec Jacques Vauthier*, Paris, Beauchesne, 1989.
- AUERBACH Isaac L., « The Start of IFIP: Personal Recollections », *Annals of the History of Computing*, 1986, vol. 8, n° 2, p. 180-192.
- AUGER Pierre, *Recherche et chercheurs scientifiques*, Paris, PUF, 1960.
- BACCHUS Pierre et Pierre POUZET, « Autoprogrammation pour calculateur Bull Gamma ET : APB », *Chiffres, Revue française de traitement de l'information*, 1964, n° 1, p. 3-14.
- BARRÈS Maurice, « Que fait l'Université pour la recherche scientifique ? », *Revue des deux mondes*, janvier 1920.

- BASILE Robert & R. JANIN, « Résolution de systèmes d'équations linéaires algébriques et inversions de matrices au moyen de machines de mécanographie comptable », *Publications de l'ONERA*, 1949, n° 28.
- BASS Jean, *Cours de Mathématiques*, Paris, Masson, 1956.
- BEAUCLAIR Wilfried de, *Rechnen mit Maschinen. Eine Bildgeschichte der Rechentechnik*, Braunschweig, 1968.
- BÉGUIN Albert, Georges Th. GUILBAUD, R. P. Dominique DUBARLE, Paul CHAUCHARD, « Machines à penser », *Esprit*, septembre 1950.
- BELL Gordon & Allen NEWELL, *Computer Structures: Readings and Examples*, New York, Mac Graw Hill, 1971.
- BEMER Robert W., « A Politico-Social History of Algol », dans Mark I. HALPERN & Christopher J. SHAW (dir.), *Annual Review in Automatic Programming*, London, Pergamon, 1969, vol. 5, p. 151-237.
- BERGE Claude, *Théorie des graphes et ses applications*, Paris, Dunod, 1958.
- BERNANOS Georges, *La France contre les robots*, Paris, Plon, 1948.
- BERTIN Jack, Michel RITOUT et Jean-C. ROUGIER, *L'Exploitation partagée des ordinateurs*, Paris, Dunod, 1967.
- BIOT Maurice A. et Theodor VON KÁRMÁN, *Mathematical Methods in Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1940.
- BIPE, *Les Besoins en personnel des centres de traitement électronique de l'information durant le V^e Plan*, Paris, étude pour le Commissariat général au Plan/COPEP, décembre 1966.
- BOLLIET Louis, Noël GASTINEL, Pierre-Jean LAURENT, *Un nouveau langage scientifique : Algol 60. Manuel pratique*, Paris, Hermann, 1964.
- BOLLIET Louis (dir.), *Utilisation des ordinateurs à distance en temps réel et en temps partagé*, Grenoble (actes des Journées d'études AFIRO, 29 mai-3 juin 1966, préf. de Jean Kuntzmann), Paris, Dunod, 1967.
- BOREL Émile, « Les mathématiques à l'exposition de 1937 », dans *Œuvres complètes d'Émile Borel*, Paris, CNRS, 1972.
- BOREL Émile, *Philosophe et homme d'action*, Paris, Gauthier-Villars, 1967.
- BOUASSE Henri, *Cours de mathématiques générales*, Paris, Delagrave, 1947.
- BOUCHER Henri, *Organisation et fonctionnement des machines arithmétiques*, Paris, Masson, 1960.
- BOUDENOT Jean-Claude, Joseph MAÏLA, C. POPON (dir.), *ISEP, une école d'ingénieurs du 3^e millénaire. 50 ans d'histoire*, Paris, ISEP, 2005.
- BOUTRY Georges-Albert et alii (dir.), *150 ans de haut enseignement technique au CNAM*, Paris, CNAM, 1970.
- BRAMEL de CLÉJOUX Lionel, « L'enseignement à l'ENST », *Télécom*, novembre 1963, n° 2.
- BRILLOUËT Georges, *Introduction à l'étude des machines à traiter l'information. Exemple de l'ordinateur IBM 650*, Nantes, brochure ENSM, 1960 60 p.

- BRILLOUIN Léon, Louis COUFFIGNAL, Joseph PÉRÈS, « Les grandes machines mathématiques », *Annales des télécommunications*, 1947, t. 2, n° 11 et 12 (articles repris dans la revue *Atomes*, n° 21, décembre 1947, et n° 23, février 1948).
- BRILLOUIN Léon, *La Science et la théorie de l'information*, Paris, Masson 1959.
- BROGLIE Louis de (dir.), *La Cybernétique. Théorie du Signal et de l'Information*, Paris, Éditions de la Revue d'Optique, 1951.
- BURNHAM James, *Managerial Revolution*, New York, 1941, trad. fr. *L'Ère des organisateurs*, Paris, Calmann-Lévy, 1947.
- BUSH Vannevar, *Science, the Endless Frontier*, Washington, OSRD, 1945.
- CARTERON Jean, « Calcul analogique ou calcul numérique ? Conflit ou harmonie ? », *Chiffres*, vol. II, n° 4, 1959, p. 239-248.
- CARTERON Jean, « Naissance du calcul électronique en France », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*. Grenoble, INPG, 1988.
- CAVAILLÈS Jean, « Du collectif au pari », *Revue de métaphysique et de morale*, 1940, n° 47, p. 139-163.
- Centre catholique des intellectuels français, *L'Ère des ordinateurs. Le dialogue de l'homme et de la machine*, Paris, Desclée de Brouwer, coll. « Recherches et Débats », 1966.
- CHARBONNIER P. / IGAN, « Historique de la balistique extérieure à la commission de Gâve », *Revue maritime et coloniale*, 1906.
- CHORAFAS Dimitri, *Traité des ordinateurs*, (trad., préface de Jean VILLE), Paris, Hermann, 1960.
- CHRÉTIEN Lucien, *Ce que le technicien doit savoir des semi-conducteurs (diodes et transistors)*, Paris, Chiron, 1956.
- CHRÉTIEN Lucien, *Les Machines à calculer électroniques*, Paris, Chiron, 1951.
- CNRS, Brochure *25 ans de CNRS*, Paris, Éditions du CNRS, 1964.
- Colloque de Cerisy, *Révolutions informatiques*, Paris, UGE, 10/18, 1972.
- Colloque international du CNRS, *Les Machines à calculer et la pensée humaine*, Paris, Éditions du CNRS, 1953.
- Colloque international sur la téléinformatique*, Paris, Chiron, 1969, 2 vol., 1246 p.
- Colloque sur le développement des télécommunications internationales (Histoire et Avenir)*, Villefranche-sur-Mer, juin 1989.
- COLMERAUER Alain, Robert de SAINT-VINCENT et alii, *La Recherche en intelligence artificielle*, Paris, Le Seuil, 1987.
- Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI), *Réflexions et propositions pour une politique de la recherche en informatique et automatique*, Paris, La Documentation française, 1975.
- Commissariat général au Plan, COPEP, *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, 1963.
- Commissariat général au Plan « Rapport Audoin », COPEP, 1965.
- Commissariat général au Plan *IV^e Plan 1961-1965*.

- Commissariat général au Plan V^e Plan 1966-1970.
- Commissariat général au Plan VI^e Plan 1971-1975.
- Commissariat général au Plan : COPEP *Rapport d'exécution. Situation et perspective à mi-parcours*, juin 1973.
- CONDORCET Marie-Jean, Marquis de, *Tableau historique des progrès de l'esprit humain* [1794], Paris, Éditions Sociales, 1971. éd. par Eric BRIAN (EHESS) : *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'Esprit humain – De l'Esquisse au Tableau : calcul des probabilités et destin de l'esprit humain chez Condorcet*. 2004 :
 <www.ehess.fr/acta/brian/txt/04-th.pdf>
- Congrès International de l'Aéro-Électronique, Paris, 1953.
- Congrès international de Cybernétique, Paris, Gauthier-Villars, 1958.
- Congrès international de l'Automatique, Paris, Masson, 1959.
- CONNES Pierre, « Pierre Jacquinot and the Beginnings of Fourier Transform Spectrometry », *J. Phys. II France*, avril 1992, n° 2.
- Conseil scientifique de l'UAP (dir.), *Journées scientifiques UAP*, Paris, UAP, 1958.
- Construire l'avenir. Livre blanc sur la recherche scientifique*, Paris, La Documentation française, 1990.
- CORBÉ Michael, « La machine à traduire aura bientôt trente ans », *Automatisme*, mars 1964.
- CORI Robert et Daniel LASCAR, *Logique mathématique*, préface de Jean-L. Krivine, Paris, Dunod, 1978, rééd. 2003, t. I.
- COUFFIGNAL Louis, *Les Machines à calculer, leur principe, leur évolution*, Paris, Gauthier-Villars, 1933.
- COUFFIGNAL Louis, *Sur l'analyse mécanique : application aux machines à calculer et aux calculs de la mécanique céleste*, Thèses présentées à la faculté des Sciences de Paris, ser. A 1772, Paris, Gauthier-Villars, 1938.
- COUFFIGNAL Louis, *Catalogue du musée, Section A, Instruments et machines à calculer*, Paris, CNAM, 1942.
- COUFFIGNAL Louis, « Les travaux français sur les machines mathématiques », *Atomes*, n° 23, février 1948.
- COUFFIGNAL Louis, *Résolution numérique de systèmes d'équations linéaires*, Paris, Gauthier-Villars, 1950.
- COUFFIGNAL Louis, « Traits caractéristiques de la calculatrice de la machine à calculer universelle de l'Institut Blaise Pascal », *Proc. 2nd Symp. Large Scale Digital Calculating Machinery, 13-16 Septembre 1949. Annals of the Computation Laboratory of Harvard University*, Cambridge (Ma.), Harvard University Press, 1951, vol. 26.
- COUFFIGNAL Louis, *Les Machines à penser*, Paris, Éditions de Minuit, 1952.
- COUFFIGNAL Louis, *La Cybernétique*, Paris, PUF, coll. « Que Sais-je ? », 1956 et éditions ultérieures.

- COULOMB Jean, « Notice nécrologique de René de Possel-Deydier », *Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, Paris, 1975.
- COURCELLE Bruno (dir.), *Logique et informatique : une introduction*, (préf. Maurice NIVAT), Rocquencourt, INRIA, 1989.
- CRANDALL S. H., *Engineering Analysis. A Survey of Numerical Procedures*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1956.
- CRÉMIEUX M. / IGAN, « La Commission de Gâvre », *La Revue maritime*, 1930, n° 2, p. 145-161.
- CRISTINI Gilbert et Alain de LAMAZIÈRE, « Le parc français », *o.i. Informatique*, septembre 1970.
- CURIEN Hubert, « Invention et innovation », *Le Progrès scientifique*, Paris, décembre 1971.
- CURIEN Hubert, « De la Recherche au Développement », *Courrier du Parlement*, 6 janvier 1972.
- CURIEN Hubert, « Où va le CNRS ? », *La Recherche*, avril 1973.
- CURIEN Hubert, « L'avenir du CNRS », *La Recherche*, septembre 1973.
- DANLOUX-DUMESNILS Maurice, *Le Calcul analogique par courants continus*, Paris, Dunod, 1958 (2^e édition 1964).
- DANTY-LAFRANCE Louis, Jean CHEVALIER, Louis COUFFIGNAL, André CHAUVIN, G.-L. BLANCHARD, Franklin MAURICE, *Le Calcul mécanique et la comptabilité*, Communications aux séances du CNOF tenues avec la Société des ingénieurs civils de France, Paris, CNOF, 1942.
- DAUDEL Raymond, *Une vision moléculaire du monde*, Paris, Hachette CNRS, 1981.
- DAUMAS Maurice, « Les machines à traduire de Georges Artsrouni », *Revue d'histoire des sciences*, 1965, t. XVII.
- DELAHAYE Jean-Paul, « Les ordinateurs mathématiciens », *Pour la Science*, septembre 1997, n° 239.
- DAUTRAY Robert et Jacques-Louis LIONS, *Analyse mathématique et calcul numérique pour les sciences et les techniques* (préf. de J. TEILLAC), Paris, Masson, 1984, 3 vol.
- DEBRAINE Pierre, *Machines de traitement de l'information*, Paris, Sfradel, Masson, 1967.
- DEGUERRY Michel & René DAVID, *De la logique câblée au calculateur industriel. Une aventure du laboratoire d'automatique de Grenoble*, Grenoble, Eda Publishing, 2008.
- DELLA DORA Jean, *Noël Gastinel et les mathématiques du calcul*, Grenoble, s.n., 1984.
- DELORAINÉ Maurice, *Des ondes et des hommes*, Paris, Flammarion, 1974.
- DELORAINÉ Maurice, Jean-Jacques MULLER, Louis CHÉREAU, « Les origines des réseaux intégrés en impulsions codées : un historique du RITA », *L'Onde électrique*, mars 1986, vol. 66, n° 2, p. 19-26.
- DELPECH Léon-Jacques, *La Cybernétique et ses théoriciens*, Paris, Castermann, 1967.
- DEMARNE Pierre et Max ROUQUEROL, *Les Ordinateurs*, Paris, PUF, 1959.

- DESAINSTQUENTIN Jean-Michel, Bernard SAUTEUR, *Une nouvelle donne pour l'informatique*, Paris, Éditions Sythèse Informatique, 1993.
- DESSAUER Friedrich, *Philosophie der Technik: Das Problem der Realisierung*, Bonn, s.n., 1927.
- COPEP, *Note confidentielle sur les calculatrices électroniques*, Paris, septembre 1963.
- DGRST, *Répertoire des scientifiques français*, t. 1 : *Mathématiques pures*, Paris, Office national des universités et écoles françaises, 1962.
- DGRST, *Répertoire des scientifiques français*, t. 2 : *Mathématiques appliquées, Mécanique, Physique théorique*, Paris, La Documentation française, 1965.
- DIEUDONNÉ Jean, « Orientation générale des Mathématiques pures en 1973 », *Gazette des Mathématiciens*, octobre 1974.
- DIEUDONNÉ Jean, *Panorama des Mathématiques Pures : le choix bourbachique*, Paris, Gauthier-Villars, 1977.
- DIEUDONNÉ Jean, *Pour l'honneur de l'esprit humain*, Paris, Hachette, 1991.
- DONDoux Jacques, Philippe MARANO, Jean-Claude MERLIN, *Introduction à l'informatique*, Paris, Armand Colin, 1980.
- DREYFUS Hubert L., *Intelligence artificielle, mythes et limites*, [Harper & Row, 1979], Flammarion, 1984.
- DREYFUS Philippe, « L'Informatique », *Revue française de traitement de l'information*, 1963, n° 1, p. XII-XIV.
- DSIR (Department for Scientific and Industrial Research), *Annual Report*, London, Her Majesty's Stationary Office, 1946 à 1964.
- DUBARLE R.P. Dominique, « Une nouvelle science : la cybernétique. Vers la machine à gouverner », *Le Monde*, 28 décembre 1948, reproduit dans *Culture technique*, CRCT, 1990, n° 21, p. 47-49.
- DUBY Jean-Jacques et Jean-Claude HERZ, *Computers in Mathematical Research*, (introduction de Jean DIEUDONNÉ), Amsterdam, North-Holland, 1968.
- DUCROCQ Albert, *Appareils et cerveaux électroniques*, Paris, Hachette, 1952
- DUCROCQ Albert, *Découverte de la cybernétique*, Paris, Julliard, 1955.
- DURAND Émile, *Solutions numériques des équations algébriques*, Paris, Masson, 1960.
- ELLER Gerard von, *Le Photosommateur harmonique et ses possibilités : Application à l'étude de la structure cristalline du chlorhydrate de paratoluidine*, (thèse de Sciences physiques), Paris, Masson, 1955.
- ESCARPIT Robert, *Le Littératron*, Paris, Flammarion, 1964.
- FARGE Marie, « L'approche numérique en physique », *Fundamenta Scientiæ*, 1986, vol. 7, n° 2, p. 155-175.
- FARGE Marie, « L'approche numérique : simulation ou simulacre des phénomènes ? », dans Jean Petitot (dir.), *Logos et Théorie des Catastrophes*, Genève, Patino, 1988, p. 119-139.

- FELDEN Marceau, *Le Songe de Minerve, les sciences de l'artificiel*, Paris, Lieu Commun, 1987.
- FEYNMAN Richard, *Lectures on Computation*, Boston, Addison-Wesley, 1998.
- FLEURY Pierre, « Recherches poursuivies depuis 1940 à l'Institut d'optique », *Revue d'optique instrumentale et industrielle*, 1946, n° 25.
- FLOQUET Joël, « Procédé de calcul des forces aérodynamiques généralisées à l'aide de machines à cartes perforées », *Publications de l'ONERA*, 1949, n° 19.
- FRIEDEL Jacques, *Graine de mandarin*, Paris, Odile Jacob, 1994.
- GARCIA SANTESMASES José, *Obra e inventos de Torres Quevedo*, Madrid, Instituto de España, coll. « Cultura y ciencia », 1980.
- GARDIN Jean-Claude, *Le Calcul et la Raison. Essai sur la formalisation du discours savant*, Paris, ÉHÉSS, 1991.
- GASTINEL Noël, « Les mathématiques numériques. État des recherches et de l'enseignement des mathématiques numériques en France avant 1945-46 », *Chiffres*, Grenoble, n° spécial « Jean Kuntzmann », octobre 1977.
- GENUYS François, « Dix mille décimales de π », *Chiffres*, 1958, n° 1, p. 17-22.
- GENUYS François, Jeanne POYEN et Bernard VAUQUOIS, « Rapport sur le langage algorithmique Algol 60 », *Chiffres*, 1960, n° 3, 45 p.
- GERMAIN Paul, *Joseph Pérès et le renouveau de la mécanique en France*, Paris, Institut de France, 1977.
- GIRERD Henry, « L'effort français en aérodynamique de 1940 à 1945 », *Revue de l'Aviation-Espaces*, février 1946.
- GIRERD Jean et André RIOTTE, « Le calculateur analogique Djinn », *L'Onde électrique*, août-septembre 1956.
- GIRERD Jean et André RIOTTE, « L'analyseur différentiel à réseaux Delta 600 », *L'Onde électrique*, décembre 1960, p. 995-1005.
- GOODWIN R., « The Non-Linear Acceleration and Persistence of Business Cycles », *Econometrica*, 1951, n° 19.
- GORN Saul, « The Computer and Information Sciences : A New Basic Discipline », *SIAM Review*, April 1963, p. 150-155.
- GRAMONT Armand de, « L'Institut d'optique depuis sa fondation », *Revue d'optique instrumentale et industrielle*, 1946, n° 25.
- GROSS Maurice et André LENTIN, *Notions sur les grammaires formelles*, préf. de Noam CHOMSKY, Paris, Gauthier-Villars, 1969.
- GUILBAUD Georges-Th., *La Cybernétique*, Paris, PUF, coll. « Que Sais-je ? », 1954.
- GUILBAUD Georges Th., « La mathématique et le social », entretien avec Bernard COLASSE et Francis PAVÉ, *Les Annales des mines. Gérer et Comprendre*, mars 2002, n° 67, p. 67-74.
- GUILLEMIN Ernst A., *Mathematics of Circuit Analysis*, Cambridge, Ma., MIT, 1949.
- GUILLEMIN Ernst A., *Introductory Circuit Theory*, Cambridge, Ma., MIT, 1953.

- GUIRALDENQ Pierre, *Émile Borel (1871-1956). L'espace et le temps d'une vie sur deux siècles*, Saint-Affrique, Imprimerie du Progrès, 1999.
- HAHN Ernest, « La méthode d'analogies rhéographiques et rhéométriques. Installations et recherches du laboratoire d'analogies électriques de l'Institut de mécanique des fluides », *Bulletin de la société française des électriciens*, août 1938, p. 715-747.
- HAHN Ernest, « Méthode expérimentale pour la résolution des équations du mouvement des fluides », *Revue générale de l'électricité*, 26 mars 1927, p. 485-489.
- HALMOS Paul, « N. Bourbaki » *Scientific American*, mai 1957, n° 196, p. 88-99.
- HEBENSTREIT Jacques, « Informatique et enseignement », *La Vie des sciences, comptes rendus de l'Académie des sciences*, Paris, Gauthier-Villars, série générale, 1985, t. 1, p. 381-398.
- HUET M., « Le GERBAM », *Cols Bleus*, 29 février 1992.
- HULL Richard, *In Praise of WIMPS: A Social History of Computer Programming*, Hebdon Bridge, Alice, 1992.
- IMAG, *Recherches en mathématiques appliquées*, Grenoble, 1967.
- INPI, *Tables des brevets par nom de déposant*.
- INPI, *Bulletin Officiel de la Propriété Industrielle*.
- INDJOUJIAN Dickran, « Calculatrices analogiques et simulation », *Électronique*, 1955, n° 107.
- INDJOUJIAN Dickran, « Parcours d'un grand banquier d'affaires », entretien avec Bernard Colasse and Francis Pavé, *Les Annales des mines. Gérer et comprendre*, décembre 2000, n° 62, p. 4-15.
- Innovation technologique et civilisation*, Paris, Presses du CNRS, 1990.
- Institut de programmation 1963-1973*, Paris, université Paris VI, 1973, 156 p.
- Institut national polytechnique de Grenoble, École normale supérieure d'électronique et de génie physique, *La Recherche dans les écoles d'ingénieurs*, table ronde du CNRS, Grenoble, 20-22 septembre 1978.
- International Institute for Management Development, *World Competitiveness Report*, Lausanne, IIMD, 1991.
- IRIA, *Rapports d'activité*.
- JACOB Louis, *Calcul mécanique. Appareils arithmétiques et algébriques, intégrateurs*, Paris, Doin, 1911.
- JULIA Roger, « In memoriam Pierre Herreng », pour la Société française des électriciens et des radioélectriciens, *L'Onde électrique*, mai 1962, n° 42, p. 465.
- KARADIMAS Georges, « Application du calcul numérique au développement des composants des turbomachines », *Revue scientifique SNECMA*, 1990.
- KASTLER Alfred, « La vie et l'œuvre de Léon Brillouin », *L'Onde électrique*, 1970, vol. 50, fasc. 4, p. 269-277.
- KORGANOFF André, LOUIS BOSSET, JEAN-L. GROSBILLOT et J. JOHNSON (préface de Robert FORTET), *Méthodes de Calcul Numérique*, Paris, Dunod, 1961.

