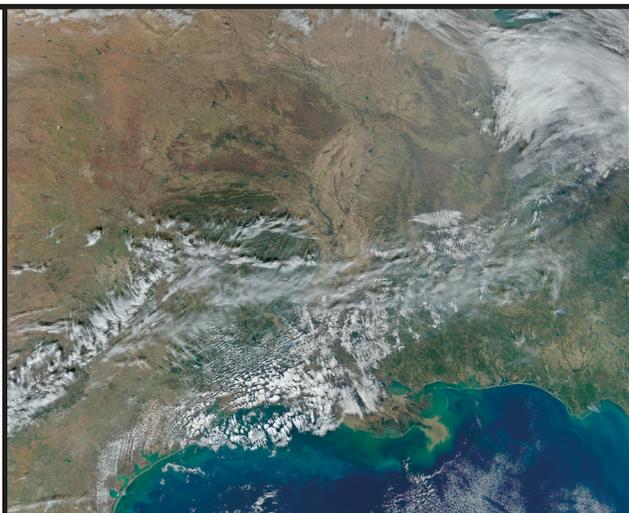


**MILIEUX EXTRÊMES
et
CRITIQUES
face au
CHANGEMENT
CLIMATIQUE**

Climat, territoire,
environnement



Marianne Cohen & Christian Giusti (dir.)



Il Sultan et al. – 979-10-231-1814-8

SORBONNE UNIVERSITÉ PRESSES

**MILIEUX EXTRÊMES ET CRITIQUES
FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

| | |
|--|--|
| <p><i>Le Sacre de la nature</i> Bertrand Sajaloli & Étienne Grésillon (dir.)</p> | |
| <p><i>Îles rêvées. Territoires et identités en crise dans le Pacifique insulaire</i> Dominique Guillaud, Christian Huetz de Lempis & Olivier Sevin (dir.)</p> | <p><i>La Rue à Rome. Entre l'émotion et la norme</i> Brice Gruet, Prix Charles Maunoir de la Société de géographie</p> |
| <p><i>L'Hiver au Siècle d'or hollandais</i> Alexis Metzger</p> | <p><i>L'Asie-Pacifique des crises et des violences</i> Christian Huetz de Lempis & Olivier Sevin (dir.)</p> |
| <p><i>Les Campagnes en France et en Europe. Outils, techniques et sociétés, du Moyen Âge au XX^e siècle</i> Jean-René Trochet Prix Antoine Alexandre Bouteau de la Société de géographie</p> | <p><i>Comme un parfum d'îles. Florilège offert à Christian Huetz de Lempis</i> Olivier Sevin (dir.)</p> |
| | <p><i>Atlas des pays du Golfe</i> Philippe Cadène & Brigitte Dumortier</p> |
| <p><i>Atlas du Proche-Orient arabe</i> Fabrice Balanche</p> | <p><i>La Privatisation de Chicago. Idéologie de genre et constructions sociales</i> Laurence Gervais</p> |
| <p><i>Les Forêts de la Grande Guerre. Histoire, mémoire, patrimoine</i> Jean-Paul Amat</p> | <p><i>De l'Empire à la tribu. États, villes, montagnes en Albanie du Nord (VI^e-XV^e siècle)</i> Jean-René Trochet</p> |

**Marianne Cohen
& Christian Giusti (dir.)**

**Milieux extrêmes
et critiques face
au changement
climatique**

**Climats, territoires,
environnement**

SORBONNE UNIVERSITÉ PRESSES
Paris

Ouvrage publié avec le concours de l'Institut de la transition environnementale de Sorbonne Université (SU-ITE) et de la faculté des Lettres de Sorbonne Université

Sorbonne Université Presses est un service général
de la faculté des Lettres de Sorbonne Université.

© Sorbonne Université Presses, 2021
PDF complet : 979-10-231-0642-8

Introduction – 979-10-231-1809-4
I Ronchail *et al.* – 979-10-231-1810-0
 I Quénot – 979-10-231-1811-7
 I Chionne – 979-10-231-1812-4
I Lizard & Voiron – 979-10-231-1813-1
 II Sultan *et al.* – 979-10-231-1814-8
 II Courault *et al.* – 979-10-231-1815-5
 II Vignal & Andrieu – 979-10-231-1816-2
III Beuzen-Waller *et al.* – 979-10-231-1817-9
 Conclusion – 979-10-231-1818-6
 Appendice – 979-10-231-1819-3

Mise en page Emmanuel Marc DUBOIS/3D2S, Issigeac/Paris
d'après le graphisme de Patrick VAN DIEREN

SUP

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

tél. : (33)(0)1 53 10 57 60

sup@sorbonne-universite.fr

sup.sorbonne-universite.fr

DEUXIÈME PARTIE

**Milieus extrêmes
et changement climatique**

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET AGRICULTURE : IMPACTS ET ADAPTATION EN AFRIQUE DE L'OUEST

Benjamin Sultan,

*ESPACE-DEV (universités de Montpellier [IRD], de Guyane, de la Réunion,
des Antilles et d'Avignon)*

Richard Lalou,

MERIT (IRD, université Paris-Descartes)

Laurent Kergoat,

GET (CNRS, IRD, université de Toulouse)

Bénédicte Gastineau,

LPED (IRD, Aix-Marseille université)

Théo Vischel,

IGE (CNRS, Grenoble INP, IRD et université Grenoble-Alpes)

139

MILIEUX EXTRÊMES • SUP • 2021

L'agriculture est considérée comme l'activité humaine la plus dépendante des variations climatiques¹. Les impacts du climat sur l'agriculture varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socioéconomiques particulièrement importantes dans les pays en développement des latitudes tropicales. En effet, ces pays connaissent une grande variabilité climatique, comme le régime de mousson en Inde et en Afrique de l'Ouest ou encore l'influence des événements *El Niño* sur le continent américain² et dans bien des cas leur pauvreté endémique augmente le risque et la gravité des catastrophes naturelles³. Les populations rurales de l'Afrique subsaharienne sont particulièrement exposées aux aléas climatiques dans la mesure où elles sont étroitement dépendantes de l'agriculture pluviale qui occupe près de 93 % des terres cultivées. Rappelons en effet que 80 % des céréales consommées en

- 1 Peter A. Oram, « Sensitivity of Agricultural Production to Climatic Change, an Update », dans *Climate and Food Security*, Manilla, International Rice Research Institute, The Philippines, p. 25-44 ; James W. Hansen, « Realizing the Potential Benefits of Climate Prediction to Agriculture: Issues, Approaches, Challenges », *Agricultural Systems*, vol. 74, n°3, 2002, p. 309-330.
- 2 Andrew Challinor *et al.*, « Toward a Combined Seasonal Weather and Crop Productivity Forecasting System: Determination of the Working Spatial Scale », *J. Appl. Meteorol.*, vol. 42, n°2, 2003, p. 175-192.
- 3 Mark Pelling (dir.), « Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development », *UNDP Global Report 2004*.

Afrique subsaharienne proviennent de cette production traditionnelle et que le secteur agricole emploie 70 % de la totalité de la main-d'œuvre⁴, représentant entre 15 % et 20 % du PIB. Outre cette dépendance, la croissance rapide de ces populations et leur pauvreté, ne leur permettant pas un accès aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, irrigation), constituent des facteurs aggravants des impacts socioéconomiques du climat. En effet les faibles moyens de l'agriculture pluviale pour anticiper et enrayer les effets des fluctuations climatiques s'illustrent par une corrélation forte entre la productivité agricole et la pluviométrie avec des conséquences sur la sécurité alimentaire. Depuis les années 1970, les plus grandes famines ayant nécessité un recours à l'aide alimentaire internationale (1974, 1984/1985, 1992 et 2002) sont entièrement ou en partie dues aux variations du climat⁵.

140

À ces fluctuations climatiques récentes s'ajoutent les conséquences attendues du changement climatique. Le dernier rapport du GIEC confirme avec toujours plus de certitude le réchauffement climatique global causé par l'augmentation des émissions et de la concentration des gaz à effet de serre et ses conséquences probables sur l'environnement et les sociétés⁶. En particulier, il alerte à nouveau la communauté internationale quant à une augmentation de la température partout dans le monde et une probable augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas météorologiques majeurs comme les sécheresses, citant l'Afrique comme une des régions les plus vulnérables aux changements climatiques. Même s'il existe encore de nombreuses incertitudes sur les conséquences du réchauffement global sur le climat africain, un tel bouleversement climatique aura assurément des répercussions sur les ressources hydriques et sur la production agricole⁷. Ces impacts attendus représentent une contrainte supplémentaire sur un système de production en équilibre déjà précaire avec la variabilité climatique actuelle surtout face au défi majeur pour le secteur agricole que représente la croissance démographique. En effet, l'Afrique subsaharienne verra sa population doubler en 2050⁸.

4 FAO, « The State of Food Insecurity in the World », Rome, Food and Agricultural Organization, 2003.

5 Maxx Dille, Robert S. Chen, Uwe Deichmann, Arthur L. Lerner-Lam & Margaret Arnold, *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, Washington (D.C.), The World Bank, 2005.

6 IPCC, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge/New York, CUP, 2014, 688 p.

7 Anne Moorhead (dir.), *Climate, Agriculture and Food Security: A Strategy for Change*, Copenhagen, Alliance of the CGIAR Centers, 2009, 57 p.