- KOSCIUSKO-MORIZET Jacques, *La « Mafia » polytechnicienne*, Paris, Le Seuil, 1973.
- KUNTZMANN Jean, *Méthodes numériques. Interpolation. Dérivées*, Paris, Dunod, 1959.
- KUNTZMANN Jean, *Apport de l'informatique à l'enseignement des mathématiques*, Lyon, CEDIC, 1974.
- KUNTZMANN Jean, *Naissance et jeunesse de l'IMAG*, Grenoble, IMAG, 1992.
- LABORIE Marc, « L'informatique à l'Université de Toulouse », 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France, Paris, CNAM, 1990.
- LACOMBE Daniel, « La théorie des fonctions récursives et ses applications (exposé d'information générale) » *Bulletin de la Société Mathématique de France*, 1960, vol. 88, p. 393-468.
- LACROIX DE LAVALETTE Étienne de, « Le rôle et l'influence du Groupe de Calcul Numérique de la faculté des sciences de Paris sur l'introduction et le développement de l'Informatique », tapuscrit, s.d. (vers 1995), 5 p.
- LAFITTE Jacques, *Réflexions sur la science des machines*, Paris, Cahiers de la Nouvelle Journée, 1932, n° 21, rééd. Vrin, 1972.
- LAFITTE Jacques, « Sur la science des machines », *Revue de synthèse*, 1933, vol. VI, n° 2, p. 143-158.
- LATIL Pierre de, « Nouvelles machines à calculer électroniques », *Sciences et Avenir*, 1951, n° 50.
- LATIL Pierre de, *Introduction à la cybernétique, la pensée artificielle*, Paris, Gallimard, 1953.
- LAUGIER Henri, « Une puissante recherche scientifique, condition préalable à toute grandeur française », *Cahiers Rationalistes*, 1955, n° 148.
- LE CORBEILLER Philippe, *Les Systèmes auto-entretenus et les oscillations de relaxation*, Conférences faites au Conservatoire national des Arts et Métiers, Paris, Hermann, 1931.
- LE CORBEILLER Philippe, « Méthode d'approximation de Tchebychev et application aux filtres de fréquences », *Revue générale d'électricité*, 1936 t. XL.
- LE CORBEILLER Philippe, *Matrix Analysis of Electric Networks*, Cambridge, Ma., Harvard University Press, 1950, (trad.) *Analyse matricielle des réseaux électriques*, Paris, Dunod, 1954.
- LE LIONNAIS François (dir.), *Les Grands courants de la pensée mathématique*, Marseille, Cahiers du Sud, 1948.
- LE LIONNAIS François, « La Cybernétique », *Histoire générale des sciences, la Science contemporaine*, t. II, le XX^e siècle, Paris, PUF, 1983.
- LEGRAS Bernard, *Jean Legras: Mathématicien lorrain, précurseur de l'Informatique à Nancy, fondateur de l'Institut Universitaire de Calcul Automatique*, Nancy, Groupe Dialog'Guyot-Laxou, 2008.
- LEGRAS Jean, *Techniques de résolution des équations aux dérivées partielles. Equation de la chaleur, équation de Laplace, équation des ondes*, préface de Joseph Pérès, Paris, Dunod, 1956.

- LEGRAS Jean, « Institut Universitaire de Calcul Automatique de Nancy », *Revue de l'Enseignement Supérieur*, 1959, n° 157.
- LENTIN André, « La cybernétique : Problèmes réels et mystification », *La Pensée*, mars-avril 1953, n° 47, p. 47-61.
- LEPRINCE-RINGUET Louis, « Charles Fabry, physicien et professeur à l'École polytechnique », *La Jaune et la Rouge*, mars 1968.
- LHERMITTE Pierre, *Le Pari informatique*, Paris, France-Empire, 1968.
- LIARD Louis, *Universités et facultés*, Paris, A. Colin, 1890.
- LICHNÉROWICZ André, « M.-P. Schützenberger : Informaticien de génie, esprit paradoxal et gentilhomme de la science », *La Recherche*, octobre 1996, n° 291.
- LIONS Jacques-Louis, *Contrôle optimal de systèmes gouvernés par des équations aux dérivées partielles* [préf. de Pierre LELONG], Paris, Dunod & Gauthier-Villars, 1968.
- LOTHAIRE M. (D. PERRIN, protonotaire), *Mots*, mélanges offerts à M.-P. Schützenberger, Paris, Hermès, 1990.
- LUCAS Pierre, « Considérations sur les conditions auxquelles pourrait satisfaire un système de commutation automatique », *L'Écho des recherches*, octobre 1955, n° 19.
- MALAVARD Lucien, « Le calcul analogique au CNRS », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988.
- MARBO Camille, *À travers deux siècles: Souvenirs et rencontres (1883-1967)*, Paris, Grasset, 1968.
- MARÉCHAL André, « Étude des effets combinés de la diffraction et des aberrations géométriques sur l'image d'un point lumineux », *Revue d'optique*, février 1948.
- MARIETTI Pascal-Gaston, *La Statistique générale en France*, Paris, PUF, 1949.
- MARZIN Pierre, « Les calculateurs numériques étudiés au CNET », *L'Onde Électrique*, février 1965, vol. XLV, p. 212-227.
- MERLIN Jean-Claude & Alain PROFIT, « Les calculateurs électroniques », *Regards sur la France*, La Documentation française, 1970, p. 235-242.
- MERLIN Jean-Claude & Jacques VINCENT-CARREFOUR, « Les Centres de calcul du CNET », *Regards sur la France*, 1970, p. 235-242.
- MÉTRAL Albert et François-H. RAYMOND, *Compléments de mécanique. Le calcul symbolique*, Paris, Ministère des Forces armées-DEFA-École nationale supérieure de l'Armement, 1948.
- MÉTRAL Albert, « L'évolution récente de la machine-outil », conférence à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, *Revue générale de mécanique*, mai 1956.
- MINEUR Henri, *Techniques de calcul numérique, à l'usage des mathématiciens, astronomes, physiciens et ingénieurs*, suivi de 4 notes par Mme H. BERTHOD-ZABOROWSKI, J. BOUZITAT et M. MAYOT, Paris & Liège, Béranger, 1952.
- Ministère de l'Industrie et de la Recherche – CCRST, *Rapport sur la recherche universitaire*, novembre 1976.

- Ministère de l'Industrie, *Situation de l'industrie, Enquête annuelle d'entreprise*, Paris, ministère de l'Industrie-SESSI, 1996, t. 2, p. 22.
- MINORSKY Nicolas, « Application des circuits électriques à l'intégration graphique de quelques équations différentielles », *Revue générale d'électricité*, mai 1936, vol. XXXIX, p. 787-794.
- MOREAU René, *Introduction à la théorie des langages*, Paris, Hachette 1975.
- MOREAU René, « Le développement scientifique a vingt ans », *Nouvelles de la Cie IBM France*, janvier 1984.
- MORITA Akyo, *Made in Japan*, Paris, Laffont, 1987.
- MULLER Jean-Jacques, « La croissance irrésistible des réseaux numériques », *L'Onde électrique*, octobre 1987.
- NAMIAN Paul, « Exposé sur l'enseignement de la gestion automatisée », *Actes du 4^e Congrès de l'AFIRO*, Paris, Dunod, 1965, p. 411-413.
- NASLIN, Pierre, *Principes des calculatrices numériques automatiques*, Paris, Dunod, 1958.
- National Science Foundation, *Annual Report 1959 à 1971*, Washington, NSF, 1972.
- NAUR Peter, « Datalogy: The Science of Data and Data Processes and its Place in Education », *Proc. of IFIP Congress*, 1968, Appl. 2, Booklet G, p. 48-52.
- NÉEL Louis, *Un siècle de physique*, Paris, Odile Jacob, 1991.
- NIVAT Maurice, *Transduction des langages de Chomsky*, *Ann. Inst. Fourier*, Grenoble, 1968, n° 18, p. 339-455.
- NIVAT Maurice, *Savoir et savoir-faire en informatique*, Paris, La Documentation française, 1983.
- NOLIN Louis, « Des caves de l'Institut Henri Poincaré à la Terre Promise de la rue du Maroc », *Mathématiques et sciences humaines*, hommage à André Lentin, 1998, n° 141.
- NORA Simon et Alain MINC, *L'Informatisation de la société*, Paris, La Documentation française, 1978.
- OCAGNE Maurice d', « Histoire des machines à calculer », *Bulletin de la Société d'encouragement à l'industrie nationale*, SEIN, septembre-octobre 1920
- OCAGNE Maurice d', *Le Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques* [1893], Paris, Gauthier-Villars, 1928 (trad. anglaise par Jack Howlett & Michael Williams, MIT Press, 1990).
- OCDE, *Ecarts Technologiques. Calculateurs électroniques*, Paris, OCDE, 1969.
- OCDE, *Examen des politiques scientifiques nationales, la France*, Paris, OCDE, 1966.
- OCDE, *Les Ministres et la Science*, Paris, OCDE, 1965.
- ORGEVAL Bernard d', « In memoriam Jean-André Ville », *Annuaire des Anciens élèves de l'École normale supérieure*, Paris, Association amicale de secours des anciens élèves de l'École normale supérieure, 1992, p. 388-389.
- PAILLOLE Paul, *Notre espion chez Hitler*, Paris, Laffont, 1985.
- PAILLOUX Raymond, « Le calcul électronique au service de l'ingénieur », *Arts et Métiers*, janvier 1955.

- PAIR Claude, « À tout CRIN : histoire d'un laboratoire », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988, p. 311-324.
- PATARD L. / IGAN, *Historique de la la commission d'expérience de Gâvre (1829-1930)*, s.n., 1931.
- PALMA Raoul de, *Cours moderne de calcul automatique*, Paris, Albin Michel, 1970.
- PÉLEGRIN Marc, *Machines à calculer électroniques arithmétiques et analogiques*, Paris, Dunod, 1959.
- PÉLEGRIN Marc, Jean-Charles GILLE, Paul DECAULNE, *Méthodes modernes d'études des systèmes asservis*, Paris, Dunod, 1960.
- PELTIER Jean, *Résolution numériques des équations algébriques*, Paris, Gauthier-Villars, 1957.
- PERRET René, « Étude analogique de la stabilité d'un transport d'énergie », *Annales de l'Association internationale pour le calcul analogique*, mars 1959, vol. 1, n° 4.
- PERRET René, « Organisation de la recherche dans le domaine de l'automatique au sein d'un laboratoire universitaire », *Interélectronique*, octobre 1968.
- PERRIN Dominique, « Les débuts de la théorie des automates », *TSI*, 1995, n° 14, p. 409-433.
- PETIT Michel, « La machine à écrire française », *Productions françaises*, juillet 1948, n° 32.
- PICARD Claude-F., *Théorie des questionnaires*, préf. de Jean-André VILLE, Paris, Gauthier-Villars, 1965.
- PIGANIOL Pierre et Louis VILLECOURT, *Pour une politique scientifique*, Paris, Flammarion 1963.
- PITRAT Jacques, Erik SANDEWALL *et alii.*, « Artificial Intelligence in Western Europe », dans Raj REDDY (dir.), *Proceedings of the 5th international joint conference on Artificial intelligence*, vol. 2, Cambridge (Ma), William Kaufmann, 1977.
- PITRAT Jacques, « La Naissance de l'intelligence artificielle », *La Recherche*, octobre 1985, n° 170, p. 1130-1141.
- PITRAT Jacques, *Réalisation de programmes de démonstration de théorèmes par des méthodes heuristiques*, Paris, faculté des Sciences, 1966.
- POULAIN Pierre, « Genèse des départements d'informatique dans les IUT », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*. Grenoble, INPG, 1988.
- RAJCHMAN John A., « Les systèmes matriciels de mémoire », *L'Onde électrique*, 1952, n° 32.
- RALSTON Anthony, *Encyclopedia of computer science*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.
- RAYMOND François-Henri *et alii*, *Analyse, synthèse et position actuelle de la question des servomécanismes*, Paris, SEDES, 1949.
- RAYMOND François-Henri, « Automatisation et production (Possible influence de l'électronique sur le développement industriel) », *Bulletin scientifique de l'AIM*,

- Liège, Institut Électrotechnique Montefiore, novembre 1954, n° 11. Reproduit dans *Ingénieurs et Techniciens*, Paris, septembre-octobre 1954.
- RAYMOND François-Henri, « Calcul analogique : principes et contribution à une théorie générale », *Revue d'optique*, 1955.
- RAYMOND François-Henri, « Les calculatrices numériques automatiques », *Mémorial de l'Artillerie française*, 1955, n° 3 et 4.
- RAYMOND François-Henri, *L'Automatique des informations*, Paris, Masson, 1957 (préface de M. CHALVET) (rééd. 1982 avec une post-face de l'auteur).
- RAYMOND François-Henri, *Les Principes des ordinateurs*, préface d'A. LICHNÉROWICZ, Paris, PUF, 1969.
- RAYMOND François-Henri, « Informatique et Automatique », *Automatisme*, septembre 1970.
- RAYMOND François-Henri, *Notes sur l'informatique*, Paris, CNAM, 1981.
- RENAN Ernest, *Souvenirs d'enfance et de jeunesse*, Paris, Calmann-Lévy, 1883.
- RENAN Ernest, *L'Avenir de la Science*, Paris, Calmann-Lévy, 1890.
- REULEAUX FRANZ, *Cinématique, principes d'une théorie générale des machines*, trad. française, Paris, Savy, 1877.
- RIGAL Jean-Louis, « Une définition de l'informatique », *Atomes*, mars 1967, n° 241, p. 190-192.
- RIGUET Jean, « Le calcul des relations en tant qu'outil méthodologique », dans François LE LIONNAIS, *La Méthode dans les sciences modernes*, Paris, Éditions Science et Industrie, 1957, p. 69-82.
- RIND René, « La Cybernétique au service de l'homme », *Mémorial du progrès scientifique et technique*, Comité permanent d'organisation des congrès internationaux du progrès scientifique et technique, 1954, p. 249-254
- ROCARD Yves, *Mémoires sans concession*, Paris, Grasset 1988.
- ROSE Jean, « Machine à calculer permettant la détermination de fonctions périodiques et leur introduction dans des calculs. Applications à la sommation de séries de Fourier et au calcul des facteurs de structure en cristallographie », *Journal des recherches du CNRS*, 1948, n° 7, p. 139-144.
- ROUMÉGOUX Louis, « Application de l'automatisme à l'étude et à la prédiction des marées au service hydrographique de la Marine », *Revue hydrographique internationale*, 1964, p. 123-130
- SABAH Gérard (dir.), *Colloque en l'honneur de Jean-Claude Simon. Informatique : nouveaux concepts scientifiques. New Concepts in Computer Science*, Paris, AFCET & CNRS, 1990.
- SAINTE-LAGÜE André, préface à Louis POTIN, *Le Calcul numérique. Conseils sur l'art de calculer*, Paris, Béranger, 1935.
- SAINT-PAUL Raymond, « L'Automation : Peu de recherches en France », *L'Expansion scientifique*, avril 1961, n° 9.

- SAKAROVITCH Jacques, *L'Informatisation de la recherche publique en France*, Paris, Agence de l'informatique, 1986.
- SAMMET Jean, *Programming Languages: History and Fundamentals*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 1969.
- SCHÜTZENBERGER Marcel-Paul, *La Théorie de l'information*, Paris, Publications de l'Institut de statistiques de l'université de Paris, 1951.
- SCHWARTZ Laurent, « Souvenirs sur Jean Dieudonné », *Pour la Science*, juin 1994, n° 200, p. 8-10.
- SCHWARTZ Laurent, *Un mathématicien aux prises avec le siècle*, Paris, Odile Jacob, 1997.
- SESTIER Aimé, *Les Calculateurs numériques automatiques et leurs applications*, Paris, Dunod, 1958.
- SHILS Edward, *Criteria for Scientific Development. Public Policy and National Goals*, Cambridge, MIT Press, 1968.
- SIMON Herbert A., *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1969. *La Science des systèmes, science de l'artificiel* (trad.), Paris, L'Épi Editeur, 1974, et Dunod, 1991.
- SIMON Jean-Claude, « L'Enseignement de l'intelligence artificielle et de la reconnaissance des formes à l'Institut de programmation », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988, t. 2, p. 419-424.
- SIRET L., MAURICE BELLOT, JEAN-PIERRE VERJUS, « DIAMAG 2, système conversationnel à accès multiple », *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, septembre 1968, vol. 12, n° B2, p. 3-44.
- SLAGLE James R., *Artificial Intelligence: The Heuristic Programming Approach*, New York, McGraw-Hill, 1971.
- SMF, *L'Utilisation des calculateurs en mathématiques pures* (Journées de la Société Mathématique de France, Limoges), Paris, Mémoire n° 49-50, supplément au n° de mars 1977.
- SOURIAU Jean-M., *Le Calcul linéaire*, Paris, PUF, 1964.
- SOURIAU Jean-M., « Les inattendus de l'informatique », *Pour la Science*, février 1997, n° 232.
- SVOBODA Antonín, « From Mechanical Linkages to Electronic Computers: Recollections from Czechoslovakia », *History of Computing in the XXth Century*, New York, Academic Press (colloque de Los Alamos, 1976), 1980, p. 578-585.
- THIRRIOT Claude, « Préhistoire de l'informatique à l'Institut de mécanique des fluides de Toulouse (1958-1970) », dans François RODRIGUEZ et Jean VIGNOLLE (dir.), *Actes du 5^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Toulouse, ENSEEIHT, 1998.
- TOMOVIC Rajko, *Calculateurs analogiques répétitifs*, Paris, Masson, 1958.
- VALLÉE Robert, « La cybernétique et l'avenir de l'homme », *Science et Société, Impact*, 1951, vol. III, n° 1.

- VALLÉE Robert, « Une semaine dans le New Hampshire chez Norbert Wiener », *Culture technique*, 1990, n° 21, p. 12-15.
- VALLÉE Robert, « The "Cercle d'études cybernétiques" », *Systems Research*, 1990, vol. 7, n° 3.
- VAUQUOIS Bernard, *La Traduction automatique*, Paris, Dunod, 1976.
- VERJUS Jean-Pierre, « La programmation à Grenoble et son essaimage dans les années 1960. Réflexions rétrospectives », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, 1988 (tirage hors Actes). (trad.) « Programming in Grenoble in the 1960s and those who Flew from the Nest », *Annals of the History of Computing*, 1990, vol. 12, p. 95-101.
- VILLE Jean, « Théorie et application de la notion de signal analytique », *Câbles et transmissions*, 1948, n° 2, p. 61-74.
- VILLE Jean, *Mathématiques économiques et théorie des systèmes*, cours polycopié 1975-1976, université Paris VI-INSTN.
- VILLE Jean, « Théorie des jeux, dualité, développement », *Économie appliquée*, 1983, n° 4.
- VON NEUMANN John, *First Draft of a Report on the EDVAC*, 30 juin 1945, et John VON NEUMANN, Arthur W. BURKS & Hermann GOLDSTINE, *Preliminary Discussion on the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*, juin 1946, reproduit dans *Von Neumann's Collected Works*, Oxford, Pergamon, vol. V.
- VON NEUMANN John & Herman GOLDSTINE, « Numerical Inverting of Matrices of High Order », *Bulletin of the American Mathematical Society*, novembre 1947.
- VON NEUMANN John, « The Principles of Large-Scale Computing Machines » (préf. de Nancy STERN), reproduit dans *Annals of the History of Computing*, 1989, vol. 10, n° 4.
- VON NEUMANN John, *L'Ordinateur et le Cerveau* (suivi d'une étude de Dominique Pignon sur « Les machines molles de John von Neumann »), Paris, Flammarion-Champs, 1996.
- WALDROP M., « NSF Commits to Supercomputers », *Science*, 1985, n° 228, p. 568-571.
- WEGNER Peter, « Research Paradigms In Computer Science », *Proc. 2nd Int. Conference on Software Engineering*, San Francisco, 1976.
- WEIL André, *Mémoires d'apprentissages*, Paris, Birkhäuser, 1990.
- WEIZENBAUM Joseph, *Computer Power and Human Reason*, Freeman, San Francisco 1976 ; trad. *Puissance de l'ordinateur et raison de l'homme*, Paris, Éditions d'organisation, 1981.
- WIENER Norbert, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Paris, Hermann, & Cie, Cambridge (Mass.), The MIT Press, New York, Wiley, 1948.
- WIENER Norbert, *The Human Use of Human Beings*, Boston, Houghton Mifflin, 1950, trad. *Cybernétique et Société*, Paris, 1952, rééd. 1971), Union Générale d'Éditions, Collection 10/18, 1952, rééd. Éditions des Deux Rives 10/18, 1962.
- WILKES Maurice V., *Automatic Digital Computers*, London, Methuen & Co, 1955 (trad. fr. par J. ERNEST, ingénieur EPCI, *Calculatrices numériques automatiques*, Paris, Dunod, 1959).
- WILKES Maurice V., *Memoirs of a Computer Pioneer*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1985.

WILKES Maurice V., Stanley GILL, David WHEELER, *The Preparation of Programs for an Electronic Digital Computer* (première édition Cambridge, Addison-Wesley. Rééd., Cambridge, Ma., MIT reprint series for the History of Computing, 1985).

WIRTH Niklaus (entretien avec), « Libres questions à Niklaus Wirth, inventeur du langage Pascal », *o.i. Informatique*, mai 1979, p. 107-112.

Who's who in France, éditions 1963, 1979, 1983

PÉRIODIQUES

REVUES (ANNÉES DÉPOUILLÉES) :

Accounting, Business & Financial History (Routledge).

Annales de l'Association internationale pour le calcul analogique.

Annales de l'IHP, Gauthier-Villars.

Annales des télécommunications (1947-1966).

Annals of the History of Computing (IEEE).

Arts et Manufactures, revue de l'École Centrale (1955-1975).

Atomes.

Automation-Revue de l'automatisme et des applications industrielles de l'électronique (1959-1966).

Automatisme.

Bulletin d'histoire de l'électricité, Paris, AHEF.

Bulletin d'information scientifique et technique du CEA (1957-1966).

Bulletin de la Société d'encouragement à l'industrie nationale, Paris, (1932-1937).

BSFE - Bulletin de la Société française des électriciens (1932-1942).

Bulletin SPECIF (Société des Personnels Enseignants et Chercheurs en Informatique de France), Paris (publié en ligne).

Business History.

Business History Review.

Cahiers pour l'histoire du CNAM, CDHT, CNAM (1991-1996).

Cahiers pour l'histoire du CNRS, Presses du CNRS.

Cahiers pour l'histoire de la Recherche, Presses du CNRS.

Les Cahiers de la République : Le colloque de Caen ; Le colloque de Grenoble, janvier-février 1958, les relations Université- Industrie, supplément au n° 11.

Chiffres, Revue de l'association française de calcul (1958-1966) (et n° spécial « Jean Kuntzmann », octobre 1977).

Communications du Comité de documentation historique de la Marine.

Computers and Automation (sondages).

Computer Survey (1963-1970).

Courrier Bull.

Culture technique.

Datamation (1969-1974).

Data Processing (1965-1970).

L'Écho des recherches du CNET (1948 à 1960).

Le Débat, n° 46, septembre-novembre 1987 ; et « Comment écrire l'histoire des sciences », novembre-décembre 1998.

Électronique.

Électronique actualités.

Gazette des mathématiciens, bulletin de liaison de la SMF (1962-1975).

Histoire des entreprises, revue semestrielle fondée par Bertrand Gille (EPHE-CRH-SEVPEN) (1958-1963).

Informatique et Gestion.

Journal du laboratoire de physique de l'ENS, (1949-1955).

Journal des recherches du CNRS.

La Jaune et la Rouge (Société amicale des anciens élèves de l'École polytechnique).

Mémorial de l'artillerie française.

La Nature (1920-961).

Notes techniques de l'ONERA, (1946 à 1960).

L'Onde électrique.

Progrès et Science, n° spécial sur l'Institut de programmation, 4^e trim. 1967.

Le Progrès scientifique, revue de la DGRST.

Publications de l'IBP, CNRS (1951-1956), puis publications de « Mathématiques à l'usage du calculateur ».

Publications de l'ONERA, (1946 à 1960).

La Recherche.

La Recherche aéronautique (devient *La Recherche Aérospatiale* en 1964), 1948-1966.

Revue des applications de l'électricité (1955-1983).

Revue générale d'électricité (organe de la SFE) (1920-1960).

Revue générale des sciences pures et appliquées.

Revue d'histoire des sciences.

Revue d'optique instrumentale et industrielle, Institut d'optique, Paris, (1945-1952).

Revue scientifique, (1938-1948).

Revue technique CFTH (1960-1966).

Sciences et Avenir.

Science et Technologie, n° spécial « L'intelligence artificielle au quotidien », mai 1988.

Structure et évolution des techniques, revue de la Société pour l'étude des techniques (1948-1964), numéro spécial sur la cybernétique, 5^e année, n° 55-56, juillet 1953 à janvier 1954. 60 pages, publié avec le concours du CNRS.