8 Philippe Collomb, *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, Paris, Economica, 1999, 197 p.

Dans ce contexte, être capable de mieux comprendre et d'anticiper les fluctuations climatiques et leurs conséquences sur l'agriculture ainsi que les possibilités d'adaptation des populations rurales constitue un enjeu majeur en matière de développement et de sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. L'objectif de ce qui suit est d'établir un bilan sur les changements climatiques en cours et attendus dans le futur et de discuter de la problématique de l'adaptation. Pour ce faire, nous reprendrons les conclusions de l'ouvrage *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, qui propose un regard croisé interdisciplinaire sur les changements passés et à l'œuvre ainsi que les scénarios futurs des systèmes de production ruraux⁹. Les systèmes ruraux et les changements environnementaux devant être vus comme adaptatifs et coévolutifs, l'ouvrage documente la capacité d'adaptation des acteurs ruraux (modes d'accès aux ressources, usage et gestion des ressources, capacité d'adaptation aux aléas naturels) dans une diversité de situations au Niger, au Sénégal et au Bénin. Le choix des situations tente de refléter la diversité des systèmes de production et la variété des environnements naturels et sociaux qui la contraignent en prenant en compte les aspects sociaux, économiques, politiques et techniques.

LES FLUCTUATIONS RÉCENTES DU CLIMAT

En Afrique de l'Ouest, et en particulier dans la bande sahélienne, l'essentiel des précipitations est concentré sur les mois d'été pendant la saison de mousson. Ces pluies de mousson en Afrique de l'Ouest sont un élément essentiel pour les populations africaines puisqu'elles constituent souvent l'unique apport d'eau pour le secteur agricole de ces régions. Elles sont caractérisées par des fluctuations aux échelles saisonnières, interannuelles ou décennales pouvant être très fortes¹⁰, avec des répercussions parfois importantes sur les populations rurales. Ainsi, à la fin du XX^e siècle on a observé une réduction de près de 30 % des précipitations au Sahel en quarante ans¹¹ alors que la population y a doublé. Les grandes sécheresses des années 1970 qui ont provoqué une famine dramatique et celles des années 1990 qui ont fait périr la quasi-totalité des troupeaux restent

9 Benjamin Sultan, Richard Lalou, Mouftaou Amadou Sanni, Amadou Oumarou & Mame Arame Soumaré (dir.), *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, Paris, éditions de l'IRD, 2015, 465 p.

10 Théo Vischel, Thierry Lebel, Gérémy Panthou, Guillaume Quantin, Aurélien Rossi & Maxime Martinet, « Le retour d'une période humide au Sahel? Observations et perspectives », dans Benjamin Sultan et al. (dir.), *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, op. cit., p. 43-60.

11 Oli Brown & Alec Crawford, « Climate Change: a New Threat to Stability in West Africa? Evidence for Ghana and Burkina Faso », *African Security Review*, vol. 17, n° 3, 2008, p. 39-57.

encore dans tous les esprits comme un exemple frappant du rôle crucial que joue le climat dans la région subsaharienne¹².

Après trente années de sécheresse généralisée dans le Sahel, la première décennie du XXI^e siècle a vu une reprise de la pluviométrie. Elle est particulièrement marquée sur la partie centrale du Sahel, sans pour autant atteindre les conditions d'humidité des années 1950-1969 ; elle est plus atténuée dans l'ouest du Sahel, où la sécheresse a perduré plus longtemps, jusqu'à la fin des années 2000. En réponse à cette reprise des pluies, on a observé pour la période 1981-2011 une tendance au reverdissement sur la quasi-totalité de la bande sahélienne malgré l'existence de quelques régions où les tendances du couvert végétal sont négatives, par exemple dans le Fakara nigérien ou dans les régions centrales du Soudan. Ce constat a été réalisé à partir des observations satellitaires et des observations *in situ* (le Gourma malien et le Fakara nigérien).

142

Cette résilience de la végétation concerne particulièrement la strate herbacée qui semble avoir une capacité importante à se restaurer, même après les sécheresses des années 1970 et 1980. Phénomène moins spectaculaire, les ligneux semblent également connaître une régénération de leurs populations avec le regain récent de pluviosité et les recharges des nappes souterraines. Ces constats ont été faits sur le parc d'acacias *Faidherbia albida* au Sénégal.

Si le Sahel est actuellement plus humide et plus vert, il doit faire face à un climat extrêmement changeant. En effet, bien qu'une reprise des pluies ait bel et bien été constatée au Sahel, l'analyse détaillée du cycle hydrologique dans le Sahel central met en évidence que l'augmentation des quantités annuelles de pluie s'est accompagnée d'une diminution persistante du nombre de jours pluvieux et donc d'une progression des événements violents (très forts orages). Cette situation est typique d'un climat à forte variabilité, correspondant à une intensification du régime des précipitations, qui alterne les extrêmes hydrologiques comme les sécheresses et les inondations, plutôt qu'il ne signale un retour à des conditions humides anciennes, comme celles qui ont prévalu dans les années 1950. Même avec la reprise des pluies, les années sèches n'appartiennent pas à un passé révolu. Le Sahel a connu au cours du XXI^e siècle au moins quatre crises alimentaires majeures : 2003, 2005, 2010 et 2012. Hormis la crise alimentaire de 2007-2008, largement imputable à la volatilité excessive des prix mondiaux de denrées alimentaires, les épisodes de crise alimentaire sont des crises de disponibilité alimentaire dues à la sécheresse. Dans le même temps, les inondations à fort impact socioéconomique sont bien plus fréquentes qu'au cours des décennies précédentes. Les situations locales caractérisées par des inondations de champs, des vents violents qui détruisent

¹² Mark Pelling (dir.), « Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development », *op. cit.*

les cultures, la brusque montée des eaux dans les bas-fonds qui submerge les cultures et fauche des troupeaux, des terres érodées par le ruissellement des eaux... sont des catastrophes devenues régulières et auxquelles les agriculteurs et les éleveurs doivent faire face, en plus des sécheresses.

Si l'augmentation récente des pluies – qui permet une végétation un peu plus abondante – et la récurrence des événements pluvieux violents sont les marques les plus visibles du changement climatique, ces modifications s'accompagnent d'un phénomène beaucoup moins bien perçu par les paysans ouest-africains et pourtant incontestable : le réchauffement de la surface du continent depuis les années 1950. Les périodes les plus chaudes de l'année sont les plus concernées – notamment le printemps, où les températures, en constante augmentation, sont de 2 °C plus élevées qu'il y a soixante ans. Cette amplification du cycle annuel des températures, plus marquée au Sahel que dans les régions soudanienne et guinéenne, se traduit principalement par une augmentation des températures nocturnes – les températures diurnes restant plus stables, sans qu'on puisse encore en expliquer les causes. Bien que la température soit cruciale pour l'étude des bilans d'eau et d'énergie et que le réchauffement soit annoncé dans tous les scénarios de changement climatique pour atteindre des valeurs allant de + 2 °C à + 4 °C à la fin du siècle, elle a fait l'objet de beaucoup moins d'études que les précipitations. C'est pourtant une contrainte nouvelle à laquelle les paysans africains pourront être confrontés à l'avenir avec un effet négatif sur les rendements agricoles, sur l'élevage et sur les superficies cultivables dès le seuil de + 2 °C atteint.

LES EFFETS ATTENDUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE

Si l'Afrique subsaharienne est aujourd'hui fréquemment confrontée à l'insécurité alimentaire, qu'en sera-t-il dans le futur ? Un regard rétrospectif sur l'évolution de ces dernières années donne une image assez pessimiste pour le futur. En effet, en dépit d'une hausse de la production alimentaire, le très fort accroissement de la population a entraîné une augmentation du taux de pauvreté et de malnutrition plus rapidement en Afrique que n'importe où dans le monde avec un indice de production agricole par habitant bien plus bas que dans d'autres continents. Or si l'on tient compte des projections des besoins alimentaires à l'horizon 2050, au moment où selon les Nations unies la planète aura atteint le maximum de sa population, l'effort en matière d'accroissement de la production alimentaire devrait être extrêmement élevé : entre 2000 et 2050, l'Afrique devrait, selon Philippe Collomb¹³, plus que quintupler sa production !

13 Philippe Collomb, *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, *op. cit.*

Le futur de cette région dépend donc de la capacité du secteur agricole à relever le défi de nourrir sa population qui croît rapidement. Or, ce défi sera d'autant plus difficile à relever que le changement climatique est aujourd'hui à l'œuvre et ne sera certainement pas sans conséquence sur l'agriculture en Afrique comme ailleurs. Les 4^e et 5^e rapports du GIEC, publiés respectivement en 2007 et en 2014, ont en effet cité l'Afrique comme le continent le plus vulnérable aux changements climatiques¹⁴. Il n'y a pas de doute qu'une modification de l'intensité ou du régime des précipitations affectera les systèmes agricoles et pastoraux en Afrique subsaharienne¹⁵. L'agriculture irriguée, comme la culture du riz, qui joue un rôle important pour nourrir la population urbaine en Afrique, sera également affectée à cause non seulement d'une possible modification de la disponibilité en eau mais aussi de l'augmentation des températures, qui peut entraîner des pertes conséquentes de rendement¹⁶. Il apparaît donc crucial de pouvoir fournir une image plus précise de l'évolution attendue du potentiel de production agricole en Afrique subsaharienne dans le contexte du réchauffement climatique. Cependant cette tâche reste encore difficile à réaliser du fait des fortes incertitudes sur les projections régionales du changement climatique, dans la réponse des plantes aux changements environnementaux (pluie, températures, concentration de CO₂ dans l'atmosphère), dans le couplage des modèles agronomiques et climatiques et dans la façon dont les systèmes agricoles vont s'adapter progressivement aux changements environnementaux¹⁷.