BIBLIOGRAPHIE

- ABIR-AM Pnina G., « The Assessment of Interdisciplinary Research in the 1930s: The Rockefeller Foundation and Physico-Chemical Morphology », *Minerva*, 1988, n° 1. *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Philippe CHATELIN (dir.), Grenoble, INPG, 1988.
- Actes du 2^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Philippe CHATELIN et Pierre-É. MOUNIER-KUHN (dir.), Paris, CNAM, 1990.
- 3^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Sophia-Antipolis, INRIA, 1993.
- Actes du 4^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Jacques ANDRÉ et Pierre-É. MOUNIER-KUHN (dir.), Rennes, INRIA-IRISA, 1995.
- Actes du 5^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, François RODRIGUEZ et Jean VIGNOLLE (dir.), Toulouse, ENSEEIHT, CEPADUES Éditions, 1998.
- Actes du 6^e colloque sur l'histoire de l'informatique et des Réseaux*, Pierre-É. MOUNIER-KUHN et Louis POUZIN (dir.), Grenoble, ACONIT, 2002.
- Actes du 7^e colloque international Histoire de l'informatique et des télécommunications*, Jacques ANDRÉ et Pierre-É. MOUNIER-KUHN (dir.), Rennes-Cesson, ESAT-Musée des Transmissions, 2004.
- Actes du colloque Carrefour des Sciences : l'interdisciplinarité*, Paris, 1990.
- AKERA Atsushi, « Voluntarism and the Fruits of Collaboration: The IBM User Group, Share », *Technology and Culture*, octobre 2001, vol. 42, n° 4, p. 710-736.
- ALBERTINI Jean-Marie, *L'Économie française*, Paris, Le Seuil, 1978.
- ALBERTS Gerard, *Jaren van berekening. Toepassingsgerichte initiatieven in de Nederlandse wiskundebeoefening, 1945-1960*, Amsterdam University Press, 1998.
- AN., « Charles Babbage and the first computer », *IEE Review*, London, juin 1991.
- ANDLER Daniel, « Logique, pensée, machine », *Esprit*, juillet 1987, n° spécial « Science et culture », p. 26-39.
- ANDLER Daniel, « Turing : pensée du calcul, calcul de la pensée », dans F. Nef et D. Vernant (dir.), *Le Formalisme en question : le tournant des années 1930*, Paris, Vrin, 1998, p. 1-41.
- ANDLER Martin, « Les mathématiques à l'École normale supérieure au xx^e siècle : une esquisse », dans J.-F. Sirinelli (dir.), *L'École normale supérieure : deux siècles d'histoire*, Paris, PUF, 1994.
- Annuaire des anciens élèves de l'École polytechnique.*
- Annuaire des anciens élèves de l'École supérieure d'électricité.*

Annuaire des anciens élèves de l'École normale supérieure.

ARMATTE Michel, « Maurice Fréchet statisticien, enquêteur et agitateur public », *Revue d'histoire des mathématiques*, 2001, fascicule 1, p. 7-65.

ARMATTE Michel et Amy DAHAN DALMEDICO (dir.), « Modèles et modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », *Revue d'histoire des sciences*, (dossier thématique), 2004, vol. 57, n° 2.

ARVANITIS Rigas, Michel CALLON et Bruno LATOUR, *Évaluation des politiques publiques de la recherche et de la technologie*, Paris, La Documentation française, 1986.

ARVONNY Maurice, André MIQUEL, Catherine VINCENT et Nicolas WITKOWSKI, *Les Chemins de la science*, Paris, Éditions du CNRS, 1990.

ASPRAY William, *From Mathematical Constructivity to Computer Science: Alan Turing, John von Neumann and the Origins of Computer Science in Mathematical Logic*, University of Wisconsin, Ph.D., 1979.

ASPRAY William, « Literature and Institutions in the History of Computing », *Isis*, 1984, vol. 75, n° 1.

ASPRAY William, « International Diffusion of Computer Technology, 1945-1955 », *Annals of the History of Computing*, October 1986, vol. 8, n° 4.

ASPRAY William (dir.), *Computing Before Computers*, Ames, Iowa State University Press, 1990.

ASPRAY William, « Arming American Scientists: NSF and the Provision of Scientific Computing Facilities for Universities, 1950-1973 », *IEEE Annals of the History of Computing*, 1994, vol. 16, n° 4, p. 60-74.

ASPRAY William & Martin CAMPBELL-KELLY, *Computer: A History of the Information Machine*, New York, Basic Books, 1996.

ASPRAY William, « Was Early Entry a Competitive Advantage? US Universities That Entered Computing in the 1940s », *IEEE Annals of the History of Computing*, July-Sept. 2000, vol. 22, n° 3, p. 42-87.

ATTEN Michel (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications. Des Recherches au CNET. 1940-1965*, Paris, 1996, CNET, collection « Réseaux ».

ATTEN Michel, François du CASTEL et Marie PIERRE (dir.), *Les « Télécom », Histoire des Écoles supérieures des télécommunications, de 1840 à 1996*, Paris, Hachette, 1999.

ATTEN Michel et Dominique PESTRE, *Heinrich Hertz, l'administration de la preuve*, Paris, PUF, 2002.

AUBIN David, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos: Around the Institut des Hautes études Scientifiques*, Princeton, Ph.D., Princeton University, 1997.

AUGARTEN Steve, *Bit by bit. An Illustrated History of the Computer*, New York, Ticknor and Fields, 1984.

AURELLE Bruno, *Les Télécommunications*, Paris, La Découverte, 1986.

AUTEBERT Jean-Michel, *Théorie des langages et des automates*, Paris, Masson, 1994.

- AZÉMA Jean-Pierre, Raymond LÉVY-BRUHL, Béatrice TOUCHELAY, *Mission d'analyse historique sur le système de statistique français de 1940 à 1945*, Paris, INSEE, 1998.
- BAIROCH Paul, *Victoires et déboires : Histoire économique du monde, du XVI^e siècle à nos jours*, Paris, Gallimard, 1997.
- BAKIS Henri, *IBM, une multinationale régionale*, Presses universitaires de Grenoble, 1977.
- BALLE Claude et Jean-Louis Peaucelle, *Le Pouvoir informatique dans l'entreprise*, Paris, Éditions d'Organisation, coll. « Sociologie des organisations », 1973.
- BALLEREAU Jean, *La Carrière informatique*, Paris, Dunod, coll. « Économie », 1970.
- BALLEREAU Jean, *La Réorganisation des carrières des spécialistes de l'informatique dans la Fonction publique française*, Paris, Institut national des Sciences administratives, 1973.
- BALLEREAU Jean, « Essor de l'informatique et problèmes humains », *Actes du Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988.
- BARBER J. D., *Power in Committees: An Experiment in the Governmental Process*, Chicago, Rand McNally & Cy, 1966.
- BARBIER Frédéric et Catherine BERTHO-LAVENIR, *Histoire des médias. De Diderot à Internet*, Paris, Armand Colin, 1996.
- BARBUT Marc, Bernard LOCKER & Laurent MAZLIAK (dir.), *Paul Lévy-Maurice Fréchet : 50 ans de correspondance*, Paris, Hermann, 2004.
- BARJOT Dominique, *Stratégies industrielles sous l'Occupation*, Paris, SEDES, 1993.
- BARJOT Dominique, *Travaux publics de France : un siècle d'entreprises et d'entrepreneurs (1883-1992)*, Paris, Presses de l'ENPC, 1993.
- BARJOT Dominique et Christophe RÉVEILLARD (dir.), *L'Américanisation de l'Europe occidentale au XX^e siècle*, Paris, Presses de l'université Paris-Sorbonne, 2002.
- BARON Georges-Louis, *L'Informatique, discipline scolaire ? Le cas des lycées*, Paris, PUF, 1989.
- BARREAU Jocelyne et Abdelaziz MOULINE, *L'Industrie électronique française : 29 ans de relations État-groupes industriels (1958-1986)*, Paris, Librairie Générale de Droit et de Jurisprudence, 1987.
- BASHE Charles J., Lyle R. JOHNSON, John H. PALMER & Emerson PUGH, *IBM's Early Computers*, Cambridge, Ma., MIT Press Series in the History of Computing, 1986.
- BAUCHET Pierre, *Le Plan dans l'économie française*, Paris, FNSP-Economica, 1986.
- BAUER G., Walter E. PROEBSTER *et al.*, *Datentechnik im Wandel*, Hambourg, Springer Verlag, 1986.
- BEAULIEU Liliane, *Bourbaki : une histoire du groupe de mathématiciens français et de ses travaux, 1934-1944*, thèse de doctorat, université de Montréal, 1990.
- BEAULIEU Liliane, « A Parisian Café and Ten Proto-Bourbaki Meetings (1934-1935) » *The Mathematical Intelligencer*, New York, Springer Verlag, 1993, vol. 15, n° 1, p. 27-35.
- BEAULIEU Liliane, « Regards sur les mathématiques en France entre les deux guerres. Introduction », *Revue d'histoire des sciences*, septembre 2009, vol. 62, n° 1, p. 5-38.

- BELHOSTE Bruno, « Les origines de l'École polytechnique. Des anciennes écoles d'ingénieurs à l'École centrale des Travaux Publics », *Histoire de l'Éducation*, 1989, n° 42, p. 13-53.
- BELHOSTE Bruno, Amy DAHAN DALMEDICO, Dominique PESTRE & Antoine PICON (dir.), *La France des X*, Paris, Economica, 1994.
- BELHOSTE Bruno, Amy DAHAN & Antoine PICON (dir.), *La Formation polytechnicienne (1794-1994)*, Paris, Dunod, 1994.
- BELHOSTE Bruno, Hélène GISPERT & Nicole HULIN, *Les Sciences au Lycée. Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, Paris, Vuibert & INRP, 1996.
- BELOT Robert, Michel COTTE & Pierre LAMARD (dir.), *La Technologie au risque de l'histoire*, Paris, Berg & Univ. Tech. de Belfort-Montbéliard, 2000.
- BELTRAN Alain & Pascal GRISET, *Histoire d'un pionnier de l'informatique. 40 ans de recherche à l'INRIA*, Paris, EDP Sciences, 2007.
- BEN DAVID Joseph, « The Scientific Role : The Conditions of its Establishment in Europe », *Minerva*, 1965, vol. IV, n° 1, p. 15-54.
- BEN DAVID Joseph, *La Recherche fondamentale et les universités*, Paris, OCDE, 1968.
- BENNETT John M., *Computing in Australia. The Development of a Profession*, Australian Computer Society, 1994.
- BENNETT Stuart, « The Emergence of a Discipline: Automatic Control 1940-1960 », *Automatica*, 1976, n° 12, p. 113-121.
- BENNETT Stuart, *A History of Control Engineering 1930-1955*, London, Peregrinus, 1993.
- BENOIT Serge, Gérard EMPTOZ & Denis WORONOFF (dir.), *Encourager l'innovation en France et en Europe. Autour du bicentenaire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, Paris, Éditions du CTHS, 2006.
- BENZÉCRI Jean-Paul, *Histoire et préhistoire de l'analyse des données*, Paris, Dunod, 1982.
- BERGIN Thomas J. & Richard G. GIBSON (dir.), *History of Programming Languages Conference (HOPL II)*, New York, ACM Press & Addison Wesley, 1996.
- BERNARD Michel-Yves, *30 ans de la vie du club EEA*, Paris, Telexa, mai 1990.
- BERNARD Michel-Yves, *Le Conservatoire national des Arts et Métiers. Vers le XXI^e siècle*, Paris, Eyrolles, 1994.
- BERTAUX Daniel, *Les Récits de vie*, Paris, Nathan, 1997.
- BERTHIAU Jean-A., *Des maîtres entretenus aux ingénieurs (1819-1971)*, Paris, thèse sous la direction de Jean TULARD, Univ. Paris-Sorbonne, service historique de la Marine, 1999.
- BERTHO Catherine, *Télégraphe et téléphone, de Valmy au microprocesseur*, Paris, Hachette, 1981.
- BERTRAND Gustave, *Enigma ou la plus grande énigme de la guerre 1939-1945*, Paris, Plon, 1973.
- BIDAULT Ghislaine, *Les Mémoires de la Recherche. Etat des versements 1977-1989. Cahiers pour l'histoire de la recherche*, Paris, CNRS, 1993.

- BIJKER Wiebe, Thomas P. HUGHES & Trevor PINCH (dir.), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1987.
- BIJKER Wiebe & John LAW (dir.), *Shaping Technology/Building Society*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1992.
- BIRCK Françoise et André GRELON (dir.), *Un siècle de formation des ingénieurs électriciens. Ancrage local et dynamique européenne, l'exemple de Nancy*, Paris, Éditions de la MSH,
- BLANCPAIN Frédéric, « La création du CNRS : Histoire d'une décision (1901-1939) », *Bulletin de l'Institut International d'Administration Publique*, octobre-décembre 1974, n° 32, p. 751-801.
- BLOCH Laurent, *Les Systèmes d'exploitation des ordinateurs*, Paris, Vuibert, 2003.
- BLOCH-LAINÉ François et Jean BOUVIER (dir.), *La France restaurée, 1944-1954. Dialogue sur les choix d'une modernisation*, Paris, Fayard, 1986.
- BLUMTRITT Oskar, Hartmut PETZOLD et William ASPRAY, *Tracking the History of Radar*, Piscataway, N.J., IEEE & Deutsches Museum, 1994.
- BOË Louis-J., Michel GROSSETTI, Pierre-É. MOUNIER-KUHN *et alii.*, *Informatique et parole en France : un quart de siècle après la rencontre*, Grenoble, Institut de la Communication parlée, université Stendhal, 1993.
- BOITET Christian, « L'apport de Bernard Vauquois à la traduction automatique des langues naturelles », *Actes du colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, 1988, vol. 2, p. 63-80.
- BOLTER John David, *Turing's man, Western culture and the Computer Age*, University of North Carolina Press, 1984.
- BOTELHO Antonio José, *Professionals Against the State: French Electronics Policy in Historical Perspective*, Cambridge, Ma., Ph.D., MIT, 1996.
- BOUDON Raymond, *L'Art de se persuader des idées fausses, fragiles ou douteuses*, Paris, Fayard, 1990.
- BOUDON Raymond & Maurice CLAVELIN (dir.), *Le Relativisme est-il résistible ? Regards sur la sociologie des sciences*, Paris, PUF, 1994.
- BOURNEAU Christophe, « La contribution des technologies étrangères à l'électrification ferroviaire de la France (1890-1940) », *Histoire, Économie et Société*, 1993, n° 4, p. 553-572.
- BOURDIEU Pierre, « Le champ scientifique et les conditions sociales du progrès de la raison », *Sociologie et sociétés*, 1975, vol. 7, n° 1, p. 91-117.
- BOURDIEU Pierre, *Homo Academicus*, Paris, Éditions de Minuit, 1984.
- BOURDIEU Pierre, *La Noblesse d'État. Grandes Écoles et esprit de corps*, Paris, Éditions de Minuit, 1989.
- BOURQUIN Jean-Christophe, « Le Comité national de la recherche scientifique : sociologie et histoire (1950-1967). 1989-3 », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 3.
- BOUVIER Jean, « L'amont de notre incertain avenir : les longues durées », *Le Débat*, septembre-novembre 1987, n° 46.

- BOUVIER Jean, « Libres propos autour d'une démarche révisionniste », dans Patrick FRIDENSON et André STRAUS (dir.), *Le Capitalisme Français. 19^e-20^e siècles : Blocages et dynamisme d'une croissance*, Paris, Fayard, 1987.
- BRET Patrice et alii, *Des matériaux pour l'histoire : archives et collections scientifiques et techniques du XVIII^e siècle à nos jours*, textes réunis par Patrice BRET, Christiane DEMEULENAERE-DOUYÈRE et Liliane HILAIRE-PÉREZ, Société française d'histoire des sciences et des techniques, Fontenay-aux-Roses, ENS, 2000.
- BRET, Patrice. *L'État, l'armée, la science. L'invention de la recherche publique en France (1763-1803)*, Presses universitaires de Rennes, Collection Carnot, 2002.
- BRETON Philippe, « La cybernétique et les ingénieurs dans les années cinquante », *Culture technique*, 1984, n° 12.
- BRETON Philippe, « Enquête sur une technique au dessus de tous soupçons : la disparition des machines analogiques », *Milieus*, 1985, n° 22.
- BRETON Philippe, *Les Nouvelles technologies de l'information, études sur la naissance et le développement des technologies*, Strasbourg, thèse d'État, GERSULP, université Louis-Pasteur, 1985.
- BRETON Philippe, « L'informatique comme discipline existe-t-elle? Histoire d'un clivage qui sépare les informaticiens », dans Luc WILKIN, *Technologies de l'information. Aspects humain et sociaux*, Éditions de l'université de Bruxelles, 1986.
- BRETON Philippe, « La naissance de la cybernétique et l'autonomisation de l'informatique », *gkkg/Humankybernetik*, Verlag Modernes Lernen, 1987, Band 28, Heft 1.
- BRETON Philippe, *Histoire de l'informatique*, Paris, La Découverte, 1987.
- BRIAN Eric, « Le livre des sciences est-il écrit dans la langue des historiens ? », dans Bernard LEPETIT (dir.), *Les Formes de l'expérience. Une autre histoire sociale*, Paris, Albin Michel, 1995.
- BRIAN Eric, Christiane DEMEULENAERE-DOUYÈRE (dir), *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences, Guide de recherches, Technique et Documentation*, 1996, XII.
- BRIAN Eric, *La Mesure de l'État*, Paris, Albin Michel, 1994.
- BRYGOO Anne, « L'AFCEC et l'informatique à travers les éditoriaux des bulletins », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988, vol. 1, p. 157-168.
- BRODER Albert, « La multinationalisation de l'industrie électrique française, 1880-1931 : Causes et pratiques d'une dépendance », *Annales ÉSC*, 1984, vol. 39, n° 5, p. 1020-1043.
- BRULÉ Jean-Pierre, *L'Informatique malade de l'État. Du Plan Calcul à Bull nationalisée : un fiasco de 40 milliards*, Paris, Les Belles Lettres, 1993.
- BRUN Gérard, *Technocrates et techniciens en France 1914-1945*, Paris, Albatros, 1985.
- CALLENS Stéphane, *Les Maîtres de l'erreur. Mesure et probabilité au XIX^e siècle*, Paris, PUF, 1997.

- CALLON Michel & Bruno LATOUR, « Unscrewing the Big Leviathan: How Actors Macro-structure Reality and How Sociologists Help to Do so », dans K. KNORR-CETINA et A. V. CICOUREL (dir.), *Advances in Social Theory and Methodology. Toward an Integration of Micro and Macro-Sociologies*, Boston, Routledge & Keagan Paul, 1981.
- CALLON Michel (dir.), *La Science et ses réseaux. Genèse et circulation des faits scientifiques*, Paris, La Découverte, 1989.
- CAMBELL-KELLY Martin, « The Development of Computer Programming in Britain, 1945 to 1955 », *Annals of the History of Computing*, 1982, vol. 4, n° 2, p. 121-139.
- CAPSHAW James & Karen RADER, « Big Science: Price to the Present », *Osiris*, 1992, n° 7, p. 3-25.
- CARTEY Jacques, « Pour une politique des archives orales », *Revue administrative*, 1991.
- CARMILLE Robert, *Les Services statistiques français pendant l'Occupation*, Paris, s.n., 2000.
- CARDOT Fabienne (dir.), *Des entreprises pour produire de l'électricité*, colloque organisé par l'Association pour l'histoire de l'électricité en France (préf. de Marcel BOITEUX), Paris, PUF, 1988.
- CARE Charles Philip, *From analogy-making to modelling: The history of analog computing as a modelling technology*, Ph.D. in Computer Science, Coventry, University of Warwick, 2008.
- CARON François (dir.), *Les Brevets, leur utilisation en histoire des techniques et en économie*, Paris, Éditions du CNRS, 1984.
- CARON François et Fabienne CARDOT (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, t. 1 « Espoirs et conquêtes (1881-1918) », préface de Marcel BOITEUX, Paris, Fayard, 1994.
- CARON François, *Histoire des chemins de fer en France, 1740-1883*, Paris, Fayard, 1997.
- CARON François, *Histoire économique de la France, XIX^e-XX^e siècles*, Paris, Armand Colin, 1995.
- CARON François, *Les Deux révolutions industrielles du XX^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1997.
- CASPARD Pierre. « Pour une histoire des disciplines scolaires », *Histoire de l'Éducation*, mai 1988, n° 38, p. 3-6.
- CASTEL François du et F. LAVALLARD (dir.), *Le Centre national d'études des télécommunications (1944-1974)*, Paris, Centre de recherche sur la culture technique, 1990.
- Centre des Hautes Études de l'Armement (CHEAR), *Histoire de l'Armement en France, 1914-1962 : Institutions, industrie, innovations, relations internationales*, Paris, ADDIM, 1994.
- CERUZZI Paul E., *Reckoners : The Prehistory of the Digital Computer, from Relays to the Stored-Program Concept, 1935-1945*, Westport, Connecticut, Greenwood Press, 1983.
- CERUZZI Paul E., « Electronics Technology and Computer Science 1940-1975 : ACoevolution », *Annals of the History of Computing*, 1989, vol. 10, p. 257-275.

- CERUZZI Paul E., *Beyond the Limits : Flight Enters the Computer Age*, Cambridge, Mass, MIT Press, 1989.
- CERUZZI Paul E., « From Batch to Interactive: The Evolution of Computing Systems, 1957-1969 », *13th World Computer Congress*, 1994, vol. 94, n° 2, p. 279-294.
- CHABERT Jean-Louis et Amy DAHAN DALMEDICO, « Henri Poincaré, le précurseur », *La Recherche*, mai 1991, n° 232.
- CHABERT Jean-Louis, Evelyne BARBIN, Michel GUILLEMOT *et alii*, *Histoire d'algorithmes. Du caillou à la puce*, Paris, Belin, 1994.
- CHADEAU Emmanuel, *L'Industrie aéronautique en France (1900-1950). De Blériot à Dassault*, Paris, Fayard, 1987.
- CHAMAK Brigitte, Étude de la construction d'un nouveau domaine : les sciences cognitives. Le cas français, Paris, Thèse de doctorat, Univ. Paris VII, avril 1997.
- CHAMAK Brigitte, « The Emergence of Cognitive Science in France: A Comparison with the USA », *Social Studies of Science*, octobre 1999, vol. 29, n° 5, p. 643-684.
- CHAMAK Brigitte, « L'émergence des sciences cognitives en France », *Archives internationales d'Histoire des Sciences*, 2001, vol. 51, n° 147, p. 309-317.
- CHAPUIS A. et E. DROZ, *Les Automates*, Neuchatel, Éditions du Griffon, 1949.
- CHAPUIS Robert-J. & Amos E. JOEL, *Electronics, Computers and Telephone Switching*, New York, North Holland, 1990.
- CHARLE Christophe (dir.) et Régine FERRÉ, *Le Personnel de l'enseignement supérieur en France aux XIX^e et XX^e siècles*, Paris, IHMC-CNRS, 1985.
- CHARLE Christophe (en collab. avec Eva TELKÈS), *Le Personnel de la faculté des sciences de Paris. Dictionnaire biographique 1901-1939*, Paris, IHMC-CNRS, 1989.
- CHARLE Christophe, « Les professeurs des facultés des sciences en France : une comparaison Paris-Provence », *Revue d'histoire des sciences*, 1990, vol. XLIII, n° 4, p. 427-450.
- CHARLE Christophe, *La République des Universitaires (1870-1940)*, Paris, Le Seuil, 1994.
- CHARMASSON Thérèse, Christiane DEMEULENAERE-DOUYÈRE, Catherine GAZIELLO et Denise OGILVIE, *Les Archives personnelles des scientifiques. Classement et conservation*, Paris, Archives nationales, 1995.
- CHARMASSON Thérèse, *Archives et sources pour l'histoire de l'enseignement*, Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques, 2005.
- CHASTENET DE GÉRY Jérôme, « Sainte-Lagüe, André (1882-1950), professeur de Mathématiques générales en vue des applications », dans Claudine FONTANON et André GRELON (dir.), *Les Professeurs du CNAM. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, INRP et CNAM, 1994.
- CHATRIOT Alain et Vincent DUCLERT (dir.), *Le Gouvernement de la recherche. Histoire d'un engagement politique de Pierre Mendès France à Charles de Gaulle (1953-1969)*, Paris, La Découverte, 2006.
- CHEVALIER Jean-Claude et Pierre ENCREVÉ, *Combats pour la linguistique, de Martinet à Kristeva : essai de dramaturgie*, Paris, ENS, 2006.