Il existe de nombreux articles et rapports faisant état de projections des rendements en Afrique subsaharienne en réponse aux changements environnementaux¹⁸. Cependant, ces documents portent tous sur un pays ou un groupe de pays en particulier, mettent l'accent sur une culture ou sur une variété spécifique et utilisent des méthodologies différentes (modèle empirique ou mécaniste pour simuler les rendements, différentes méthodes de régionalisation, différents modèles ou scénarios climatiques, prise en compte

14 IPCC, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B, op. cit.*

15 Anne Moorhead (dir.), *Climate, Agriculture and Food Security: A Strategy for Change, op. cit.*

16 Michael Dingkuhn, « Climatic Determinants of Irrigated Rice Performance in the Sahel. III. Characterizing Environments by Simulating Crop Phenology », *Agric. Syst.*, vol. 48, n° 4, 1995, p. 435-456 ; Michael Dingkuhn et K.M. Miézan, « Climatic Determinants of Irrigated Rice Performance in the Sahel. II. Validation of Photothermal Constants and Characterization of Genotypes », *Agric. Syst.*, vol. 48, n° 4, 1995, p. 411-434 ; Michael Dingkuhn, Abdoulaye Sow, A. Samb, Salif Diack & Folkard Asch, « Climatic Determinants of Irrigated Rice Performance in the Sahel. I. Photothermal and Micro-Climatic Responses of Flowering », *Agric. Syst.*, vol. 48, n° 4, 1995, p. 385-410.

17 Andrew Challinor, Tim Wheeler, Chris Garforth, Peter Craufurd & Amir Kassam, « Assessing the Vulnerability of Food Crop Systems in Africa to Climate Change », *Climatic Change*, vol. 83, n° 3, 2007, p. 381-399.

18 Andrew Challinor *et al.*, « Toward a Combined Seasonal Weather and Crop Productivity Forecasting System: Determination of the Working Spatial Scale », art. cit.

de l'effet du CO₂). Il est donc assez difficile de se faire une idée d'ensemble de l'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique et surtout des incertitudes dont sont assorties ces projections. Philippe Roudier et son équipe ont procédé à une méta-analyse des résultats de la littérature en compilant les résultats issus de 16 publications récentes sur le sujet pour constituer une base de données de rendement pour le futur¹⁹. Ils montrent que le signe du changement relatif de rendement entre le présent et le futur est dans la plupart des cas négatif avec une baisse des rendements de l'ordre de 10 % par rapport au présent. Ce chiffre est néanmoins assorti d'une forte incertitude puisque les distributions des réponses sont très étalées et varient de - 40 % à + 80 % selon les cas. La prise en compte de la concentration atmosphérique en CO₂, qui a un effet fertilisant sur la plante quoiqu'encore mal compris et mal représenté par les modèles²⁰, a un effet d'atténuation sur l'effet négatif du changement climatique bien que les impacts combinés des changements environnementaux (climat et CO₂) restent globalement négatifs. Philippe Roudier et son équipe ont également montré que l'amplitude des impacts du changement climatique sur les rendements semble modulée par l'intensité du forçage radiatif²¹. Autrement dit, plus la concentration de CO₂ dans l'atmosphère considérée dans ces études est élevée (horizons temporels lointains, scénarios économiques avec de fortes émissions comme A2), plus l'impact négatif attendu sur les rendements est fort. Cette constatation donne un sens particulièrement important à la prise en compte de la réduction des émissions de CO₂ par les mesures d'atténuation qui peuvent limiter les impacts sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest. Cette méta-analyse a été étendue à un ensemble plus grand de publications (52 articles) pour mettre en évidence l'impact attendu du changement climatique sur les rendements de huit cultures majeures en Afrique et en Asie²². Les auteurs montrent une baisse des rendements agricoles de 8 % à l'horizon 2050 pour les

- 19 Philippe Roudier, Benjamin Sultan, Philippe Quirion & Alexis Berg, « The Impact of Future Climate Change on West African Agriculture: What Does the Recent Literature Say? », *Global Environmental Change*, vol. 21, n° 3, 2011, doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007.
- 20 Stephen P. Long, Elizabeth A. Ainsworth, Andrew D. B. Leakey & Philip B. Morgan, « Food for Thought: Lower Than-Expected Crop Yield Stimulation With Rising CO₂ Concentrations », *Science*, vol. 312, n° 5782, 2006, p. 1918-1921; Francesco N. Tubiello, Jean-François Soussana & Mark Howden, « Crop and Pasture Response to Climate Change », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, n° 50, 2007, p. 19686-19690; Elizabeth A. Ainsworth, Andrew D. B. Leakey, Donald R. Ort, Stephen P. Long, « FACE-ing the Facts: Inconsistencies and Interdependence Among Field, Chamber and Modeling Studies of Elevated [CO₂] Impacts on Crop Yield and Food Supply », *New Phytologist*, vol. 179, n° 1, 2008, p. 5-9.
- 21 Philippe Roudier et al., « The Impact of Future Climate Change on West African Agriculture: What Does the Recent Literature Say? », art. cit.
- 22 Jerry Knox, Tim Hess, André Daccache & Tim Wheeler, « Climate Change Impacts on Crop Productivity in Africa and South Asia », *Environmental Research Letters*, vol. 7, n° 3, 2012, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/3/034032/pdf>