- CHEVALLEY Claude et Albert LAUTMAN, « Jacques Herbrand », *Annuaire des anciens élèves de l'ENS*, 1932.
- CHEVALLEY Claude, « Sur la pensée de Jacques Herbrand », *Écrits logiques*, Paris, PUF, 1968.
- CHRISTIANNE général, « L'industrie aéronautique française de septembre 1939 à juin 1940 », Actes du colloque *Français et Britanniques dans la drôle de guerre*, Paris, Éditions du CNRS, 1979.
- CLAGUE Monique, « Vision and Myopia in the New Politics of André Tardieu », *French Historical Studies*, VIII n° 1, 1973.
- CLARK Terry N., « Le patron et son cercle : clef de l'Université française », *Revue française de sociologie*, 1971, XII, n° 1, p. 19-39.
- COHEN Élie, *L'État brancardier*, Paris, Calmann-Lévy, 1989.
- COHEN Élie, *Le Colbertisme high-tech*, Paris, Hachette, 1990.
- COHEN Elie et M. BAUER, « Politiques d'enseignement et coalitions industrialo-universitaires : l'exemple de deux Grandes Écoles de chimie, 1882-1876 », *Revue française de sociologie*, 1981, XXII-2.
- COHEN I. Bernard, « The Computer : A Case Study of Support by Government, Especially the Military, of a New Science and Technology », dans Everett MENDELSON, Merritt ROE SMITH & Peter WEINGART (dir.), *Science, Technology, and the Military*, Boston, Kluwer, 1988, p. 119-154.
- COHEN I. Bernard, *The Triumph of Numbers: How Counting Shaped Modern Life*, New York, W. W. Norton & Company, 2005.
- COHEN Patricia, *A Calculating People. The Spread of Numeracy in America*, Cambridge, Ma., MIT Press, 1983.
- CORTADA James W., *The Computer in the United States. From Laboratory to Market, 1930 to 1960*, Armonk, NY, M.E. Sharpe, 1993.
- CRAWFORD Stephen, *Technical Workers in an Advanced Society. The Work, Careers and Politics of French Engineers*, Cambridge, CUP-MSH, 1989.
- CRÉMIEUX-BRILHAC Jean-Louis, « Le Mouvement pour l'Expansion de la Recherche scientifique (1956-1968) », dans *Henri Laugier en son siècle, Cahiers pour l'histoire de la Recherche*, Paris, CNRS Éditions, 1995.
- CRÉPEL Pierre et Denis BAYART, « Statistical control of manufacture », dans Ivor GRATTAN-GUINNESS (dir.), *Companion Encyclopedia of the history and philosophy of mathematical sciences*, 1994, vol. 2, p. 1386-1391.
- CRÉPEL Pierre, « Calcul des probabilités : de l'arithmétique sociale à l'art militaire », dans Bruno BELHOSTE, Amy DAHAN & Antoine PICON (dir.), *La Formation polytechnicienne (1794-1994)*, Paris, Dunod, 1994, p. 197-215.
- CRÉPEL Pierre, « Comment trouver les mémoires et ouvrages d'un savant ? L'exemple de Charles Romme », dans *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences*, Paris, Tec et Doc-Lavoisier, 1996, p. 291-310.

- CROARKEN Mary G., *The Centralization of Scientific Computation in Britain (1925-1955)*, Oxford, Clarendon Press, 1990.
- CROUSSE Bernard, Jean-Louis QUERMONNE et Luc ROUBAN (dir.), *Science politique et politique de la science*, Paris, Economica, 1986.
- CROUZET François, « C'est l'Angleterre qui a gagné la guerre », *Les Collections de l'histoire*, 2003, n° 20.
- CROUZET François, *De la supériorité de l'Angleterre sur la France*, Paris, Perrin, 1983.
- CROZIER Michel, *La Société bloquée*, Paris, Le Seuil, 1971.
- CROZIER Michel, *L'Acteur et le système*, Paris, Le Seuil, 1977.
- CROZIER Michel, *On ne change pas la société par décret*, Paris, Grasset, 1979.
- DAHAN DALMEDICO Amy, « L'essor des mathématiques appliquées aux États-Unis : l'impact de la seconde guerre mondiale », *Revue d'histoire des mathématiques*, 1996, t. II, fasc. 2, p. 149-213.
- DAHAN DALMEDICO Amy et Dominique PESTRE (dir.), *Les Sciences pour la guerre (1940-1960)*, Paris, EHESS, 2004.
- DAHAN DALMEDICO Amy, *Jacques-Louis Lions, un mathématicien d'exception entre recherche, industrie et politique*, (préf. Bernard LARROUTOUROU), Paris, La Découverte, 2005.
- DAUMAS Maurice (dir.), *Histoire de la science*, Paris, Gallimard, 1957.
- DAUMAS Maurice, *Le Cheval de César, ou le mythe des révolution techniques*, Paris, Éditions des Archives contemporaines, 1991.
- DAY Charles R., *Les Écoles d'Arts et Métiers*, Paris, Belin, 1991.
- DEBEIR Jean-Claude, Jean-Paul DELÉAGE, Daniel HÉMERY, *Les Servitudes de la puissance : Une histoire de l'énergie*, Paris, Flammarion 1986.
- DEBRU Claude, Jean-Gaël BARBARA et Céline CHERICI, *L'essor des neurosciences*, Paris, Hermann, 2008.
- DEHEUVELS Pierre, *La Recherche scientifique*, Paris, PUF, coll. « Que Sais-je ? », 1990.
- DELMAS Bruno, « Révolution industrielle et mutation administrative : l'innovation dans l'administration française au XIX^e siècle », *Histoire, Économie et Sociétés*, 1985, n° 2, p.217-232.
- DESCAMPS Florence, *L'Historien, l'archiviste et le magnétophone. De la constitution de la source orale à son exploitation*, (préf. François MONNIER, avant-propos Dominique SCHNAPPER), Paris, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, 2001.
- DESROSIÈRES Alain, *La Politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*, Paris, La Découverte, 1993.
- DHOMBRES Jean et Jean-B. ROBERT, *Fourier, créateur de la physique-mathématique, 1768-1830*, Paris, Belin, 1998.
- DHOMBRES Jean, « Structures mathématiques et formes de pensée chez les ingénieurs », *Culture technique*, 1984, n° 12.

- DIMET Bernard, *Informatique : son introduction dans l'enseignement obligatoire, 1980-1997*, Paris, L'Harmattan, coll. « Logiques sociales », 2003.
- DIMET Bernard, *Enseignants et ordinateurs à l'aube de la Révolution Internet. Le cas de l'académie d'Amiens 1980-1997*, préface de Michel Armatte, Paris, L'Harmattan, coll. « Logiques sociales », 2005.
- DOSSO Diane, « The Rescue of French Scientists: Respective Roles of the Rockefeller Foundation and the Biochemist Louis Rapkine (1904-1948) », dans Giuliana GEMELLI (dir.), *The "Unacceptables": American Foundations and Refugee Scholars Between the Two Wars and After*, PIE Peter Lang, 2000, p. 195-215.
- DOUYÈRE-DEMEULENAERE Christiane et ERIC BRIAN, *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences. Guide de recherches*, Paris, Tec et Doc, 1996.
- DOWEK Gilles, *Les Métamorphoses du calcul : Une étonnante histoire des mathématiques*, Paris, Le Pommier, 2007.
- DROUARD Alain, *Analyse comparative des processus de changement et mouvements de réforme dans l'enseignement supérieur français*, Paris, Éditions du CNRS, ATP 25, 1978.
- DRUESNE Gérard, *Le CNRS*, Paris, Masson, 1975.
- DUBUCS Jacques et Paul EGRÉ, « Jacques Herbrand », « Jean Nicod, l'induction et la géométrie », dans M. BITBOL et J. GAYON (dir.), *Cent ans d'épistémologie française*, Paris, PUF, 2006, p. 301-322.
- DUBUCS Jacques, « Simulations et modélisations », *Dossiers Pour la Science*, 2006, n° 52, p. 6-10.
- DUPUY Jean-Pierre, *Aux origines des sciences cognitives*, Paris, La Découverte, 1994.
- DURAND-RICHARD Marie-José (dir.), dossier « Des lois de la pensée aux constructivismes », *Intellectica*, 2004, n° 39.
- DURAND-RICHARD Marie-José, « Pour une historiographie comparée de l'histoire de l'informatique », dans A. BONNEFOY et B. JOLY, *Actes du Congrès d'histoire des sciences et des techniques (2004). Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, Poitiers, SFHST, 2006.
- DURAND-RICHARD Marie-José (dir.), *Les Mathématiques dans la cité*, Paris, Presses universitaires de Vincennes, 2006.
- DURCKHEIM Émile, *Les Règles de la méthode sociologique*, Paris, PUF, 1937.
- EASTON Susan M. et David LAMB, *Multiple Discovery. The Pattern of Scientific Progress*, Avebury, 1984.
- EDGE David & Michael MULKAY, *Astronomy Transformed: The Emergence of Radio Astronomy in Britain*, New York, Wiley-Interscience, 1976.
- EDWARDS Paul N., *A Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*, MIT Press, 1996.
- ELGOZY Georges, *Le Désordinateur. Le péril informatique*, Paris, Calmann-Lévy, 1972.
- EMPTOZ Gérard (dir.), *Histoire de l'université de Nantes, 1460-1993*, Rennes, PUR, 2002.

- EMPTOZ Gérard et Valérie MARCHAL, *Aux sources de la propriété industrielle, Guide des archives de l'INPI*, Paris, INPI, 2003.
- ESRC-NSF, *Rise and Fall of a Priority Field*, Symposium 22-24 septembre 1985, Strasbourg, ESRC, 1986.
- ETZKOWITZ Henry, *MIT and the Rise of Entrepreneurial Science*, London, Routledge, 2002.
- FACON Patrick, *L'Armée de l'air dans la tourmente. La Bataille de France 1939-1940*, Paris, Economica, 1996.
- FEBVRE Lucien, « Réflexions sur l'histoire des techniques », *Annales*, 1935, p. 531-532 ; reproduit dans *Réflexions sur l'histoire*, Paris, SEVPEN, 1962, p. 659-664
- FEYERABEND Paul, *Contre la méthode*, Paris, Le Seuil, 1979.
- FLAMM Kenneth, *Targeting the Computer*, Washington DC, Brookings Institution, 1987.
- FLAMM Kenneth, *Creating the Computer*, Washington D.C., Brookings Institution, 1988.
- FLICHY Patrice, *Une histoire de la communication moderne. Espace public et vie privée*, Paris, La Découverte 1991.
- FLICHY Patrice, *L'Innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Paris, La Découverte, 1995.
- FONTANON Claudine et André GRELON (dir.), *Les Professeurs du CNAM. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, INRP et CNAM, 1994.
- FONTANON Claudine, Michel LE MOËL et Raymond SAINT-PAUL (dir.), *1794-1994 : Le Conservatoire national des Arts et Métiers au cœur de Paris*, Paris, CNAM et Ville de Paris, 1994.
- FONTANON Claudine & Robert FRANK (dir.), *Paul Painlevé (1863-1933). Un savant en politique*, Presses universitaires de Rennes, coll. « Carnot », 2005.
- FONTANON Claudine (dir.), *Histoire de la mécanique appliquée : enseignement, recherche et pratiques mécaniciennes en France après 1880*, ENS éditions, Fontenay-aux-Roses, 1998.
- FORTUN Mike & Silvan S. SCHWEBER, « Scientists and the Legacy of World War II: The Case of Operations Research », *Social Studies of Science*, 1993, vol. 23, n° 4, p. 595-642.
- FOUCAULT Michel, *L'Archéologie du savoir*, Paris, Gallimard, 1969.
- FOURASTIÉ Jean, *Les Trente Glorieuses, ou la Révolution invisible de 1946 à 1975*, Paris, Fayard, 1979.
- FOURNIER Marcel, Yves GINGRAS, Mathurin CREUTZER, « L'évaluation par les pairs et la définition légitime de la recherche universitaire », *Actes de la recherche en sciences sociales*, 1988, n° 74, p. 47-54.
- FOX Robert et George WEISZ (dir.), *The Organization of Science and Technology in France 1808-1914*, Cambridge University Press et Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1981.

- FOX Robert, « L'attitude des professeurs des facultés des sciences face à l'industrialisation en France entre 1850 et 1914 », dans Christophe CHARLE et Régine FERRÉ (dir.), *Le Personnel de l'enseignement supérieur en France aux XIX^e et XX^e siècles*, Paris, IHMC-CNRS, 1985, p. 135-149.
- FOX Robert & Anna Guagnini, *Education, Technology and Industrial Performance in Europe, 1850-1939*, Cambridge & Paris, CUP & Éditions de la MSH, 1993.
- FOX Robert, *Science, Industry, and the Social Order in Post-Revolutionary France*, Aldershot, Variorum, 1995.
- FOX Robert (dir.), *Technological Change: Methods and Themes in the History of Technology*, Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 1996.
- FRANK Robert, *La Hantise du déclin. La France 1920-1960 : finances, défense et identité nationale*, Paris, Belin, 1994.
- FREEMAN Christopher et Henri MENDRAS (dir.), *Le Paradigme informatique. Technologie et évolution sociale*, Paris, Descartes et Cie, 1995.
- FRIDENSON Patrick et André STRAUS (dir.), *Le Capitalisme Français. XIX^e-XX^e siècles : Blocages et dynamisme d'une croissance*, Paris, Fayard, 1987.
- GABAY Michèle, E. QUINET, B. WALLISER, *Représentations et anticipations des agents : le fonctionnement de la commission de la recherche*, Paris, Rapport du CGP, 1985.
- GALISON Peter et Bruce HEVLY (dir.), *Big Science. The Growth of Large-Scale Research*, Stanford, SUP, 1992.
- GARDEY Delphine, *La Dactylographe et l'expéditionnaire. Histoire des employés de bureau, 1890-1930*, Paris, Belin, 2001.
- GATIER, Pierre-Antoine, Monique MAHAUT, Paul SMITH, Yannick LECHERBONNIER, « La soufflerie de Meudon », *L'Archéologie industrielle*, décembre 2000, n° 37, p. 6-35.
- GAUDILLIÈRE Jean-Paul, « Chimie biologique ou biologie moléculaire ? La biochimie au CNRS dans les années soixante », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990-7, p. 91-147.
- GAUDIN Thierry, *L'Écoute des silences*, Paris, 10/18, 1978.
- GEOGHEGAN Bernard D., « Historiographic Conceptualization of Information: A Critical Survey », *IEEE Annals of the History of Computing*, janvier 2008, vol. 30, n° 1, p. 66-81.
- GIBBONS Michael, Camille LIMOGES et alii, *The New Production of Knowledge. The Dynamics of Science and Research in contemporary Societies*, London, SAGE Publications, 1994.
- GILLE Bertrand, *Histoire générale des techniques*, Paris, La Pléiade, Gallimard, 1978.
- GILLISPIE Charles (dir.), *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Ch. Scribner's sons, 1970-1980, 16 vol.
- GILPIN Robert, *France in the Age of the Scientific State*, Princeton University Press, 1968.
- GINGRAS, Yves, « L'institutionnalisation de la recherche en milieu universitaire et ses effets ». *Sociologie et sociétés*, 1991, vol. 23, n° 1, p. 41-54.

- GIRAUD Alain, Jean-Louis MISSIKA et Dominique WOLTON (dir.), *Les Réseaux pensants : télécommunications et société*, Paris, Masson, CNET, 1978.
- GISPERT Hélène, « Nouvelles sources, nouveaux intérêts en histoire des mathématiques », *Revue de l'association Henri Poincaré*, décembre 1984, n° 1.
- GISPERT Hélène (dir.), *La France mathématique : la Société mathématique de France, 1872-1914, Suivi de cinq études*, par Rudolf BKOUCHE, Christian GILAIN, Christian HOUZEL, Jean-Pierre KAHANE, Martin ZERNER, Paris, SFHST-SMF, 1991.
- GISPERT Hélène, « De Bertrand à Hadamard : quel enseignement d'analyse pour les polytechniciens ? », dans Bruno BELHOSTE, Amy DAHAN et Antoine PICON (dir.), *La Formation polytechnicienne 1794-1994*, Paris, Dunod, 1994, p. 181-198.
- GISPERT Hélène, (dir.) « Par la science, pour la patrie ». L'Association française pour l'avancement des Sciences (1872-1914). Un projet politique pour une société savante, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2002.
- GISPERT Hélène, « The Effects of War on France's International Role in Mathematics, 1870-1914 », *American Mathematical Society and London Mathematical Society*, Providence & London, 2002, p. 105-121.
- GODEMENT Roger, « Aux sources du modèle scientifique américain », *La Pensée*, octobre 1978, n° 201, p. 33-110.
- GOLDSTINE Herman H., *A History of Numerical Analysis from the Sixteenth to the Nineteenth Century*, New York, Springer Verlag, 1977.
- GOLDSTINE Herman H., *The Computer, from Pascal to Von Neumann*, Princeton, N.J., PUP, 1972, rééd. 1993.
- GOMIS A., COTTAM J., Jacqueline WESSELIUS, Bernard LÉCUYER, Gérard LEMAINÉ, C. BARTHÉLÉMY, *Éléments d'organisation de la recherche fondamentale en France*, Paris, CNRS-EPHE, Groupe d'études et de recherche sur la science, 1971.
- GRALL Bernard, *Économie de forces et production d'utilités. L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891)*, Presses universitaires de Rennes, 2004.
- GRAS Alain et Sophie POIROT-DELPECH (dir.), *L'Imaginaire des techniques de pointe*, Paris, L'Harmattan, coll. « Logiques sociales », 1989.
- GRATTAN-GUINNESS IVOF, *The Search for Mathematical Roots, 1870-1940: Logics, Set Theories and the Foundations of Mathematics from Cantor through Russell to Gödel*, Princeton, PUP, 2001.
- GRELON André (dir.), *Les Ingénieurs de la crise*, Paris, ÉHÉSS, 1986.
- GRELON André, « La question des besoins en ingénieurs de l'économie française. Essai de repérage historique », *Technologie-Ideologie-Pratique*, 1987, vol. 6, n° 4.
- GRELON André, « Les origines et le développement des écoles d'électricité Bréguet, Charliat, Sudria et Violet avant la seconde guerre mondiale », *Bulletin d'histoire de l'électricité*, Paris, juin 1988, n° 11, p. 121-143.
- GRELON André, « Les universités et la formation des ingénieurs en France (1870-1914) », *Formation emploi*, 1989, n° 27-28.

- GRELON André, « La formation des ingénieurs électriciens entre les deux guerres », dans Maurice LÉVY-LEBOYER et Henri MORSEL (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, Paris, t. 2 (1918-1945), Fayard, 1995.
- GRELON André et Françoise BIRCK (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine. Enseignements industriels et formations technico-scientifiques supérieures, XIX^e-XX^e siècles*, Metz, Éditions Serpenoise, 1998.
- GRÉMION Pierre et Haroun JAMOUS, *L'Ordinateur au pouvoir*, Paris, Le Seuil, 1978.
- GRIER David Alan, « Think Piece. Whither the History of Computing? », *IEEE Annals of the History of Computing*, April-June 2000, p. 96-95.
- GRISSET Pascal, *Entreprise, technologie et souveraineté : Les télécommunications transatlantiques de la France, XIX^e-XX^e siècles*, Paris, éditions Rive Droite, Institut d'histoire de l'industrie, 1996.
- GROSSETTI Michel, « Enseignement supérieur et technopoles. Le cas de l'informatique à Toulouse », *Revue française de sociologie*, 1990, XXXI, p. 463-482.
- GROSSETTI Michel, « Sciences appliquées et technopole. Le cas toulousain », Toulouse, *Cahiers du L.E.R.A.S.S.*, mai 1990.
- GROSSETTI Michel, *Structuration territoriale des sciences appliquées en France. Étude comparative de Toulouse, Grenoble et Nancy*, Paris, Rapport final, CNRS-PIRTTEM, 1991.
- GROSSETTI Michel & Pierre-Éric MOUNIER-KUHN, « Les débuts de l'informatique dans les universités. Un moment de la différenciation géographique des pôles scientifiques français », *Revue française de sociologie*, 1995, n° 2, p. 295-321.
- GROSSETTI Michel, *Science, industrie et territoire*, Toulouse, Presses universitaires du Mirail, 1995.
- GROSSETTI Michel, *Sociologie de l'imprévisible. Dynamiques de l'activité et des formes sociales*, Paris, PUF, 2004.
- Groupe d'étude sur le fonctionnement du Comité national de la recherche scientifique, Paris, CNRS, 1973.
- GUILLAUME Marcel, « La logique mathématique en France entre les deux guerres mondiales : quelques repères », *Revue d'histoire des sciences*, septembre 2009, vol. 62, n° 1, p. 177-220.
- GUPTA Gopal K., « Computer Science Curriculum Developments in the 1960s », *IEEE Annals of the History of Computing*, avril-juin 2007, vol. 29, n° 2, p. 40-54.
- GUTHLEBEN Denis, *Histoire du CNRS de 1939 à nos jours. Une ambition nationale pour la science*, Paris, Armand Colin, 2009.
- HACKING Ian, *The Social Construction of What?*, Cambridge, Ma, Harvard University Press, 1999.
- HAMBURGER Jean, René THOM et alii (dir.), *La Philosophie des sciences aujourd'hui*, Paris, Académie des sciences et Gauthier-Villars, 1986.
- HARTMANIS Juris, « Observations about the Development of Theoretical Computer Science », *Annals of the History of Computing*, janvier 1981, vol. 3, n° 1, p. 42-51.