deux régions. En Afrique, les rendements agricoles vont baisser de 17 % pour le blé, 5 % pour le maïs, 15 % pour le sorgho et de 10 % pour le mil. En raison du nombre limité d'études, mais aussi de résultats contradictoires, Jerry Knox avec plusieurs coauteurs n'ont pas pu mettre en évidence une réponse aussi claire et robuste pour les cultures du riz, du manioc et de la canne à sucre²³.

Les changements de températures et de précipitations sont des déterminants majeurs dans les tendances récentes observées sur la production agricole en Afrique subsaharienne. À la fois l'augmentation des températures et, surtout, la diminution des précipitations ont conduit à des déficits de production depuis les années 1970²⁴. Si les effets des précipitations ont été dominants dans l'histoire récente comme l'illustre l'exemple de la relation forte entre pluviométrie et productivité du mil au Niger, il peut en être tout à fait différent dans le futur. En effet, Wolfram Schlenker et David B. Lobell montrent que l'augmentation de température prévue par les modèles est bien plus forte que celle des précipitations qui est généralement plus petite que l'écart-type historique²⁵. De plus, les auteurs montrent à partir d'une modélisation empirique de la relation climat-rendement que l'impact marginal du changement d'un écart-type des pluies est inférieur à celui d'un changement d'un écart-type des températures dans le futur. Même si les pluies ne changeaient pas dans le futur, le rendement diminuerait d'environ 15 % du fait de l'augmentation des températures qui réduit la longueur des cycles de culture et augmente le stress hydrique à travers une évapotranspiration accrue. D'après Wolfram Schlenker et David B. Lobell, les changements de précipitations ont quand même un impact, moindre cependant en comparaison de celui des températures²⁶. Selon que la pluie augmente ou diminue dans le futur, l'impact sur le rendement pourrait être amplifié d'un facteur deux – respectivement – 10 % et – 21 % si l'on considère le changement médian. Ce résultat est cohérent avec celui de Seyni Salack qui montre que pour une certaine variété de mil, une augmentation des précipitations ne peut compenser les impacts négatifs d'une augmentation des effets d'une augmentation de température (+ 1,5 °C) même si elle en atténue l'amplitude²⁷. Benjamin Sultan avec plusieurs coauteurs ont également montré

23 *Ibid.*

24 Salvador Barrios, Bazoumana Ouattara & Eric Strobl, « The Impact of Climatic Change on Agricultural Production: Is It Different for Africa? », *Food Policy*, vol. 33, n°4, 2008, p. 287-298.

25 Wolfram Schlenker et David B. Lobell, « Robust Negative Impacts of Climate Change on African Agriculture », *Environmental Research Letters*, vol. 5, n°1, 2010, p. 1-8, en ligne : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/5/1/014010/pdf>.

26 *Ibid.*

27 Seyni Salack, *Impacts des changements climatiques sur la production du mil et du sorgho dans les sites pilotes du plateau central, de Tahoua et de Fakara*, Niamey (Niger), CILSS, 2006.

que les variations de réponses de rendement dans le futur sont largement dominées par l'effet de la température dont le réchauffement atteint jusqu'à + 4 °C dans les projections des modèles CMIP₃ et CMIP₅ en Afrique, confirmant ainsi les résultats tant de Berg *et al.* que de Schlenker et Lobell²⁸.

L'incertitude sur le devenir des précipitations en Afrique de l'Ouest est également un facteur très limitant pour affiner les projections de rendement en réponse aux changements environnementaux. En effet, il n'y a pas de consensus entre les modèles de climat quant à l'impact du réchauffement climatique sur les pluies au Sahel²⁹, certains modèles faisant état d'une possible aridification, d'autres d'une augmentation des pluies dans le futur. Néanmoins quelques études récentes³⁰ ont trouvé un signal robuste entre les différents modèles qui atteste d'un retard de la mousson à l'ouest du Sahel et d'une augmentation des pluies à la fin de l'hivernage au centre du Sahel. Cela se traduit par un impact sur le rendement agricole très différent entre l'ouest et le centre du Sahel³¹. En effet, à l'ouest du Sahel, les pertes de rendement sont particulièrement importantes (autour de 19 %) en raison de la combinaison entre le réchauffement et la

- 28 Benjamin Sultan, Philippe Roudier, Philippe Quirion *et al.*, « Assessing Climate Change Impacts on Sorghum and Millet Yields in the Sudanian and Sahelian Savannas of West Africa », *Environmental Research Letters*, vol. 8, n° 1, 2013, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/1/014040/meta>; Alexis Berg, Nathalie de Noblet-Ducoudré, Benjamin Sultan, Matthieu Lengaigne & Matthieu Guimberteau, « Projections of Climate Change Impacts on Potential C₄ Crop Productivity Over Tropical Regions », *Agricultural and Forest Meteorology*, n° 170, 2013, p. 89-102; Wolfram Schlenker & David B. Lobell, « Robust Negative Impacts of Climate Change on African Agriculture », art. cit.
- 29 Kerry Cook & Edward Vizzy, « Coupled Model Simulations of the West African Monsoon System: Twentieth- and Twenty-First-Century Simulations », *Journal of Climate*, vol. 19, n° 15, 2006, p. 3681-3703, en ligne : <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JCLI3814.1>; Leonard M. Druyan, « Studies of 21st-century Precipitation Trends Over West Africa », *International Journal of Climatology*, vol. 31, n° 10, 2010, p. 1415-1424, en ligne : <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.2180>
- 30 Michela Biasutti, « Forced Sahel Rainfall Trends in the CMIP₅ Archive », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 118, n° 4, 2013, p. 1613-1623, en ligne : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jgrd.50206>; Paul-Arthur Monerie, Pascal Roucou & Bernard Fontaine, « Mid-century Effects of Climate Change on African Monsoon Dynamics Using the A1B Emission Scenario », *International Journal of Climatology*, vol. 33, n° 4, 2013, p. 881-896, en ligne : <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.3476>; *id.*, « Expected Future Changes in the African Monsoon Between 2030 and 2070 Using Some CMIP₃ and CMIP₅ Models Under a Medium-low RCP Scenario », *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 117, n° D16, 2012, p. 1-12, en ligne : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2012JD017510>; Christina M. Patricola & Kerry Cook, « Northern African Climate at the End of The Twenty-First Century: an Integrated Application of Regional and Global Climate Models », *Climate Dynamics*, vol. 35, n° 1, 2010, p. 193-212; Michela Biasutti & Adam H. Sobel, « Delayed Sahel Rainfall and Global Seasonal Cycle in a Warmer Climate », *Geophysical Research Letters*, vol. 36, n° 23, 2009, L23707, en ligne : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2009GL041303>.
- 31 Benjamin Sultan *et al.*, « Robust Features of Future Climate Change Impacts on Sorghum Yields in West Africa », *Environmental Research Letters*, vol. 9, n° 10, 2014, en ligne : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/10/104006/meta>

baisse des précipitations au début de la saison des pluies. Au centre du Sahel, la température et la précipitation agissent dans un sens opposé : le réchauffement entraîne des pertes de rendements tandis que la hausse des pluies à la fin de la saison est favorable à la culture du sorgho. Néanmoins dans cette région, malgré une hausse des pluies, c'est l'augmentation des températures qui domine dans le signe des impacts du changement climatique, puisqu'on observe des pertes de rendement autour de 7 % au milieu du xxi^{e} siècle.

Cette opposition entre l'ouest et le centre du Sahel quant à l'évolution des pluies ne se retrouve pas pour les températures qui montrent au contraire un réchauffement selon un gradient latitudinal avec les régions au nord du Sahel, qui se réchauffent davantage que celles du sud. L'augmentation des températures au milieu du xxi^{e} siècle, pouvant dépasser + 3 °C dans certaines localités, est si importante qu'il n'existera bientôt aucun analogue du climat africain dans l'histoire récente³². Benjamin Sultan et plusieurs coauteurs ont également montré que les projections des décennies passées et futures et leur réponse en termes de rendement ne se superposent pas³³. Ainsi le changement climatique et ses conséquences, tels qu'ils sont projetés par les modèles de climat, constituent un phénomène totalement nouveau, qui ne ressemble en rien à ce que l'Afrique a connu depuis le début du xxi^{e} siècle. Ce résultat souligne ainsi l'ampleur du défi que sera (qu'est) l'adaptation au changement climatique : comment s'adapter à un monde inconnu (et de surcroît incertain) ?