- HEIDEGGER Martin, *La Question de la technique*, dans *Essais et conférences*, Paris, Gallimard, 1973.
- HEIMS Steve, *John von Neumann and Norbert Wiener. From Mathematics to the Technologies of Life and Death*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1980.
- HENDRY John, « Prolonged Negotiations: The British Fast Computer Project and the Early History of the British Computer Industry », *Business History*, 1984, n° 26.
- HERMANN Armin, JOHN KRIGE, Ulrike MERSITS & Dominique PESTRE, *History of CERN*, Amsterdam, North Holland, 1990.
- HILAIRE-PEREZ Liliane, *L'Invention technique au siècle des Lumières* (préf. de Daniel ROCHE), Paris, A. Michel, coll. « L'évolution de l'humanité », 2000.
- HINSLEY Francis H. *et alii*, *Intelligence in the second World War*, Cambridge, Cambridge UP, 1993.
- HODGES Alan, *Alan Turing: The Enigma*, New York, Simon and Schuster, 1983.
- HOFFMANN Stanley, *In Search of France*. New York, Harper Torch Books, 1967.
- HOFFSAËS Colette, « Histoire de l'AFCEC et des sociétés qui l'ont précédée », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988, vol. 1, p. 269-292.
- HOUNSHELL David, « Rethinking the Cold War; Rethinking Science and Technology in the Cold War; Rethinking the Social Study of Science and Technology », *Social Studies of Science*, 2001, vol. 31, n° 2, p. 289-297.
- HOUNSHELL David, « The Cold War, RAND, and the Generation of Knowledge, 1946-1962 », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 1997, vol. 27, n° 2, p. 237-267.
- HOWLETT Jack, Nicholas METROPOLIS & Gian-Carlo ROTA, *A History of Computing in the XXth century. A Collection of Essays*, New York, Academic Press, 1980.
- HUGHES Thomas P., *Elmer Sperry. Inventor and Engineer*, Baltimore & London, The John Hopkins University Press, 1971.
- HUGHES Thomas P., « ENIAC: Invention of a Computer », *Technikgeschichte*, 1975, vol. 42, n° 2, p. 148-165.
- HUGHES Thomas P., « The Development Phase of Technological Change », *Technology and Culture*, 1976, vol. 17, n° 2, p. 423-431.
- HUGHES Thomas P., « The Electrification of America: The System Builders », *Technology and Culture*, 1979, n° 20, p. 124-161.
- HUTCHINS W. John, *Early Years in Machine Translation: Memoirs and Biographies of Pioneers*, Amsterdam & Philadelphia, John Benjamins Publishing Company, 2000.
- IFRAH Georges, *Histoire universelle des chiffres*, Paris, Seghers, 1981.
- IFRAH Georges, *Les Chiffres, ou l'histoire d'une grande invention*, Paris, Robert Laffont, collection La fontaine des sciences, 1984.
- JACOMY Bruno, *Une histoire des techniques*, Paris, Le Seuil, coll. « Point-Sciences », 1990.
- JACQ François, *Pratiques scientifiques, formes d'organisation et conceptions politiques de la science dans la France d'après-guerre*, Paris, thèse de doctorat, CSO-École nationale supérieure des mines, 1996.

- KARADY Victor, « De Napoléon à Duruy : les origines et la naissance de l'Université contemporaine » et « Les universités et la Troisième République », dans Jacques VERGER (dir.), *Histoire des Universités en France*, Toulouse, Privat, 1986.
- KASPI André (dir.), *Les Relations franco-américaines dans le domaine de la technologie*, Paris, Paillart, 2000.
- KEVLES Daniel, *The Physicists*, New York, Knopf, 1977.
- KOYRÉ Alexandre, *Études d'histoire de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973.
- KOZACZUK W., *Enigma : How the German Cipher Was Broken and How it Was Read by the Allies in World War Two*, Frederick, MD, University Publications of America, 1984.
- KRIGE John et Arturo RUSSO (avec Lorenza SEBESTA), *Europe in Space, 1960-1973*, Noordwijk, Agence Spatiale Européenne, 1994.
- KRIGE John, *American Hegemony and the Postwar Reconstruction of Science in Europe*, Cambridge, Ma., MIT Press, 2006.
- KROPFINGER Gwenaël, « Les mathématiques au CNRS dans les années 1970 », (papier de recherche, 1998, en ligne).
- KRÜGER Lorenz et al. (ed.), *The Probabilistic revolution*, Cambridge, Ma., MIT Press, 2 vols., 1. *Ideas in history*, 1986, vol. 2, *Ideas in the Sciences*, 1990.
- KUHN Thomas (dir.), *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University of Chicago Press, 1977.
- KUHN Thomas, *La Structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1983.
- KUISEL Richard F., *Le Capitalisme et l'État en France. Modernisation et dirigisme au XX^e siècle*, Paris, Gallimard, 1984.
- LAFONTAINE Cécile, *L'Empire cybernétique. Des machines à penser à la pensée machine*, Paris, Seuil, 2004.
- LAMARD Pierre & Yves-Claude LEQUIN, *La Technologie entre à l'Université. Compiègne, Sevenans, Belfort-Montbéliard*, préf. de André GRELON, université technologique de Belfort-Montbéliard, 2006.
- LAMY Jérôme, « La Carte du ciel et la création du "bureau des dames" », *Nuncius. Journal of the history of science*, 2007, vol. XXI, n° 1, p. 101-120.
- LAMY Jérôme (dir.), *La Carte du Ciel. Histoire et actualité d'un projet scientifique international*, Paris, EDP Sciences, 2008.
- LANDES Daniel S., *L'Heure qu'il est. Les horloges, la mesure du temps et la formation du monde moderne* (trad.), Paris, Gallimard, 1987.
- LANGE Werner, *Mechanische Rechenmaschinen*, Hamburg, Lange, 1979.
- LANGE Werner, *Buchungsmaschinen. Meisterwerke Feinmechanischer Datenverarbeitung 1910 bis 1960*, München, R. Oldenburg Verlag, 1986.
- LANTHIER Pierre, *Les Constructions électriques en France : Financement et stratégies de six groupes industriels internationaux (1880-1940)*, Paris, thèse de doctorat, Univ. Paris-X, 1988.
- LASSÈGUE Jean, *Turing*, Paris, Les Belles Lettres, 1998.

- LATOUR Bruno, *La Science en action*, Paris, La Découverte, 1989.
- LATOUR Bruno, *L'Espoir de Pandore. Pour une version réaliste de l'activité scientifique*, Paris, La Découverte, 2001.
- LAUTMAN Jacques, « L'évaluation au CNRS », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990, n° 10, p. 9-18.
- LAVINGTON Simon, *A History of Manchester Computers*, Manchester, National Computing Center, 1975.
- LAVINGTON Simon, *Early British Computers*, Manchester, Manchester University Press, 1980.
- LE BOLLOCH Chantal, *La Politique industrielle française en matière d'électronique*, Paris, Thèse de doctorat en sciences économiques, université Paris XII, 1986.
- LE GUET-TULLY Françoise, « Henri Chrétien. Paris 1879-Washington 1956 », dans *Mélanges Paul Gonnet*, Nice, 1989, p. 217-223.
- LE KAY, « From logical neurons to poetic embodiments of mind: Warren S. McCulloch's project in neuroscience », *Science in Context*, décembre 2001, vol. 14, n° 4, p. 591-614.
- LE ROUX Ronan, « L'impossible constitution d'une théorie générale des machines ? La cybernétique dans la France des années 1950 », *Revue de synthèse*, 2009, tome 130, 6^e série, n° 1, p. 5-36.
- LÉCUYER Christophe & Timothy LENOIR, « Instrument Makers and Discipline Builders: The Case of NMR », *Perspectives on Science*, 1995, vol. 3, n° 4, p. 97-115.
- LÉCUYER Christophe, « The Making of a Science-Based Technological University: Karl Compton, James Killian, and the reform of MIT, 1930-1957 », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Berkeley, vol. 23, n° 1, 1992, p. 153-180.
- LEE John A. N., « Whiggism in Computer Science », *Actes du 3^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Sophia Antipolis, INRIA, 1993.
- LEE John A. N. & Golde HOLTZMAN, « 50 Years after Breaking the Codes: Interviews with Two Bletchley Park Scientists », *Annals of the History of Computing*, 1995, vol. 17, n° 1, p. 32-43.
- LELONG Pierre, « L'action à l'égard de la Recherche scientifique et technique », *De Gaulle et le service de l'État*, Paris, Plon, 1977, chap. VII.
- LEMAINE Gérard, Roy MACLEOD, Michael MULKAY, Peter WEINGART, *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*, Paris, Moulton-Aldine, coll. « Maison des sciences de l'Homme », 1976.
- LEMAINE Gérard, Gérard DARMON, Saba EL NEMER, *Noopolis. Les laboratoires de recherche fondamentale : de l'atelier à l'usine*, Paris, CNRS-EPHE, Groupe d'études et de recherche sur la science, 1982.
- LENOBLE R. P. Robert, « Les origines de la pensée scientifique moderne », dans Maurice DAUMAS (dir.), *Histoire de la science*, Paris, Gallimard, 1957, p. 367-530.
- LENOIR Timothy, *Instituting Science. The Cultural Production of Scientific Disciplines*, Stanford, SUP, 1997.

- LÉON Jacqueline, « Les débuts de la traduction automatique en France (1959-1968) : à contretemps ? », *Modèles linguistiques*, 1998, t. XIX, fascicule 2, p. 55-86 ; et « Le CNRS et les débuts de la traduction automatique en France », *Revue pour l'histoire du CNRS*, mai 2002, n° 6.
- LEROI-GOURHAN André, *Le Geste et la parole*, t. 1 *Technique et langage*, t. 2, *La Mémoire et les rythmes*, Paris, Albin Michel, 1964-1965.
- LESLIE Stuart, « Profit and Loss: The Military and MIT in the Postwar Era », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 21, n° 1, 1990, p. 59-85.
- LESLIE Stuart W., « Regional Disadvantage. Replicating Silicon Valley in New York's Capital Region, » *Technology and Culture*, 2001, vol. 42, n° 2, p. 236-264.
- LESLIE Stuart, *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*, New York, Columbia University Press, 1993.
- LESOURNE Jacques, « L'équation française », *Le Débat*, septembre 1987, n° 46.
- LESOURNE Jacques, *Un homme de notre siècle. De Polytechnique à la prospective et au journal Le Monde*, Paris, Odile Jacob, 2000.
- LEVET Jean-Louis, *Une France sans usines ?*, Paris, Economica, 1990.
- LÉVY Pierre, *La Machine univers : création, cognition, et culture informatique*, Paris, La Découverte, 1986.
- LÉVY Pierre, « L'invention de l'ordinateur », dans Michel SERRES (dir.), *Éléments d'histoire des sciences*, Paris, Bordas, 1989.
- LÉVY-LEBOYER Maurice (dir.), *Histoire industrielle de la France*, Paris, Larousse, 1995.
- LIBOIS Louis-Joseph, *Genèse et croissance des télécommunications*, Paris, Masson, 1985.
- LIGONNIÈRE Robert, *Préhistoire et histoire des ordinateurs*, Paris, Laffont 1987.
- C. LIVERCY, *Théorie des programmes*, Paris, Dunod, 1978.
- LOCQUENEUX Robert, « L'intérêt de l'histoire de la physique pour la formation des physiciens selon Henri Bouasse », *Revue d'histoire des sciences*, 2005, vol. 58, n° 2, p. 407-431.
- LOCQUENEUX Robert, *Henri Bouasse, un regard sur l'enseignement et la recherche*, Albert Blanchard, 2008.
- LOUBET DEL BAYLE Jean-Louis, *Les Non-conformistes des années trente : une tentative de renouvellement de la pensée politique française*, Paris, Le Seuil, 1969.
- LUCCIO Fabrizio (dir.), CORRADO BONFANTI et al., *L'Informatica. Lo sviluppo economico, tecnologico e scientifico in Italia*, Florence, Edifir, 2007.
- LUDMANN-OBIER Marie-France, « Un aspect de la chasse aux cerveaux : les transferts de techniciens en France (1945-1949) », *Relations internationales*, 1986, n° 46.
- LUDMANN-OBIER Marie-France, « La mission du CNRS en Allemagne (1945-1950) », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989-3.
- MACKENZIE Donald, « The Influence of the Los Alamos and Livermore National Laboratories on the Development of Supercomputing », *Annals of the History of Computing*, 1991, vol. 13, p. 179-201.

- MACKENZIE Donald, *Statistics in Britain: The Social Construction of Scientific Knowledge*, Edinburgh University Press, 1981.
- MAHONEY Michael S. « Issues in the History of Computing », dans Thomas J. BERGIN & Richard G. GIBSON (dir.), *History of Programming Languages Conference (HOPL II)*, New York, ACM Press & Addison Wesley, 1996, p. 772-781.
- MAHONEY Michael S., « Computer Sciences: The Search for a Mathematical Theory, » dans John KRIGE and Dominique PESTRE (dir.), *Science in the 20th Century*, Amsterdam, Harwood Academic Publishers, 1997, Chap. 31, p. 617-634.
- MAHONEY Michael S., « Software as Science, Science as Software », dans Ulf HASHAGEN, Reinhard KEIL-SLAWIK et Arthur NORBERG (dir.), *ICHC 2000: Mapping the History of Computing. Software Issues*, Berlin, Springer Verlag, 2002.
- MAHONEY Michael S., « Finding a History for Software Engineering », *IEEE Annals of the History of Computing*, 2004, vol. 26, n° 1, p. 8-19.
- MAHONEY Michael S., « Histories of Computing », *Interdisciplinary Science Review*, 2005, vol. 30, n° 2.
- MAIRESSE Jacques & Suzanne THAVE (dir.), *Pour une histoire de la statistique: contributions*, Paris, Economica, 1987.
- MARGUIN Jean, « Le reporteur et la naissance du calcul mécanique », *Revue du musée des Arts et Métiers*, février 1993, n° 2.
- MARGUIN Jean, *Histoires des instruments et machines à calculer. Trois siècles de mécanique pensante*, Paris, Hermann, 1994.
- MARGUIN Jean, « Une histoire du calcul artificiel et de ses concepts », *Sciences*, Association Française pour l'Avancement des Sciences, janvier 1997, vol. 97, n° 1.
- MARGUIN Jean, « L'arithmomètre de Thomas n° 1398 », *Bulletin de la Société des Amis de la Bibliothèque de l'X*, décembre 1997, n° 18.
- MATTELART Armand, *Histoire de la société de l'information*, Paris, La Découverte, coll. « Repères », 2001.
- MAZLIAK Laurent & Glenn SHAFER, « Why did the Germans arrest and release Émile Borel in 1941 ? », <http://arxiv.org/pdf/0811.1321v1>.
- MENDELSONH Everett, Merritt ROE SMITH & Peter WEINGART (dir.), *Science, Technology, and the Military*, Boston, Kluwer, 1988.
- MERGER Michèle, « Parodi, Hippolyte (1874-1955), professeur d'électricité appliquée », dans FONTANON Claudine et André GRELON (dir.), *Les Professeurs du CNAM. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, INRP et CNAM, 1994.
- MERLLIÉ Dominique, « Science et classement : classement scientifique et scientificité des classements au CNRS », *Revue française de sociologie*, 1981, XXII, p. 291-297.
- MERTON Robert K., « The Matthew Effect in Science », *Science*, 1968, vol. 159, p. 56-63.
- MERTON Robert K. (with Arnold THACKRAY), « On Discipline Building: The Paradoxes of George Sarton », *ISIS*, 1972, vol. 63, n° 219, p. 473-495.

- MERTON Robert K., *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, Chicago, University of Chicago Press, 1973.
- MINDELL David, Jérôme SEGAL & Slava GEROVITCH, « From Communications Engineering to Communications Science: Cybernetics and Information Theory in the United States, France and the Soviet Union », dans Mark WALKER (dir.), *Science and Ideology: A Comparative History*, London, Routledge, 2003, p. 66–95.
- MORAIN François, Jeffrey O. SHALLIT, Hugh C. WILLIAMS, « La machine à congruences », *Revue du musée des Arts et Métiers*, mars 1996, n° 14, p. 14-19.
- MOREAU René, *Ainsi naquit l'informatique*, Paris, Dunod, 1984.
- MORSEL Henri (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, Paris, Fayard, 1995, t. 2 (1918-1945).
- MORSEL Henri (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France*, Paris, Fayard, 1996, t. 3 (1946-1987).
- MOSCONI Jean, *La Constitution de la théorie des automates*, thèse de l'université de Paris I, 1989.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Les premiers hommes et le préhistorien », entretien avec André LEROI-GOURHAN, *L'Histoire*, 1980, n° 19, p. 116-122
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, *Le Comité national et l'émergence de nouvelles disciplines au CNRS : le cas de l'informatique 1946-1976*, Paris, Mémoire de DEA, Centre Science, Technologie et Société, CNAM, 1987.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « The Institut Blaise Pascal : From Couffignal's Machine to Artificial Intelligence » *Annals of the History of Computing*, décembre 1989, vol. 11/4, p. 257-261.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric (en collab. avec Georges-L. BARON), « Computer Science at the CNRS and in Universities : A Gradual Institutional Recognition », *Annals of the History of Computing*, 1990, vol. 12, n° 2.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Genèse de l'informatique en France (1945-1965) : diffusion de l'innovation et transfert de technologie », *Culture technique*, septembre 1990, n° 21, p. 35-46.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Les collections d'informatique en France », *Revue du musée des Arts et Métiers*, janvier 1993, n° 2.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « L'informatique », dans Claudine FONTANON, Michel LE MOËL et Raymond SAINT-PAUL (dir.), *1794-1994 : Le Conservatoire national des Arts et Métiers au cœur de Paris*, Paris, CNAM et Ville de Paris, 1994.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « L'Institut Blaise Pascal du CNRS (1946-1969) », dans Jacques SAKAROVITCH (dir.), *De Bourbaki à la machine à lire – Journée d'hommage à René de Possel (1905-1974)*, Paris, Publications de l'IBP, novembre 1994, p. 15-29.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « La recherche publique française et les premiers ordinateurs : un échec lourd de conséquences (1939-1959) », *XX^e Journées d'études sur la parole*, Groupe francophone sur la communication parlée, Paris, SFA/ESCA, 1994, p. 23-29.

- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Sur l'histoire de l'informatique en France », *Engineering Science and Education Journal*, London, 1995, vol. 4, n° 1, p. 37-40.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Un programme technologique national : la mécanique des fluides », dans A. GRELON et M. GROSSETTI (dir.), *Programme Villes et institutions scientifiques, Rapport final*, Paris, CNRS PIR Villes, 1996.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Le centre national d'études des télécommunications et les débuts de l'informatique (1944-1964) », *Réseaux*, 1995, vol. 2, n° 70. Version modifiée « Le CNET et les débuts de l'informatique (1944-1964) », dans Michel ATTEN (dir.), *Histoire, Recherche, Télécommunications. Des Recherche au CNET. 1940-1965*, Paris, 1996, CNET, coll. « Réseaux », p. 197-219.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « L'enseignement supérieur, la recherche mathématique et la construction de calculateurs en France (1920-1970) », dans Françoise BIRCK et André GRELON (dir.), *Des ingénieurs pour la Lorraine. Enseignements industriels et formations technico-scientifiques supérieures, XIX^e-XX^e siècles*, Metz, Éditions Serpenoise, 1998, p. 251-286.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « L'informatique française : une résistible "américanisation" (1946-1970) », dans D. BARJOT et Christophe RÉVEILLARD (dir.), *L'Américanisation de l'Europe occidentale au XX^e siècle*, Paris, PUPS, 2002, p. 207-226.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Calcul électronique et informatique au CNET à l'époque de P. Marzin », *Communication et territoires*, Paris, Hermès Lavoisier, 2006, p. 83-90.
- MOUNIER-KUHN Pierre-Éric, « Du radar naval à l'informatique : François-Henri Raymond (1914-2000) », dans Marie-Sophie CORCY, Christiane DOUYÈRE-DEMEULENAERE & Liliane HILAIRE-PÉREZ (dir.), *Archives de l'invention : écrits, objets, et images de l'activité inventive*, Toulouse, 2007, Presses universitaires du Mirail, coll. « Méridiennes », p. 270-290.
- MORAIN François, J. O. SHALLIT, H. C. WILLIAMS, « La machine à congruences », *Revue du Musée des Arts et Métiers*, mars 1996, n° 14, p. 14-19.
- MOUTET Aimée, « Formation des ingénieurs français à l'organisation du travail avant la deuxième guerre mondiale », *Cahiers pour l'histoire du CNAM*, CNAM, 1992, n° 1, p. 93-116.
- MUMFORD Lewis, *Technics and Civilization*, London, Routledge, 1946.
- NARBONNE Jacques, *De Gaulle et l'Éducation : Une rencontre manquée*, Paris, Denoël 1994.
- NDIAYE Pap, *Du nylon et des bombes : Du Pont de Nemours, le marché et l'État américain, 1900-1970*, Paris, Belin, 2001.
- NORDON Didier, *Les Mathématiques pures n'existent pas*, La Paradou, Actes Sud, 1981.
- NYE Mary Jo, « The Scientific Periphery in France: The Faculty of Sciences at Toulouse (1880-1930) », *Minerva*, 1975, vol. XIII, n° 3.
- NYE Mary Jo, *Science in the Provinces: Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*, Berkeley, University of California Press, 1986.

- OLFF-NATHAN Josiane (dir.), *La Science sous le Troisième Reich : Victime ou alliée du nazisme ?*, Paris, Le Seuil, coll. « Science ouverte », 1993.
- PAOLETTI Félix, « Le développement de l'informatique à travers l'évolution des structures et des groupes de travail de l'AFCEC », *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Grenoble, INPG, 1988, vol. 1, p. 347-356.
- PAPON Pierre, *Le Pouvoir et la science en France*, Paris, Le Centurion, 1978.
- PAPON Pierre, *Pour une prospective de la science*, Paris, Seghers, 1983.
- PAUL Harry W., « Apollo Courts the Vulcains. The Applied Science Institutes in Nineteenth Century French Science Faculties », dans Robert FOX et George WEISZ (dir.), *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914*, Cambridge Univ. Press et Paris, MSH, 1980.
- PAUL Harry W., *From Knowledge to Power: The Rise of the Science Empire in France, 1860-1939*, Cambridge, CUP, 1985.
- PAVIS Fabienne & Marie-Emmanuelle CHESSEL, *Le Technocrate, le patron et le professeur. Une histoire de l'enseignement supérieur de gestion*, Paris, Belin, 2001.
- PAVIS Fabienne, « L'institutionnalisation universitaire de l'enseignement de gestion en France (1965-1975) », *Formation emploi*, 2003, n° 27-283, p. 57-63.
- PAYAN Jean-Jacques et Laurence PAYE-JEANNENEY, *Le Chantier universitaire*, Paris, Beauchesne, 1988.
- PÉLISSSET Émilien, « Pour une histoire de l'informatique dans l'enseignement français : premiers jalons », *Système éducatif et révolution informatique*, Coll. « Recherches », *Les Cahiers de la FEN*, 1985.
- PERRIAULT Jacques, *La Logique de l'usage*, Paris, Flammarion, 1989.
- PERRIAULT Jacques, *Machines à communiquer et machines à calculer*, Thèse d'État, université de Bordeaux, 1985.
- PERRIN Dominique, « Les débuts de la théorie des automates », *Technique et science informatiques*, 1995, vol. XIV, n° 4, p. 409-433.
- PERRIN Jacques (dir.), *Construire une science des techniques*, Paris, La Découverte 1991.
- PESTRE Dominique, *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Paris, Éditions des Archives contemporaines, 1984.
- PESTRE Dominique, « En guise d'introduction : quelques commentaires sur les "témoignages oraux" », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 2.
- PESTRE Dominique, « Louis Néel et le magnétisme à Grenoble. Récit de la création d'un empire dans la province française (1940-1965) », numéro spécial des *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1990, n° 8.
- PESTRE Dominique, « Les physiciens dans les sociétés occidentales de l'après-guerre. Une mutation des pratiques techniques et des comportements sociaux et culturels », *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 1992, vol. 39 n° 1, p. 56-72.

- PESTRE Dominique, « La création d'un nouvel univers physicien : Yves Rocard et le laboratoire de physique de l'ENS, 1938-1960 », dans Jean-François SIRINELLI (dir.), *L'École normale supérieure : deux siècles d'histoire*, Paris, PUF 1994, p. 405-422.
- PESTRE Dominique, « De la redéfinition des pratiques physiennes durant la dernière guerre et la guerre froide », *L'Aventure humaine*, n° sur « L'Américanisation de la recherche », Association Diderot, juin 1995, p. 11-22.
- PESTRE Dominique (dir.), *Science, argent et politique, un essai d'interprétation*, Paris, INRA, 2003.
- PETZOLD Hartmut, *Rechnende Maschinen*, Düsseldorf, VDI Verlag, 1985.
- PETZOLD Hartmut, *Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland*, München, Beck, 1992.
- PETZOLD Hartmut, « Eine Informatiktagung vor der Gründung der Informatik: Die Darmstädter Konferenz von 1955 », dans Rudolf SEISING, Menso FOLKERTS & Ulf HASHAGEN (dir.), *Form, Zahl, Ordnung. Studien zur Wissenschafts- und Technikgeschichte. Ivo Schneider zum 65. Geburtstag*, Wiesbaden, Franz Steiner Verlag, 2004, p. 759-782.
- PICARD Jean-François, Alain BELTRAN, Martine BUNGNER, *Histoire de l'EDF*, Paris, Dunod, 1985.
- PICARD Jean-François, *Recherche et industrie. Témoignages sur quarante ans d'études et de recherches à EDF*, Paris, Eyrolles, 1987.
- PICARD Jean-François, avec la collab. de Gérard DARMON et d'Élisabeth PRADOURA, *La République des savants. La recherche française et le CNRS*, (préf. d'Antoine Prost), Paris, Flammarion, 1990.
- PICKERING Andrew (dir.), *Science as Practice and Culture*, Chicago & London, University of Chicago, 1992.
- PINAULT Michel, *Frédéric Joliot-Curie*, Paris, Odile Jacob, 2000.
- PLASSERAUD Yves et François SAVIGNON, *L'État et l'invention. Histoire des brevets*, Paris, La Documentation française, 1986.
- PLÉNÉT Cyrille, *Histoire de l'informatique à Grenoble et de ses apports à l'industrie*, thèse de doctorat d'histoire sous la direction de Pierre Thorel, université Pierre Mendès-France, Grenoble II, 1996.
- PORTER Theodore M., *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton Univ. Press, 1995.
- PROST Antoine, *Histoire de l'enseignement en France, 1800-1967*, Paris, Armand Colin, 1968.
- PROST Antoine, « Les origines de la politique de recherche en France (1939-1958) », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, Paris, Éditions du CNRS, 1988, n° 1, p. 41-61.
- PROST Antoine, « 1968 : mort et naissance de l'Université française », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, 1989, vol. 23, n° 23, p. 59-70.

- PURSELL Carroll, « Science Agencies in World War II: The OSRD and its Challengers », dans Nathan REINGOLD (dir.), *The Sciences in the American Context*, Washington DC, Smithsonian Press, 1979, p. 359-378
- RAMUNNI Girolamo, « Simuler avant de construire. Les outils conceptuels employés par les ingénieurs électriciens dans l'entre-deux guerres », *Des entreprises pour produire de l'électricité*, Paris, colloque organisé par l'Association pour l'histoire de l'électricité en France, Paris, PUF, 1988.
- RAMUNNI Girolamo, « La non-construction du premier ordinateur électronique au CNRS », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 4.
- RAMUNNI Girolamo, *Physique du calcul*, Paris, Hachette, 1989.
- RAMUNNI Girolamo, *Les Sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la société*. Paris, CNRS, 1995.
- RAMUNNI Girolamo et Maurice SAVIO, 1894-1994, *Cent ans d'histoire de l'École supérieure d'électricité*, Paris, ESE, 1995.
- RANDELL Brian, *The Origins of Digital Computer*, Berlin et New York, Springer Verlag, 1982.
- REINGOLD Nathan (dir.), *The Sciences in the American Context*, Washington DC, Smithsonian Press, 1979
- RICCEUR Paul, *Temps et Récit*, t. I *L'Intrigue et le récit historique*, Paris, Le Seuil, 1983.
- ROBERT Eric, « Les débuts de l'IMAG, 1947-1957, par le biais de ses archives », *Actes du 4^e colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Rennes, INRIA-IRISA, 1995.
- ROCHEBRUNE Renaud de et Jean-Claude HAZERA, *Les Patrons sous l'Occupation*, Paris, Odile Jacob, 1995.
- ROE SMITH Merritt & LEO MARX (dir.), *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*, Cambridge, Ma., MIT, 1994.
- ROGER Jacques, *Les Sciences de la vie dans la pensée française au XVIII^e siècle* (préface de Claire SALOMON-BAYET), Paris, Albin Michel, 1993.
- ROLLET Laurent et Marie-Jeanne CHOFFEL-MAILFERT (dir.), *Aux origines d'un pôle scientifique : faculté des sciences et écoles d'ingénieurs à Nancy du Second Empire aux années 1960*. Nancy, Presses universitaires de Nancy, 2007.
- ROSENBERG Nathan, *Exploring the Black Box. Technology, Economics and History*, Cambridge, CUP, 1994.
- ROSMORDUC Jean (dir.), *L'Histoire des sciences*, Paris, CNDP-Hachette Éducation, 1996.
- ROUSSEL Yves, « L'histoire d'une politique des inventions, 1887-1918 », *Cahiers pour l'histoire du CNRS*, 1989, n° 3, p. 46-47.
- RUYER Raymond, *Paradoxes de la conscience et limites de l'automatisme*, Paris, Albin Michel, 1956.
- SAINT-JAMES Emmanuel, « Innovations et ruptures dans l'économie et l'épistémologie de l'Informatique », *Actes du 3^e colloque sur l'histoire de l'informatique*, INRIA, Sophia-Antipolis, 1993.

- SAINT-MARTIN Arnaud, « De l'ambivalence à la révision du jugement. Les attitudes contradictoires d'Henri Mineur et André Danjon face à la Carte du ciel », Journée d'étude *La Carte du ciel. Regards croisés d'historiens et d'astronomes*, Centre Alexandre Koyré, 5 octobre 2006.
- SAKAROVITCH Jacques (dir.), *De Bourbaki à la machine à lire. Journée d'hommage à René de Possel (1905-1974)*, Paris, Publications de l'Institut Blaise Pascal, 1994.
- SALOMON Jean-Jacques, *Science et politique*, Paris, Le Seuil, coll. « Esprit », 1970.
- SALOMON Jean-Jacques, *Le Gaulois, le Cow-boy et le Samouraï, rapport sur la politique française de la technologie*, Paris, Economica, 1986.
- SALOMON Jean-Jacques et Geneviève SCHMEDER, *Les Enjeux du changement technologique*, Paris, Economica, 1986.
- SALOMON Jean-Jacques, *Survivre à la Science. Une certaine idée du futur*, Paris, Albin Michel, 1999.
- SHAFFER Glenn, « Du principe de Cournot au marché efficient », dans Jean-Philippe TOUFFUT (dir.), *La Société du probable : Les mathématiques sociales après Augustin Cournot*, Paris, Albin Michel, 2007.
- SHAFFER Glenn, « The Education of Jean-André Ville », *Journ@l électronique d'Histoire des Probabilités et de la Statistique/ Electronic Journal for History of Probability and Statistics*, vol. 5, n° 1, juin 2009.
- SCHAFFER Valérie, *Des réseaux et des hommes. Les réseaux à commutation de paquets, un enjeu pour le monde des télécommunications et de l'informatique français (1960-1980)*, thèse de doctorat sous la direction de Pascal GRISET, université Paris-Sorbonne, 2007.
- SEGAL Jérôme, *Le Zéro et le Un. Histoire de la notion scientifique d'information au XX^e siècle*, Paris, Syllepse, 2003.
- SIEGMUND-SCHULTZ Reinhard, « The Institut Henri Poincaré and mathematics in France between the wars », *Revue d'Histoire des sciences*, septembre 2009, vol. 62, n° 1, p. 247-284.
- SHINN Terry, « The French Science Faculty System, 1808-1914: Institutional Change and Research Potential in Mathematics and the Physical Sciences », *Historical Studies in the Physical Sciences*, Baltimore, John Hopkins University Press, 1979, p. 271-332.
- SHINN Terry, « Des sciences industrielles aux sciences fondamentales. La mutation de l'École supérieure de physique et de chimie (1882-1970) », *Revue française de sociologie*, 1981, XXII, p. 167-182.
- SHINN Terry, *The French Science Faculty System 1808-1914 : Institutional Change and Research Potential*, Paris, CNRS, 1982.
- SHINN Terry et Pascal RAGOUET, *Controverses sur la science. Pour une sociologie transversaliste de l'activité scientifique*, Paris, Raisons d'agir, 2005.
- SIRINELLI Jean-François (dir.), *L'École normale supérieure : deux siècles d'histoire*, Paris, PUF, 1994.
- SOLLA PRICE Derek J. de, *Little Science, Big Science, and Beyond*, New York, Columbia University Press, 1986.

- STAR Susan Leigh (dir.), *The Cultures of Computing*, Oxford, Blackwell, 1995.
- STERN Nancy, *From ENIAC to UNIVAC: A Case Study of Evolving Technology*, Bedford, Ma., Digital Press, 1981.
- STRASSER BRUNO J., « Totems de laboratoires, microscopes électroniques et réseaux scientifiques : l'émergence de la biologie moléculaire à Genève (1945-1960) », *Revue d'histoire des sciences*, 2002, vol. 55, n° 1, p. 5-43.
- TAMINE Jacques, *La Cybernétique*, Bruxelles, Feyneroles, 1970.
- TATON René, *Histoire du calcul*, Paris, PUF, coll. « Que-sais-je ? », 1946.
- TATON René, *Le Calcul mécanique*, Paris, PUF, coll. « Que-sais-je ? », 1949, réédit. 1957.
- TATON René, *La Science contemporaine. Le XX^e siècle*, Paris, PUF, coll. « Quadriges », 1983.
- THÉPOT André, « Les institutions scientifiques et techniques au XIX^e siècle », *Histoire de l'éducation*, avril 1983, n° 18.
- THUILLIER Guy, *Pour une histoire de la bureaucratie en France*, (préf. de François MONNIER), Paris, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, 1999.
- THUILLIER Pierre, *Les Savoirs ventriloques, ou comment la culture parle à travers la science*, Paris, Le Seuil, 1983.
- TOUCHARD Jean, « L'esprit des années trente », dans Guy MICHAUD (dir.), *Tendances politiques dans la vie française depuis 1789*, Paris, Hachette, 1960, p. 89-120.
- TOUFFUT Jean-Philippe (dir.), *La Société du probable : Les mathématiques sociales après Augustin Cournot*, Paris, Albin Michel, 2007.
- TOURNÈS Dominique, « Pour une histoire du calcul graphique », *Revue d'histoire des mathématiques*, 2000, n° 6, p. 127-161.
- TOURNÈS Dominique, « Les intégrateurs mécaniques », *Pour la Science*, juillet 2005, n° 333, p. 10-14.
- TRICLOT Mathieu, *Le Moment Cybernétique. La constitution de la notion d'Information*, Paris, Champ Vallon, coll. « Milieux », 2008.
- VÄISSE Maurice (dir.), *La IV^e République et les problèmes d'armement*, Paris, Centre d'études d'histoire de la Défense - ADDIM, 1998.
- VEILLON Dominique et Jean-Marc FLONNEAU, *Le Temps des restrictions en France (1939-1949)*, n° thématique des *Cahiers de l'institut d'histoire du temps présent*, Paris, mai 1996.
- VERGER Jacques (dir.), *Histoire des universités en France*, Paris, Payot, 1986.
- VÉRIN Hélène, *La Gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVII^e au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1993.
- VÉRIN Hélène, « La réduction en art et la science pratique au XVI^e siècle », *Institutions et conventions*, Paris, Éditions de l'EHESS, 1998, p. 119-144.
- VEYNE Paul, *Comment on écrit l'histoire*, Paris, Le Seuil, 1979.
- VILKAS Catherine, « L'évaluation au CNRS », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, novembre 2004, n° 11.

VOLDMAN Danièle (dir.), « La bouche de la vérité ? La recherche historique et les sources orales », *Cahiers de l'IHTP*, 1992, n° 21.

VOLLE Michel, *Histoire de la statistique industrielle*, Paris, Economica, 1982.

VIDAL-NAQUET Pierre, *L'Affaire Audin*, Paris, Éditions de Minuit, 1989.

WARWICK Andrew, « The Laboratory of Theory, or What's Exact About the Exact Sciences? », dans M. Norton WISE (dir.), *The Values of Precision*, Princeton, PUP, 1995.

WEINBERG Alvin M., *Reflections on Big Science*, Cambridge (Ma.), MIT Press et Oxford, Pergamon, 1967.

WEISZ George, *The Emergence of Modern Universities in France, 1863-1914*, Princeton, Princeton UP, 1983.

WESFREID José-Eduardo, « Scientific Biography of Henri Bénard (1874-1939) », dans MUTABAZI, WESFREID & GUYON (dir.), *Dynamics of Spatio-Temporal Cellular Structures : Henri Bénard Centenary Review*, Springer Tracts in Modern Physics, 2006, vol. 207, p. 9-40.

690

WEXELBLAT Richard L. (dir.), *History of Programming Languages Conference (HOPL I)*, New York, ACM Press & Academic Press, 1981.

WILLIAMS Mary, *The Precision Makers*, London, Routledge, 1994.

WILLIAMS Michael R., *A History of Computing Technology*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1985.

INDEX

- Abadie Jean 354, 397, 416, 449
Abelès Florin 118
Abraham Henri 158, 309
Abrial Jean-Raymond 539
Aigrain Pierre 308, 418, 458, 462, 485, 495, 508
Aiken Howard 51, 94, 99, 100, 105, 109, 112, 243, 326, 560
Ailleret Pierre 163, 202
Alexander S. N. 409
Allais Maurice 477, 482
Amouyal Albert 212, 328, 397, 416, 458, 493
Andler Daniel 172, 178, 481
André Jacques 307
Andreevsky Evelyne 328, 407
Angelle 96, 106, 108
Appell Paul 102, 237, 476
Aragnol André 320
Arbault Jean 313
Armand Louis 340, 341
Arnal Robert 316
Arnaud M. 137
Aron Raymond 376
Arribat Paul 339
Arsac Jacques 177, 199, 276, 284, 285, 287, 291, 297, 299, 307, 308, 313, 365, 399-401, 407, 416, 430, 443, 446, 450, 454, 456, 458, 474, 477, 478, 481, 485, 486, 489, 494, 495, 501, 504, 507, 511, 515-519, 537, 539, 545, 546, 549, 552, 576, 577
Artsrouni Georges 154, 155, 157
Atanasoff John V. 72
Audin Maurice 278, 282
Auerbach Isaac L. 37, 409, 410, 479
Auger Pierre 384, 408-410, 423
Auroux Alain 254
Auslender Alfred 299
Bacchus Pierre 294, 295, 302, 303, 448
Bachelard Gaston 39, 436
Backus John 448
Baer Jean-Loup 254
Banderet Pierre 406
Barbance Jean-Claude 338, 339
Bar-Hillel J. 441
Barra Jean-R. 255
Barrès Maurice 168, 192, 197
Barrois W. 123
Barrucand Pierre 545
Basile Robert 121, 122, 129
Bass Jean 326
Bastien-Thiry Jean 326
Bataille Maurice 125, 127, 128
Bauer Friedrich L. 183, 304, 420, 448
Bauvin Gérard 33, 513
Bayle André 117
Bazin François 458
Beauclair Wilfried de 91, 142, 169
Beaufils René 264, 265, 268, 453, 501
Becker Philippe 106
Beghin Henri 82, 83, 192
Belayche Pierre 458
Belevitch Vitold 142

- Belgodère Paul 77, 276
- Bell Gordon 55, 72, 75, 100, 130, 131, 141, 142, 146, 169, 204, 299, 332
- Bénard Henri 86
- Bénas Jacques 141
- Benzaken Claude 254, 422
- Benzécri Jean-Paul 306, 562
- Berge Claude 404, 416, 417, 449, 496, 518, 521
- Bernanos Georges 215, 216, 218, 219
- Bernard Maurice 332
- Bernard Michel-Yves 120, 418
- Berry Clifford 72
- Bestougeff Hélène 503
- Biesel Francis 247
- Billard P. 320
- Billing Heinz 169
- Biot Maurice A. 393
- Blanc Charles 406
- Blanc-Lapierre André 102, 103, 133, 145, 156, 201, 277, 287
- Blassel Pierre 134
- Bloch Eugène 158, 190, 262
- Blondel J.-M. 311, 389, 390
- Böhm Corrado 523, 527
- Boiteux Marcel 122, 123, 405, 419, 482, 484, 485, 536, 564
- Bokanowski Maurice 80
- Bolliet Louis 31, 242, 249-255, 257-259, 370, 408, 448, 451, 454, 513, 539, 551, 552
- Bonneau Eugène 121, 123
- Bonnemoy Claude 298, 452
- Boole George 72, 177, 254, 255, 277, 278, 315, 334, 340, 414, 452, 470, 523, 574
- Boos R. P. Pierre 155
- Borel Émile 62, 63, 65, 67-69, 73, 75, 82, 83, 102, 158, 172, 198, 220, 277
- Bosmorin Jean 294, 312, 397
- Bouasse Henri 220, 237, 261
- Bouché Richard 316
- Boucher Henri 264, 329, 345, 365, 401, 403, 408, 416, 489, 492, 493, 511, 514, 515, 531
- Bouchet A. 311
- Bouix Maurice 138
- Boulanger Georges-René 410, 411
- Bouligand Georges 65
- Bourbaki N. 22, 62, 98, 164, 168, 171, 173, 174, 176, 177, 179, 215, 241, 242, 262, 280, 289, 298, 321, 394, 399, 436, 449, 471, 473, 474, 476, 505, 523, 527, 531, 555
- Bourboulon José 247
- Boussard Jean-Cl. 255, 321, 453
- Boutet René-Edmond 71
- Bouthillon L. 123
- Boutry Albert-Louis 73, 119, 120, 350
- Bouzitit Jean 123, 125, 276
- Braconnier J. 315
- Bramel de Cléjoux Lionel 332
- Branly Edouard 235
- Brard Roger 198, 339
- Bréant Pierre 141
- Brent 244
- Breton Philippe 24, 105
- Brillouët Georges 284, 304, 305, 307, 416
- Brillouin Léon 94, 98, 100, 102, 105, 106, 112, 130, 158, 182, 187, 203, 206, 318, 330, 401, 560
- Brochard Raymond 213
- Brogie Louis de 65, 67, 68, 76, 92, 102, 185, 206, 262, 319, 385, 389, 390
- Broïda Victor 406
- Bruhat François 173
- Bruhat Georges 133, 158, 168, 190

Brulé Jean-Pierre 32
 Brun Edmond 477
 Brun Jean-M. 281
 Brunet André 401
 Burnham James 216
 Burniat Jacques 406
 Bush Vannevar 49, 56, 61, 71, 74, 89,
 100, 155, 161, 181, 182, 202-204, 206,
 213, 350

 Cabannes François 477
 Cahen François 204, 245, 238
 Caillois Roger 435
 Camichel Charles 78, 80, 204, 261
 Campbell-Kelly Martin 25, 95
 Campos Campaña Francisco 94, 95, 96
 Canac François 319
 Canavaglia Melle 65
 Capelle Jean 79, 269
 Caquot Albert 79, 85, 340
 Carmille René 28, 156, 157
 Carnot Sadi 79
 Cartan Henri 82, 168, 172, 173, 176,
 179, 269, 288, 306, 489, 497
 Carteron Jean 132, 163, 276, 328, 329,
 332, 390, 391, 397, 403, 406, 407, 409,
 410, 414, 416, 419, 420, 513
 Castan Serge 266
 Castel François du 129, 134, 137, 140,
 149, 151, 331, 332
 Cau Marcel 310
 Cavallès Jean 158, 174
 Cayrel Roger 116, 308, 368
 Cécé Jean 306, 307, 321, 322, 485, 501,
 545
 Chabbal Robert 508, 542, 545
 Chalandon Albin 167
 Champetier Georges 111, 133, 222, 377

 Chandra Bose Raj 444
 Chapelon Jacques 65
 Chapuis Robert 129, 144
 Chastenet de Géry Jérôme 129, 220, 348,
 353
 Chatelet Albert 244, 282
 Chatelin Philippe 31
 Chaverebière de Sal Alain 223, 339
 Chenus Pierre 121
 Chéradame Raymond 338
 Cherruault Yves 294
 Chevance René 352
 Chomsky Noam 439, 444, 446, 449,
 450, 454
 Chrétien Henri 199, 206
 Chrétien Lucien 346, 347
 Clavier André 102, 132, 142
 Coales J. 409
 Coatmelec Christian 306, 307
 Collet Louis 137
 Colmerauer Alain 258, 321, 451, 454,
 501, 524
 Comet S. 409
 Comrie James 184
 Comte Auguste 173, 563
 Condorcet Marie-Jean 563
 Connes Janine 222
 Connes Pierre 192
 Corbé Michael 154
 Cordonnier Vincent 297, 556, 557, 568
 Cori René 311, 523
 Cosson Michel 128
 Cotton Aimé 156, 158, 180, 192, 222,
 310
 Couderc Paul 65
 Couffignal Louis 22, 30, 66, 69-75,
 90-94, 96-106, 108-116, 118, 123,
 125, 126, 130, 139, 140, 156, 175, 181,

- 190, 197, 208, 210, 213, 217, 221, 261, 278, 279, 289, 291, 322, 324, 385, 386, 388, 395, 401, 404, 411, 545, 546, 557, 559-561, 568
- Coulmy Geneviève 106, 110, 281
- Coulomb Jean 95, 111, 278, 289, 478
- Courcelle Bruno 311, 524, 525
- Courtillot Vincent 273, 416
- Crandall Stephen H. 223
- Créange Marion 272
- Crépel Pierre 26, 277
- Crestin J.-P. 344, 345
- Cristini Gilbert 314
- Crouzet François 20, 110
- Culioli Antoine 441, 552
- Curie Pierre 65, 92, 180, 183
- Curien Hubert 523, 537
- Danel Pierre 192, 246
- Danjon André 187, 276, 308, 391, 406, 416, 419
- Danloux-Dumesnils Maurice 327, 401
- Danzin André 419, 458, 491, 530
- Darmois Georges 76, 92, 102, 106, 108, 219, 276, 278, 279, 402, 405, 444
- Dassault Marcel 79, 88, 121, 167
- Daudel Raymond 92, 429, 430, 563
- Daumas Maurice 154, 373
- Dautray Robert 339, 397
- Dautry Raoul 68
- David René 260
- Davidoff Constantin 458
- Dayonnet Denis 147, 329
- Debraine Pierre 281
- Debré Michel 282, 287, 491
- Deguerry Michel 260
- Dehors Roger 295, 391
- Delapalme Bernard 458, 469, 482
- Delattre M. 123, 127
- Delavenay Émile 438
- Delcourt J.-P. 458
- Delobel Claude 353, 361, 362
- Deloraine Maurice 129, 142, 144, 146
- Delsarte Jean 269, 270, 288
- Demarne Pierre 401
- Depaix Michel 273
- Depallens Georges 354
- Derniame J.-C. 273
- Descartes René 18, 41, 171, 341, 343
- Descombes Roger 293
- Desfontaines A. 296
- Desmazières ingénieur général 74
- Després Rémy 333
- Dessauer Friedrich 72
- Destouches Jean-Louis 69, 70, 176
- Deutsch de la Meurthe Henry 83
- Dewoitine Émile 80
- Dieudonné Jean 173, 175, 178, 269, 321, 388, 468, 481, 500, 501
- Dijkstra Edsger W. 380, 448, 511, 515, 551
- Dirks Gerhard 169
- Dondoux Jacques 146, 147, 149, 266, 332, 333, 458
- Donio Jean 492
- Donzelot Pierre 244
- Drevon Marc 483, 484
- Dreyfus Philippe 33, 249, 278, 391, 408-410, 416
- Drieu La Rochelle 40
- Drouet Minou 282
- Druet Yves 123-125, 128, 557
- Dubois Jacques-Émile 211, 397, 462
- Dubourdieu Jules 134
- Dubreil Paul 176, 503

- Dubreil-Jacotin Marie-Louise 313, 444, 445
- Dubuisson Bernard 541
- Duby Jean-Jacques 257, 343, 344, 500
- Ducarouge Claude 272, 315
- Ducrocq Albert 104, 403
- Dugue Daniel 417
- Dupouy Gaston 108, 109, 111, 117, 262-264, 278, 387
- Durand Émile 27, 220, 262-264, 277, 368, 388, 392, 400, 409, 410, 416, 417, 473, 489, 549, 552, 575
- Eckert Presper 50, 52, 53, 97, 98, 310
- Eichelbronner E. 123
- Eller Gerard von 222
- Erulin Claude 248
- Esclangon Ernest 187
- Esclangon Félix 63, 190, 193, 195, 196, 221, 242-245, 251, 259, 323, 406
- Ezra Jacques 314
- Fabry Charles 117, 168, 192, 198, 199
- Falgueirettes Jean 312
- Fallot 259
- Faure Edgar 348, 490
- Faure Robert 171, 353, 354, 552
- Feissel Henri 142
- Félici Noël 156
- Fenard Raymond, amiral 244
- Ferry Jules 235
- Flad Jean-Paul 274
- Flajolet Philippe 525
- Fleury Pierre 117, 118
- Floquet Joël 121, 129
- Florenne Yves 107
- Flowers T. H. 146
- Foch Adrien 80, 82, 288
- Fontet Max 545
- Fortet Robert 102, 239, 388, 401, 416, 477
- Fouchet Christian 43, 231, 259, 275, 360, 416, 462, 487-489
- Fourastié Jean 23
- Fourier Joseph 108, 141, 171, 177, 192, 222, 225, 255, 258, 340, 396, 399, 454, 516
- France Henri de 75
- Fréchet Maurice 65, 68, 69, 75, 76, 92, 180, 181, 220, 277, 385, 398, 552, 557, 559
- Freeman Christopher 18
- Friedel Jacques 211
- Galley Robert 336, 363, 485
- García Santesmases José 197
- Gardin Jean-Claude 291, 320, 416, 435-437, 441, 464, 552
- Garnier F. 522
- Garnier René ingénieur général 66, 68, 155, 195, 199
- Gastinel Noël 178, 249, 252, 254, 255, 309, 396, 397, 416, 430, 448, 509, 545
- Gates William 21
- Gaudfernau Jean 128, 416
- Gaulle Charles de 18, 30, 39, 158, 159, 307, 471
- Gaussens Pierre 458
- Gauthier Luc 70, 71, 94, 110, 178, 198, 269-271, 400, 401, 411, 422, 450, 452, 453, 471, 481, 521
- Gentilhomme Yves 438, 441
- Genuys François 240, 284, 396, 397, 407, 416, 419, 447-449, 483-485, 504, 505, 551, 552
- Germain Paul 84-86, 89, 129, 293, 466, 470, 477, 491, 545
- Germain Pierre 105, 108

- Gernelle François 346
 Ghizzetti Aldo 368, 409
 Gille Jean-Charles 194, 326, 327, 389
 Gilles A. 123
 Giraudoux Jean 158
 Girerd Henry 86, 351
 Girerd Jean 89, 351, 353
 Giscard d'Estaing Valéry 280, 431
 Glaeser Georges 306
 Glaymann Maurice 315
 Gloess Paul-F. 135, 142, 147, 304, 492
 Gödel Kurt 174, 175, 277, 549
 Godement Roger 172, 173, 269
 Goldschmidt Bertrand 103
 Goldstine Herman 22, 50-52, 99, 100, 310
 Gorog Étienne 521
 Goto M. 409
 Goudet Georges 133, 139, 140, 144, 145, 201, 211, 269, 270
 Gramont Armand de 117
 Grandpierre André 273
 Gribeauval Marquis de 41
 Griffiths Michael 308, 454
 Groboillot J.-L. 363
 Gross Maurice 287, 291, 437, 441, 442, 450, 454, 464, 486, 517, 518, 528
 Guéguen Claude 333
 Guérin Jean, général 461
 Guérin Maurice 128
 Guilbaud Georges Th. 71, 111, 404, 405, 411, 416, 419
 Guillemin Ernst A. 415
 Guinchant Joseph 310
 Gutton Camille 78

 Haag Jules 63, 195
 Hadamard Jacques 65, 71, 172, 412
 Hahn Ernest 70, 77-79, 269
 Halmos Paul 173
 Halphen E. 78
 Hans Claude 257
 Hardouin-Duparc Jean 310, 311
 Hartree Douglas 98, 120, 206, 207, 384
 Haugazeau Yves 311, 315, 473
 Hebenstreit Jacques 328-330, 452, 456, 508
 Hennequin Paul-Louis 252, 298, 299, 397, 416, 452, 486, 501
 Henry Pierre 329, 343, 344
 Hérault Daniel 438
 Herreng Pierre 390
 Hervé Michel 539
 Herz Jean-Claude 293, 294, 368, 396, 500
 Hilbert David 171, 172, 174, 175, 277
 Hocquenghem Alexis 70, 284, 348, 349, 351-353, 444, 552
 Hoffsaës Colette 404, 416, 417, 460
 Holweck Fernand 158
 Householder A. S. 409
 Howlett Jack 71, 146
 Huard de la Marre Pierre (EDF) 294, 397, 417
 Hughes Thomas P. 21, 51, 162, 199
 Huron Roger 261, 264
 Huxley Aldous 40

 Illich Ivan 33
 Indjoudjian Dickran 133-135, 178, 219

 Jacob Marcel 156, 157
 Jacob Michel 156
 Jacquinot Pierre 192, 469, 472, 478
 Jaffard Paul 339, 353
 Janin R. 121

- Jaquez-Hélias Pierre 24
 Jobert Georges 253, 429, 447, 476, 497,
 499, 503, 505, 537
 Joliot-Curie Frédéric 102, 104, 164, 165,
 387
 Joly J.-L. 311
 Jugeau René 121
 Julia Gaston 155

 Kaiser Claude 329, 345, 492
 Kampé de Fériet M.-J. 252, 293, 388
 Kastler Alfred 259
 Kaufmann Arnold 351
 Kelvin Lord 188, 189
 Kergrohen M. de 190
 Kirchhoff 84
 Klein Michel 362-364
 Kling Roger 336
 Kœchlin Renaud 288
 Kolmogorov A. N. 172
 Korganoff André 239, 315, 340, 396,
 401, 416, 552
 Kosciusko-Morizet Jacques 345
 Kreisel Georg 176, 294
 Kuntzmann Jean 31, 59, 137, 138, 177,
 179, 181, 203, 205, 213, 214, 221, 224,
 241-255, 259, 262, 271, 273, 276, 277,
 293, 299, 300, 302, 304, 308, 309, 315,
 323, 340, 344, 356, 357, 359, 370, 387,
 388, 391, 392, 395, 397, 400, 408, 416,
 417, 429, 430, 433, 439, 451, 458, 468-
 470, 473-476, 478, 481, 483, 485, 487,
 489, 493, 518, 545, 546, 550, 552, 575

 Labbé Edmond 73
 Laborde Jean-M. 242, 249
 Laborie Marc 264, 266, 473
 Labrouste 96
 Lacombe Daniel 176, 294

 Lacroix de Lavalette Étienne de 77, 221,
 261, 276
 Lacroute Pierre 156, 302
 Laffon J.-C. 305
 Lafitte Jacques 71, 72, 98, 103
 Lagasse Jean 268, 269, 389, 391, 473,
 493, 538, 544-546
 Lagouanelle Jean-Louis 452
 Lagrange René 65, 89, 171
 Laissus Jeanine 31
 Lallemand 108
 Lambreaux 138
 Langevin Paul 195
 Lapique Louis 68, 91, 102, 158
 Laplume Jacques 102
 Lapostolle Pierre 133
 Latécoère 80, 86
 Latil Pierre de 91, 101, 104
 Lattès Robert 33, 388, 397, 408, 472,
 483, 493
 Laudet Michel 262-266, 268, 301, 319,
 320, 391, 407, 415, 416, 419, 454, 458,
 464, 473, 485, 486, 488, 489, 493, 504,
 510, 530, 552, 556
 Laugier Henri 67, 93, 104, 111
 Laurent Pierre-Jean 242, 255, 259, 448,
 452
 Laurent-Eynac André 79, 85
 Lautman Albert 158, 174, 175, 377
 Le Brun P. 78
 Le Corbeiller Philippe 203, 328
 Le Gall, contrôleur général des Armées
 137
 Le Lionnais François 172, 179, 215, 404,
 521
 Leavis F. R. 40
 Lebedev Sergèï A. 385
 Lebesgue Henri 63, 66, 172, 225
 Lecarme Olivier 258, 321

- Lecerf Yves 436
 Leclerc Bruno 142
 Legras Jean 269-273, 284, 393-395, 398, 400-402, 407, 416, 441, 452, 456, 473, 552
 Lehmann Gérard 142
 Lelong Pierre 66, 199, 457, 471, 472, 477, 478, 493, 525, 546
 Lentin André 216, 217, 279, 286, 401, 416, 438, 450, 454, 474, 489, 517, 523, 552
 Léonhardt J.-L. 316
 Leprince-Ringuet Louis 66, 199, 205, 206, 343, 498
 Leray Jean 164, 270, 398, 497, 509
 Leroux Gaston 119
 Leroy Henri 416, 448
 Leroy Yves 250, 292
 Leroy-Ladurie Emmanuel 24
 Lesourne Jacques 160, 419
 Letellier Gaston 141, 145, 397, 416
 Lévi-Strauss Claude 158, 436
 Lévy Paul 28, 32, 65, 216, 363, 397, 563, 564
 Ley M. 108
 Lhermitte Pierre 342, 354, 493, 507
 Liard Louis 235
 Libois Louis-Joseph 129, 135, 144, 146, 458
 Lichnérowicz André 108, 199, 388, 390, 444, 457, 471, 472, 477, 478, 484, 493, 496, 576
 Ligonnière Robert 24
 Lindbergh Charles 80
 Lindemans M. 142
 Lions Jacques-Louis 177, 200, 272, 287, 289, 291, 306, 311, 317, 318, 320, 321, 340, 341, 343, 397, 398, 400, 410, 417, 445, 454, 469, 471-474, 476, 485, 486, 491-493, 496-501, 509, 530, 531, 545, 546, 549, 552, 565, 575
 Lochard Lt-Colonel 39
 Loeb Julien 134, 139
 Lucas Pierre 145, 148, 151
 Lussato Bruno 354
 Lyssenko Trophym 104
 Maisonrouge Jacques 336, 337
 Maitre Jean-François 318
 Malassis Louis 24
 Malavard Lucien 62, 70, 83-90, 93, 108, 110, 121, 134, 156, 181, 187, 200, 202, 211, 213-215, 261, 281, 291, 294, 305, 318, 327, 351, 386, 387, 394, 416, 460, 462, 466, 493, 501, 539, 542, 549, 557, 558, 571
 Malgrange Bernard 400
 Malgrange Yves 521
 Malinvaud Edmond 417
 Mandeljbrot Benoit 385
 Manneback C. 368, 409
 Manson Nicolas 335
 Marano Philippe 332
 March Lucien 183
 Maréchal André 117, 118, 153, 181, 557
 Markov A. A. 172, 299, 521
 Maroni Pascal 502, 505
 Martinot-Lagarde André 295
 Marzin Charles 146
 Marzin Pierre 39, 129, 131, 144-146, 148
 Massé Pierre 78, 405
 Mauchly John 50-53, 98, 310
 Mazet Robert 211, 269, 313, 314
 McCarthy John 412, 444
 Menger Karl 277, 550
 Menzecev Roman 307, 389

- Mercoureff Wladimir 331, 504, 508,
509, 530, 537-541, 543, 544
- Merlin Jean-Claude 150, 237, 332
- Métivier Maurice 306, 307, 416, 501
- Métral Albert 349, 350, 405
- Mignot Noël 245
- Minc Alain 510
- Mineur Gabrielle 65, 158
- Mineur Henri 65, 110, 187, 206, 276,
396, 400, 447
- Minorsky Nicolas 202, 204
- Miquel J. 127
- Mises Ludwig von 214, 277
- Moch Jules 166, 196
- Montel Paul 65, 393
- Monzie Anatole de 73
- Moreau Jean-Jacques 313, 397
- Moreau René 24, 51, 257, 419, 438, 439,
442, 447, 448, 461, 552
- Moreau Roland 124, 127
- Morel Henri 320, 488
- Morel P. 311
- Morita Akyo 170
- Mothe J. 76
- Mouchez amiral 187
- Muller Jean-Jacques 144, 303
- Mussard J. 410
- Nagler Joseph 169
- Namian Paul 243, 251, 353, 360, 409,
410
- Narboni Philippe 196
- Naslin Pierre 389, 391, 401, 405, 406,
420
- Naur Peter 448, 519
- Néel Louis 154, 165, 166, 183, 186, 192,
193, 210, 211, 241, 242, 244, 251, 259,
263, 271, 433, 470, 478, 545
- Neveu J. 328
- Nicod Jean 175
- Nicolau Pierre 214, 386, 406, 438
- Nivat Maurice 255, 279, 284, 291, 306,
312, 344, 345, 443, 450, 454, 456, 474,
492, 499, 501, 523-528, 531, 538, 545,
546, 549, 552
- Nolin Louis 116, 174, 277, 279, 280,
284, 286-289, 291, 407, 416, 422, 450,
456, 474, 492, 518, 523, 525
- Nora Simon 510
- Ocagne Maurice d' 35, 70, 71, 191, 198
- Olier Jacques d' 458
- Olmer Philippe 296, 328, 329, 418
- Ormesson Jean d' 435
- Outhier Georges 96, 106, 110, 304
- Ozil Fernand 196
- Paillole Paul 157
- Painlevé Paul 62, 79, 85, 476
- Pair Claude 177, 272-274, 453, 456,
501, 511, 512, 538
- Pallu de la Barrière Robert 417, 492
- Panov D. 409
- Papon Pierre 377
- Parodi Maurice 70, 76, 108, 198, 334,
348, 349, 351
- Parreau Georges 293, 294
- Pasquet Marcel 155
- Peccoud Jean 255
- Pélegrin Marc 141, 296, 326, 327, 389,
401, 411
- Peltier Jean 105, 110, 400
- Peltier Max 257
- Penciolelli G. 117
- Perec Georges 42, 521
- Perennou Guy 266
- Perlis Alan 448

- Perret René 243, 259, 260, 389, 433, 538, 556, 560, 569
- Perriault Jacques 441
- Perrin Dominique 412, 444
- Perrin Jean 61, 65, 102, 158, 208
- Perrot Jean-François 201, 445, 446, 454
- Pétain Philippe 62
- Pham Daniel 284, 485, 487
- Phélizon Georges 143, 144
- Philips William 72
- Picard Claude-François 278, 279, 288, 291, 315, 415, 416, 436, 453, 485, 496, 498, 499, 501, 502, 507, 516, 522, 539
- Picard Émile 73
- Picinbono Bernard 331, 332
- Picone Maurizio 107, 220
- Pierret Émile 78
- Piganiol Pierre 423
- Pinet André 147
- Pitrat Jacques 287, 441, 453, 454, 466, 517, 524, 528, 539
- Plin Lucienne 286
- Poincaré Henri 27, 43, 62, 63, 65, 68, 69, 74-76, 88, 92, 102, 116, 137, 138, 156, 171, 172, 174, 175, 177, 186, 200, 206, 215, 221, 319, 385, 388, 404, 438, 450, 457, 498, 545, 549, 553, 557, 558
- Poincelot M. 137
- Poitou Georges 212, 252, 284, 293, 294, 473
- Ponte Maurice 119, 165, 224, 225, 310, 347, 389, 523
- Popper Karl 277
- Porte Jean 176, 277, 279, 284, 433
- Possel René de 98, 168, 172, 174, 216, 262, 264, 278-283, 286-289, 291, 322, 324, 339, 368, 388, 391, 407, 409, 410, 416, 426, 429, 432, 445, 446, 453, 454, 466, 467, 473-475, 477, 502, 523, 552, 561
- Pottier Bernard 272, 405, 441, 552
- Pouget Jean 320, 322
- Poulain Pierre 360, 508
- Pourprix Marie-Th. 292
- Pouzet Pierre 294, 295, 302-304, 397, 422, 452
- Pouzin Louis 533, 534
- Prandtl Ludwig 82, 87, 214, 394
- Profit Alain 147, 149, 150, 328, 329, 331, 533
- Pronier Bernard 298
- Quemada Bernard 291, 309, 439
- Queneau Raymond 436, 521
- Radix Jean-Claude 401
- Ragey Louis 224, 349-351
- Rajchman John A. 170
- Ramo Simon 162
- Ranchin Jean 463
- Randell Brian 71, 146
- Rapkine Louis 384, 385
- Ravisse Gaston 35
- Ray-Chaudhury Dijen 444
- Raymond François-Henri 13, 350, 422
- Recoque Alice 347
- Reeves Alec 142
- Renan Ernest 258, 563
- Renard Bruno 284, 416
- Renard Guy 90
- Reuleaux Franz 72
- Riabouchinsky Dimitri 83
- Rice S. O. 339
- Riche de Prony Gaspard 373
- Rigal Jean-Louis 262, 308, 309, 416, 422, 426, 427, 429, 432, 452, 477, 478, 485, 487, 552
- Riguet Jacques 436

- Rind René 391, 409, 410, 570
 Riotte André 89, 351
 Robin Louis 132, 137-139, 339, 416, 524
 Rocard Yves 68, 108, 158, 165, 166, 183-186, 198-201, 210, 211, 515
 Rohrbach Henri 249
 Rose Jean 141, 557
 Roth Didier 22, 203, 328
 Rothschild Edmond de 63
 Rouault Jacques 253, 501
 Roubine Élie 339
 Rougerie M. 190
 Roumégoux Louis 188
 Rouquerol Max 401
 Rousseau Roger 321
 Roy Maurice 108, 128, 129, 405, 416, 419
 Rutishauser H. 304, 448
 Ryckeboer Christian 297
- Sabatier Paul 261
 Sadron Charles 31
 Sainte-Lagüie André 73, 158, 219, 220, 348
 Saint-Paul Raymond 120, 425
 Sakarovitch Jacques 98, 280, 412, 431
 Sallé François 250, 347, 400, 417, 448, 551
 Salles M. 245
 Salomon Jean-Jacques 13, 15, 26, 32, 151, 161, 525
 Samelson K. 448
 Sarrazin Armand 316
 Sartre Jean-Paul 40
 Sauvage de Saint-Marc Gaston 247
 Sauvy Alfred 19
 Scholten C.S. 409
- Schuch Dr.-Ing. 108
 Schützenberger Marcel-Paul 552
 Schwartz Bertrand 366
 Schwartz Laurent 173, 177, 262, 269, 270, 306, 340, 341, 343, 398-400, 485, 489, 496, 497, 503, 552
 Scioldo-Zurcher Paul 300
 Segard Norbert 296, 298, 347
 Senouillet Gérard 458
 Serre Jean-Pierre 173, 270, 393, 500
 Sestier Aimé 291, 303, 401, 407, 424, 439, 441, 552
 Shannon Claude 72, 102, 217-219, 330, 412, 444, 519, 521
 Siestrunk Raymond 86
 Simon Herbert A. 436
 Simon Jean-Claude 343, 344, 517
 Siret L. (née Marcel) 254
 Snow C.P. 40
 Soete Luc 18
 Sollaud M. 249
 Sollin Georges 353
 Souriau Jean-M. 121, 123, 129, 319
 Sourniau M. 320
 Soustelle Jacques 158
 Starynkevitch D. 320
 Steinbuch K. 409
 Stern Jacques 51, 326, 327, 339, 340, 513, 552
 Steyaert Jean-Marc 525
 Stibitz George 72, 131, 141, 204
 Strosser R. 304
 Suchard Jean 285, 288
 Suchet Charles 332, 340
 Svoboda Antonín 155, 157
- Tarski Alfred 298
 Taton René 101

- Taylor Frederic W. 41
 Teissier Georges 103, 104, 387
 Teissié-Solier Max 268
 Terrenoire Michel 315
 Thellier Pierre 223, 339
 Théodor Raymond 353
 Thirriot Claude 222, 223
 Thomas de Colmar 22, 261
 Tillon Charles 128, 160
 Tixier Vincent 327, 363
 Tomash Erwin 23
 Tomovic Rajko 401
 Torres y Quevedo Leonardo 190, 191, 197
 Toussaint 83, 193
 Trilling Laurent 258, 307, 451
 Trombe Félix 80
 Turing Alan 98, 162, 175, 252, 330, 412, 443, 448, 521, 524

 Ulam Stanislas 239

 Valensi Jacques 213, 318, 319
 Valiron Georges 66, 68, 75, 155, 241
 Vallée Robert 102, 339
 Valroger Pierre de 340, 558
 van der Poel W.L. 182, 409
 van Wijngaarden A. 409
 Vand Vladimír 155, 157
 Vauquois Bernard 252, 253, 255, 272, 276, 291, 308, 416, 438-440, 442, 448, 481, 501, 518, 552
 Vavasseur 339
 Veillon Gérard 253
 Verjus Jean-Pierre 31, 242, 254, 258, 307
 Verlet Loup 281
 Véron Marcel 405, 419
 Vial Christian 317
 Vidal Pierre 292, 295, 296, 389
 Vieillard Georges 157, 347
 Villard J.-C 417
 Villard Jean 307
 Villat Henri 79, 82, 83, 86, 164, 187
 Ville Jean 120, 172, 176-178, 219, 277-279, 291, 294, 313, 388, 391, 392, 416, 453, 454, 498, 523, 524, 549, 550, 552
 Villey Jean 80, 83, 156, 158
 Vincenot Henri 24
 Vincent-Carrefour Jacques 150
 Voge Jean 133
 Vogel Théodore 319, 416
 Volterra Vito 84
 Von Kármán Theodor 82, 88, 89, 393, 567
 von Neumann John 22, 30, 49-52, 89, 97-101, 103-105, 112, 120, 162, 174, 175, 178, 207, 211, 218, 219, 238, 239, 252, 361, 379, 560, 561
 Vorms Armand 75

 Waldrop M. 480
 Walther Alwin 298, 303, 304, 368, 409
 Watson Thoms Sr. 244
 Wegner Peter 549
 Weil André 173, 179, 205, 247, 269, 270
 Wiener Norbert 63, 101-103, 105, 161, 215, 216, 219, 266, 403, 519, 551
 Wilkes Maurice V. 49, 51, 52, 54, 59, 98, 99, 106, 114, 146, 263, 329, 368, 384, 402, 406, 409, 566
 Wirth Niklaus 447, 450
 Woodger M. 448
 Wynn-Williams 72

 Yamashita H. 409

 Zaharoff Basil 82, 83
 Zamansky Marc 180, 231, 287, 504
 Zarrouati Guy 463
 Zemanek Heinz 200, 410, 420
 Zuse Konrad 49, 53, 72, 99, 109, 112, 116, 184, 303

GLOSSAIRE

aF	Anciens Francs (avant 1959)
AFCAL	Association française de calcul (1956-1962)
AFCALTI	Association française de calcul et de traitement de l'information (1962-1963)
AFCET	Association française pour la cybernétique économique et technique (1968-1994)
AFIRO	Association française d'informatique et de recherche opérationnelle (1963-1968)
AFRA	Association française de régulation et d'automatique (1956-1968)
AGARD	Advisory Group for Aeronautics R&D (OTAN)
Alcatel	Alsacienne de constructions atomiques, de télécommunications et d'électronique
ALGOL	Algorithmic Language (langage de programmation à vocation universelle)
AR	Attaché de recherche (au CNRS)
Arch. nat.	Archives nationales
ARPA	Advanced Research Projects Agency, devenue DARPA (D pour Defense)
ATP	Action thématique programmée (du CNRS)
BTM	British Tabulating Machines (constructeur britannique, ancêtre d'ICL)
CAE	Cie européenne d'automatisme et d'électronique (fondée en 1960, filiale de CSF, TRW, Intertechnique)
CAB	Calculatrice arithmétique binaire (ordinateurs SEA)
CalTech	California Institute of Technology (Pasadena, Los Angeles)
CASDN	Comité d'action scientifique de la Défense nationale
CCA	Centre de calcul analogique (du CNRS)
CCRST	Comité consultatif de la recherche scientifique et technique (placé auprès de la DGRST)
CdC	Compagnie des compteurs
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEA-DAM	Commissariat à l'énergie atomique – Direction des applications militaires
CEE	Communauté économique européenne (« Marché commun »)

CENG	Centre d'études nucléaires de Grenoble
CERES	Centre d'essais d'engins spéciaux
CERA	Centre d'études et de recherches en automatique (Supaéro)
CERCI	Compagnie d'études et de réalisations de cybernétique industrielle
CGA	Compagnie générale d'automatisme (filiale de CGE)
CGCT	Compagnie générale de constructions téléphoniques (filiale d'ITT)
CGE	Compagnie générale d'électricité (devenue Alcatel à la fin du xx ^e siècle)
CII	Compagnie internationale pour l'informatique (1966-1976)
CIT	Cie industrielle des télécommunications (filiale de CGE)
CNAM	Conservatoire national des Arts et Métiers
CNET	Centre national d'études des télécommunications
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COBOL	Common Business-Oriented Language
COPEP	Commission permanente de l'électronique du commissariat au Plan
CR	Chargé de recherche (au CNRS)
CSRSPT	Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique (ancêtre de la DGRST)
CUBA	Calculatrice universelle binaire de l'Armement (installée par la SAE en 1955 au LCA)
DATAR	Délégation à l'aménagement du territoire
DEA	Diplôme d'études approfondies (1 ^{er} grade du 3 ^e cycle universitaire, avant la thèse doctorale)
DEC	Digital Equipment Corp. (constructeur de mini-ordinateurs)
DEFA	Direction des études et fabrications d'armement (Armée de terre)
DES	Diplôme d'études supérieures (grade du 3 ^e cycle universitaire)
DG	Directeur général
DGRST	Délégation générale à la recherche scientifique et technique
DMA	Délégation militaire à l'armement (ancêtre de la DGA)
DoD	Department of Defence (US)
DR	Directeur de recherche (au CNRS)
DRME	Direction des recherches et moyens d'essais (militaire)
DTI (A)	Direction technique et industrielle de l'aéronautique (Armée de l'air)
DEFA	Direction des études et fabrications d'armements (Armée de terre)
DCN	Direction des constructions navales
ECAN	Établissements des constructions et armes navales (du STCAN)
EDSAC	Electronic Delay Storage Automatic Computer (1 ^{er} ordinateur opérationnel, Cambridge 1949)

ENS	École normale supérieure
ENSI	Écoles nationales supérieures d'ingénieurs (créées en 1947 au sein des universités)
ENSIMAG	École nationale supérieure d'ingénieurs en informatique de Grenoble (formée en 1971)
ENST	École nationale supérieure des télécommunications
ERA	Engineering Research Associates (constructeur américain d'ordinateurs dès 1949)
ERA	Équipe de recherche associée (CNRS-université)
ESE	École supérieure d'électricité (Supélec)
FORTTRAN	Formula Translator (langage de programmation scientifique, inventé pour l'IBM 704)
GE	General Electric Corporation
GEC	General Electric Company (firme britannique)
GR	Groupe de recherche (CNRS)
GRECO	Groupe de recherches coordonnées (CNRS)
IBP	Institut Blaise Pascal
ICT	International Computers & Tabulators (constructeur britannique fusionnant BTM et Powers-Samas)
IFIP	<i>International Federation for Information Processing</i>
IHP	Institut Henri Poincaré (université de Paris)
IMAG	Institut de mathématiques appliquées de Grenoble
INSA	Instituts nationaux de sciences appliquées (créés en 1957)
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
IP	Institut de programmation
IRIA	Institut de recherches en informatique et automatique (devenu INRIA par la suite)
ISEN	Institut supérieur d'électronique du Nord (Lille)
ISEP	Institut supérieur d'électronique de Paris
ISUP	Institut de statistique de l'université de Paris
ITA	Ingénieurs, techniciens, administratifs du CNRS
ISUP	Institut universitaire de technologie
IUT	Institut universitaire de technologie
LA	Laboratoire associé (CNRS-université)
LCT	Laboratoire central de télécommunications (filiale française d'ITT)
LETI	Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique (Grenoble)

LIMSI	Laboratoire d'informatique pour la mécanique et les sciences de l'ingénieur
LMT	Le matériel téléphonique (filiale d'ITT)
LRBA	Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques de l'armement
LTT	Lignes télégraphiques et téléphoniques (filiale d'ITT)
LP	Laboratoire propre du CNRS
MIAGE	Maîtrises d'informatique (ou « de méthodes informatiques ») appliquée à la gestion
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MEN	Ministère de l'Éducation nationale
MR	Maître de recherche (au CNRS)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCR	National Cash Register (constructeur de machines comptables)
NSF	National Science Foundation (US)
ONERA	Office national d'études et de recherches aéronautiques
RA	Rapport d'activité annuel (du CNRS)
RC	Rapport de conjoncture (élaboré par le Comité national du CNRS)
RCA	Radio Corporation of America
RCP	Recherche coopérative sur programme (mode d'action du CNRS)
R&D	Recherche et développement
RTC	Radiotechnique-Compelec (filiale composants de Philips en France)
SACM	Société alsacienne de construction mécanique
SAGE	Semi-Automatic Ground Environment (système de surveillance aérienne de l'US Air Force)
SDECE	Service de documentation extérieure et de contre-espionnage (rebaptisé DGSE en 1983)
SEA	Société d'électronique et d'automatisme (fondée en 1948)
SEMA	Société d'études de mathématiques appliquées, créée en 1958
SEREB	Société d'études et de recherches d'engins balistiques
SETI	Société européenne de traitement de l'information (filiale de la Compagnie des Compteurs)
SFE	Société française des électriciens (association professionnelle et société savante)
SIA	Société d'informatique appliquée (filiale de SEMA, créée en 1962)
SINTRA	Société industrielle des nouvelles techniques radioélectriques
SNCASE	Société nationale de constructions aéronautiques du Sud-Est
SNERI	Société nouvelle d'électronique-Radio industrie (ex-RBV-RI)

SoFRO	Société française de recherche opérationnelle (1956-1963)
SPIM	Service de prévisions ionosphériques militaires
SSII/SSCI	Sociétés de service et de conseil (ou d'ingénierie) informatique
STAé	Service technique aéronautique
STCAN	Service technique des constructions et armes navales
STTA	Service technique des télécommunications de l'Air
Supaéro	École nationale supérieure de l'aéronautique
Supélec	École supérieure d'électricité (ESE)

Calculateurs analogiques : représentent certaines fonctions mathématiques par des phénomènes physiques (par exemple une tension électrique)

Calculateurs digitaux/numériques/arithmétiques : ordinateurs, ou autres appareils exécutant les opérations élémentaires du calcul sur des chiffres, sur des grandeurs « discrètes », discontinues.

TABLEAUX

1. Les premiers ordinateurs, du laboratoire à l'entreprise.....	53
2. Institut de mécanique des fluides de Paris : projet de budget 1937.....	83
3. Calculs exécutés par l'Institut Henri Poincaré pour le CNET de 1947 à 1955	138
4. Équipement du CNET en calculateurs.....	150
5. Nombre total de brevets délivrés dans l'année (chiffres arrondis), 1930-1951	159
6. Importation de machines à calculer de bureau allemandes et américaines après-guerre.....	208
7. Ressources de l'IMAG provenant de contrats à caractère « Défense », 1953-1957 ..	251
8. Laboratoires et recherches informatiques à l'université de Grenoble en 1967-1968.....	255
9. Statistique des thèses de l'IMAG jusqu'à la réforme Fouchet.....	259
10. Laboratoire d'informatique appliquée de l'université de Toulouse en 1965.....	264
11. Ressources 1966 du laboratoire d'informatique Laudet (Toulouse).....	268
12. Équipement de l'Institut Blaise Pascal (machines numériques).....	282
13. Évolution de l'Institut Blaise Pascal.....	291
14. Équipement informatique de l'enseignement supérieur lillois.....	297
15. Prévisions de besoins de formation d'ingénieurs informaticiens, 1965-1970.....	359
16. Colloques internationaux de mathématiques appliquées en France (1947-1951).....	385
17. Calcul et informatique au Comité national : chronologie.....	386
18. Les dirigeants de l'AFCALTI en 1964.....	416
19. AFCET : arbre généalogique et présidents.....	419
20. Les commissions du CNRS concernées par le calcul et l'informatique (1956-1966).....	422
21. Dépenses prévues pour les centres de calcul université & CNRS (1961-1964)....	425
22. La RCP 30 : répartition géographique des contributions.....	452
23. Nombre de thèses soutenues en calcul numérique et informatique (1956-1973)..	455
24. Chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques et en informatique (1971).....	506
25. Les mathématiques au Comité consultatif des universités (1972).....	508
26. Les chercheurs en informatique en 1972.....	540
27. Les projets de calculateurs dans la recherche publique française jusqu'en 1969..	557

FIGURES

1. La rencontre de la logique formelle et du fer à souder : l'EDSAC au Mathematical Laboratory de Cambridge (1948)	54
2. Extrait des Tables de tir du canon de 75 (1925).....	64
3. Processus calcul-> ordinateur.....	69
4. Machines comptables et calculatrices de bureau.....	70
5. La grande soufflerie de Chalais-Meudon, près de Paris (1936).....	81
6. Cuve rhéoelectrique Pérès-Malavard (1940).....	87
7. Cuves rhéologiques Pérès-Malavard à l'ONERA (1950).....	90
8. Machine Logabax à 200 compteurs (vers 1946).....	95
9. Programme du colloque <i>Les Machines à calculer et la pensée humaine</i> (1951).....	107
10. Architecture de la « machine de Couffignal » : un calculateur parallèle programmable (1948).....	114
11. Calculateur électronique de Couffignal (machine IBP), 1950.....	115
12. Mémoire rapide de la machine de Couffignal (1950).....	115
13. Elliott 402 livré en 1955 au CNRS-IBP.....	116
14. Ordinateur « MOP » de l'ONERA, vue partielle (1957).....	125
15. CNET : centre de calcul analogique.....	136
16. Ordinateur « Ramsès II » au centre de calcul du CNET (1967).....	148
17. <i>Tide predictor</i> de Kelvin du service central hydrographique de la Marine (1901).....	188
18. Machine de Torres Quevedo permettant de résoudre les équations du second degré (1920).....	191
19. La recherche publique en informatique et automatique en France, fin 1973	234
20. Jean Kuntzmann, professeur de Mathématiques appliquées (1963).....	243
21. Calculateur analogique SEA OME 40 de l'IMAG (1952).....	245
22. Centre de calcul numérique de Neyrpic-Sogréah, IBM 650 (1957).....	246
23. L'IMAG et ses principaux partenaires au début des années 1950.....	248
24. Brochure présentant les recherches et formations doctorales de l'IMAG (1967) ..	256
25. Centre scientifique IBM-IMAG : l'ordinateur IBM/360-67 (1969).....	257
26. Calculatrice Arithmétique de Toulouse (vers 1961).....	265
27. Le <i>software</i> prend une place croissante dans les systèmes informatiques.....	267

28. Le Paris informatique (début des années 1960).....	283
29. Réunion d'informaticiens près de Paris vers 1965	284
30. Un transfert de technologie « lourde ».....	285
31. Inauguration de la CDC 3600 de l'Institut Blaise Pascal (mai 1966).....	290
32. Inauguration de la CDC 3600 de la faculté des Sciences (octobre 1966)	290
33. IBM 7044 (1966).....	300
34. Terminal IBM à HEC pour l'enseignement de la programmation (vers 1970) ...	364
35. Ensemble Bull Gamma 3, tabulatrice, perforuse et opératrice (vers 1955).....	367
36. IBM 650 (1955).....	368
37. Publicité Bull Gamma ET (1956)	369
38. La CAB 500 de la SEA, ordinateur personnel (1961)	370
39. L'anxiété de l'informaticien devant l'imprimante (vers 1960)	370
40. École d'été d'analyse numérique EDF-CEA (27 août-11 septembre 1961).....	397
41. Cybernétique et recompositions scientifiques	413
42. Convergence des théories de la linguistique et de la programmation.....	442
43. M.-P. Schützenberger.....	446
44. L'équipe ÉSOPE et le CII 10.070 de l'IRIA	514
45. Maurice Gross et Maurice Nivat au colloque ICALP 1972.....	527
46. Cyclades : un réseau d'ordinateurs fondé sur la notion de datagrammes (1975) .	535
47. La confession des matheux.....	547
48. N. Wiener, <i>The Human Use of Human Beings. Cybernetics and Society</i>	551
49. L'informatique dans l'Alliance atlantique.....	551
50. De l'analyse numérique à la science informatique.....	552

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DE JEAN-JACQUES DUBY.....	7
REMERCIEMENTS.....	11
INTRODUCTION	13
Itinéraire personnel.....	14
« Retards », « rattrapages » et politiques publiques	15
Historiographie.....	22
Sciences, techniques et industrie dans l'histoire : nouvelles approches	26
Informatique : un mot, une catégorie, un piège ?	33
Problèmes de sources	36
Histoire orale, sources vivantes.....	39
Questions de méthode.....	41
Chronologie et Plan.....	43

PREMIÈRE PARTIE LA RECHERCHE PUBLIQUE ET LES « MACHINES MATHÉMATIQUES »

INTRODUCTION	49
Un modèle international de développement : du laboratoire à l'industrie.....	52
La France : normalité et exception.....	57
CHAPITRE I. L'ÉCHEC DE LA CONSTRUCTION D'ORDINATEURS DANS LA RECHERCHE PUBLIQUE	59
A. L'Institut Henri Poincaré et la mobilisation scientifique.....	62
a. La demande de calcul et la machine de Fréchet	68
b. La première machine de Couffignal	70
B. La Mécanique des Fluides et le calcul analogique	77
a. L'hydrodynamique	77
b. L'aérodynamique : des souffleries au calcul analogique	79
c. Pérès, Malavard et le laboratoire de calcul analogique.....	83
C. L'Institut Blaise Pascal du CNRS : le pari de Couffignal	91
a. Un partenaire inapte : Logabax	94
b. Une double faillite	97

Une question d'architecture	97
L'état de l'art : la conférence de 1947 et la « machine française »	100
La Cybernétique	101
Les machines à calculer et la pensée humaine	105
En quête de solutions de rechange	108
D. L'Institut d'optique	117
E. Le laboratoire national d'essais	119
F. L'Office national d'études et de recherches aéronautiques	120
a. Missiles et trajectographie	122
b. L'ordinateur le plus rapide du monde	123
G. Le Centre national d'études des télécommunications	129
a. Un parent pauvre de la recherche (1944-1954)	129
b. Un point de comparaison : le groupe LCT-LMT	142
c. Un transfert recherche-industrie réussi : la commutation électronique	144
CHAPITRE II. UNE INTERPRÉTATION DE CES ÉCHECS : LE CONTEXTE FRANÇAIS	153
A. La défaite et l'occupation allemande : conséquences	154
a. Des projets abandonnés	154
b. Un milieu scientifique appauvri et décimé	158
c. Une mobilisation scientifique stoppée	160
d. Le maintien des cloisonnements institutionnels et la dispersion des efforts	163
B. Des lacunes dans les savoirs et les savoir-faire	167
a. Un retard scientifique remontant à l'entre-deux-guerres	167
b. Un inégal développement des technologies du magnétisme	169
C. Les mathématiques françaises : un milieu favorable ?	170
a. Une domination croissante des mathématiques pures	171
b. Une quasi-absence de la logique mathématique	174
c. Les mathématiques et leurs applications	176
Les mathématiciens ne construisent pas de machines	180
d. Une faible mécanisation du calcul	181
Exemples de la statistique et de l'aéronautique	183
L'inventaire de 1939 : la rareté des moyens de calcul	186
d. Une faible demande de calcul	196
Après-guerre : l'importation de matériel allemand révèle une demande limitée	208
e. Un contexte culturel défavorable ?	216
f. Un sous-développement du calcul	219
g. Les changements induits par la reconstruction et les grands programmes	221

DEUXIÈME PARTIE
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR : DÉVELOPPEMENT
ET DIFFÉRENCIATION DES PÔLES RÉGIONAUX

INTRODUCTION	229
CHAPITRE III. LES UNIVERSITÉS	233
La création des instituts techniques des facultés des sciences et ses effets à long terme : le rôle des écoles d'ingénieurs	235
A. Logiques endogènes : l'héritage des sciences appliquées et la naissance de l'informatique universitaire	238
a. La recherche en calcul numérique existe avant l'acquisition des ordinateurs	241
Grenoble	241
Toulouse	261
Nancy	269
b. La recherche en calcul numérique se développe en même temps que l'informatique	275
Paris : l'Institut Blaise Pascal, expansion et crises de croissance	275
Lille : université et enseignement catholique	292
Clermont-Ferrand	298
B. Logiques exogènes : rattraper le retard	300
a. Des débuts avortés	302
Strasbourg et les relations franco-allemandes	302
Nantes et Rennes	304
Besançon	307
b. Des ordinateurs ou des enseignements sans équipe de recherche	309
Bordeaux	309
Montpellier	311
Poitiers	311
c. Le démarrage tardif de l'informatique	313
Lyon	313
Marseille	317
Nice	320
Déterminants et effet de seuil	320
CHAPITRE IV. LES ÉCOLES D'INGÉNIEURS PARISIENNES	325
A. Les « Grandes Écoles »	325
Supaéro : une pionnière du calcul et de l'Automatique	325
Supélec : des électroniciens aux informaticiens	327
SupTélécom	331
L'École Centrale de Paris	333
Polytechnique	338

B. L'enseignement technique supérieur	345
Les écoles techniques privées	346
Le Conservatoire national des Arts et Métiers	347
CHAPITRE V. LA FORMATION DE SPÉCIALISTES : UN BILAN	355
A. Croissance de la formation, explosion de la demande	356
B. Une carence en informatique de gestion	360

TROISIÈME PARTIE
L'ÉMERGENCE D'UNE SCIENCE ET SA RÉSISTIBLE
RECONNAISSANCE INSTITUTIONNELLE

INTRODUCTION	373
Un point d'observation : le CNRS	376
L'informatique, entre technique et science	379

716

CHAPITRE VI. DU CALCUL ÉLECTRONIQUE AUX RECHERCHES EN INFORMATIQUE (1945-1966)	383
A. L'essor des mathématiques appliquées : investissements, représentations, professionalisation	383
a. Au CNRS : congrès internationaux et commissions universitaires	384
b. La section 3 du CNRS, « Mécanique générale et mathématiques appliquées »	386
c. Une instance de politique scientifique : le CSRSPT (1955-1958)	390
d. L'affirmation des Mathématiques appliquées : l'agenda de l'analyse numérique	393
Des « mathématiques imparfaites, mais efficaces »	394
Les équations aux dérivées partielles : un enjeu stratégique	398
d. Un nouveau sujet éditorial	400
e. Sociétés savantes et clubs d'utilisateurs	404
Les clubs d'utilisateurs	407
L'IFIP et son agenda scientifique	409
L'informatique : contenus et frontières	410
De l'AFICAL à l'AFCEC : une société savante en expansion	415
B. L'informatique vue du CNRS : de la technique à la science	420
a. L'informatique dans les sections du Comité national	421
b. L'image de l'informatique au Comité national : les rapports de conjoncture	423
c. L'essor de l'informatique au CNRS et la concurrence entre disciplines	428
Les centres de calcul, entre l'explosion des besoins et les contraintes administratives... ..	429
L'équipement en ordinateurs : un enjeu très politique	431
Le problème de la main d'œuvre	432
C. « Un vaste domaine de recherches »	434
a. La documentation automatique	435
b. La traduction automatique	438

c. La circulation des concepts : Schützenberger et la théorie de l'information	443
d. Algol : du langage scientifique à la « science informatique »	447
e. Les premières thèses	452
f. La DGRST : la politique d'orientation des recherches.....	456
g. La Recherche et les Armées : du CASDN à la DRME	461
CHAPITRE VII. L'INFORMATIQUE, UNE DISCIPLINE ? DE LA CONTESTATION	
À L'INSTITUTIONNALISATION (1966-1976)	465
A. Comment le CNRS intégra l'Informatique aux Mathématiques	465
a. L'informatique, entre Mathématiques et Sciences appliquées : des conceptions opposées.....	466
b. Le processus de décision : la République des savants.....	477
c. D'éphémères instances de liaison : le COMIRO et l'Amicale des informaticiens.....	482
B. Le tournant de 1966-1969 : Plan Calcul, réforme Fouchet, laboratoires associés.....	487
a. Les laboratoires associés au CNRS	487
b. Licences et maîtrises d'informatique	488
c. L'IRIA : espoir, déception, rebond	491
d. L'activisme de la DGRST.....	494
e. Au CNRS : une officialisation rapide de l'informatique, mais des recrutements faibles..	495
f. À l'université : le Comité consultatif et la Mission à l'informatique	506
C. La constitution d'un corpus théorique.....	509
a. La demande des praticiens et la crise du software	510
b. Des langages aux systèmes.....	512
c. La science informatique	515
d. Vers une informatique théorique.....	522
e. Le recentrage de l'IRIA et les instances de politique nationale	528
f. Au CNRS : les Sciences pour l'ingénieur et la création d'une section d'informatique ...	536
g. Un paradigme informatique ?	548
CONCLUSION GÉNÉRALE	553
Le paradoxe de la non-construction d'ordinateurs.....	556
Grands organismes et université.....	558
Réception, réceptivité, acclimatation : un « style national » ?	559
Universités et Grandes Écoles	564
La science française dans le contexte international	565
Les relations recherche-industrie	568
Les frontières de l'informatique : la mise à l'écart de la cybernétique	570
L'émergence d'une discipline informatique autonome : les convergences.....	571

	ANNEXES.....	579
	Annexe 1. Sections du Comité national de la recherche scientifique exerçant la tutelle principale sur le calcul et l'informatique (1950-1976).....	580
	Annexe 2. L'informatique au Comité consultatif des universités (1975).....	585
	Annexe 3. IV ^e Plan et V ^e Plan : dépenses d'équipement prévues pour le « calcul ».....	586
	Annexe 4. Équipement informatique de la Recherche et de l'Enseignement supérieur (1965-1974).....	588
	Annexe 5. Éléments statistiques sur la formation des informaticiens (1971).....	590
	Annexe 6. Comité consultatif de la recherche en informatique (CCRI), 1973.....	592
	Annexe 7. Longévité des ordinateurs en France.....	593
	Annexe 8. Centres de calcul et réseaux CNRS pour l'informatique scientifique.....	595
718	Annexe 9. Liste des thèses (1955-1973).....	597
	SOURCES.....	633
	A. Archives publiques.....	633
	B. Archives privées.....	640
	C. Archives étrangères.....	640
	D. Entretiens et correspondance.....	640
	SOURCES IMPRIMÉES.....	645
	PÉRIODIQUES.....	660
	BIBLIOGRAPHIE.....	663
	INDEX.....	691
	GLOSSAIRE.....	703
	TABLEAUX.....	709
	FIGURES.....	711
	TABLE DES MATIÈRES.....	713