148

L'ADAPTATION DES POPULATIONS RURALES

En Afrique de l'Ouest comme ailleurs dans le monde, l'adaptation de l'agriculture à l'évolution du climat n'est pas une idée neuve. Principalement pluviale, l'agriculture familiale africaine est fortement soumise au changement et à la variabilité du climat, obligeant constamment les agriculteurs et leurs familles à mettre en œuvre des stratégies d'adaptation pour conserver leurs niveaux de vie et de production biologique (denrées agricoles, fourrage, bois de chauffage et matériaux de construction, etc.). Même en l'absence de moyens économiques et techniques, les paysanneries africaines ne sont donc ni nécessairement ni totalement vulnérables face à des événements menaçants et dommageables. Pour autant, leurs réponses doivent aussi composer avec

³² David Battisti & Rosamond L. Naylor, « Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat », *Science*, vol. 323, n° 5911, 2009, p. 240-244, DOI: 10.1126/science.1164363

³³ Benjamin Sultan, Philippe Roudier, Philippe Quirion *et al.*, « Assessing Climate Change Impacts on Sorghum and Millet Yields in the Sudanian and Sahelian Savannas of West Africa », art. cit.

les contraintes, les incertitudes, les barrières et les limites qui réduisent leurs manières d'agir. En règle générale, les stratégies d'adaptation doivent intégrer trois niveaux d'incertitude : l'incertitude sur le climat futur, l'incertitude concernant les impacts des changements climatiques sur les systèmes naturels et socioéconomiques³⁴ et l'incertitude sur les bénéfices futurs d'une adaptation engagée dès aujourd'hui³⁵. Chacune de ces incertitudes peut devenir une barrière dans le processus d'adaptation (phase d'identification du problème et phase de planification de l'action)³⁶. Ces incertitudes sont généralement d'autant plus fortes en amplitude et déterminantes pour l'action, que l'adaptation est par définition souvent locale alors que les projections du climat et de ses impacts sont continentales ou régionales. En outre, les zones d'incertitude des prévisions à long terme s'amplifient en Afrique, faute de données météorologiques fiables et suffisantes. Finalement, c'est sans doute tout cet environnement incertain qui justifie que l'on privilégie, en Afrique comme un peu partout dans le monde, l'adaptation réactive à l'adaptation anticipatrice. Il en résulte alors des adaptations à minima – que l'on peut qualifier de « survie » –, pas toujours performantes et rarement durables.

Dans la partie de l'ouvrage *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest* consacrée aux adaptations des systèmes agricoles, nous avons considéré quatre trajectoires agricoles différentes, situées dans trois contextes géoclimatiques ouest-africains (le Bénin, le Niger et le Sénégal)³⁷. Même si les sociétés rurales – ignorantes très souvent de la notion même de changement climatique – ne perçoivent ni n'interprètent les modifications actuelles du climat dans les mêmes termes que les scientifiques, elles perçoivent au Sénégal, au Bénin et au Niger, les changements récents du climat moyen et de ses variations annuelles, tels que les observent les climatologues. Cette adéquation entre perceptions sociales locales et observations scientifiques du climat est particulièrement bonne lorsque les changements climatiques sont rapides, manifestes pour tous et quand ils ont un impact sur les modes de vie et les niveaux de production. Au Sénégal, les populations rurales font une distinction claire entre la situation environnementale, qui prévalait il y a

34 Gerald A. Meehl *et al.*, « Global Climate Projections », dans Susan Solomon *et al.* (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Global Climate Projections*, Cambridge/ New York, CUP, 2007, p. 747-845.

35 Alexandre Magnan, « Éviter la maladaptation au changement climatique », *Policy Briefs*, n°8, juillet 2013, en ligne : https://www.iddri.org/sites/default/files/import/publications/pbo813_am_maladaptation.pdf

36 Susanne C. Moser & Julia A. Ekstrom, « A Framework to Diagnose Barriers to Climate Change Adaptation », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n°51, 2010, p. 22026-22031.

37 Benjamin Sultan *et al.* (dir.), *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, *op. cit.*

une vingtaine d'années environ quand la sécheresse était un facteur de stress, et les conditions climatiques actuelles où le climat n'est plus perçu comme une contrainte majeure par les paysans, grâce à la reprise des pluies et malgré leurs variations interannuelles. En revanche au nord du Bénin, où la réalité scientifique des changements climatiques est beaucoup moins marquée, les perceptions des agriculteurs s'écartent sensiblement des observations, dans un sens comme dans l'autre. Si les agriculteurs et les éleveurs perçoivent bien les changements du climat, ils s'y adaptent aussi très rapidement, témoignant ainsi d'une importante capacité de réaction et d'adaptation spontanée. On en a trouvé des expressions particulièrement claires au Sénégal. Que ce soit dans la zone d'observation de Niakhar (au centre du bassin arachidier sénégalais), avec la réintroduction et la diffusion dans tout le Sine du mil sanio à cycle long (110-120 jours), qui avait disparu il y a près de trente ans, ou dans la vallée du fleuve Sénégal, avec une modification de la période des semis, on note des changements des pratiques paysannes en lien direct avec les évolutions récentes du climat, et ceci sans intervention de la recherche ou des acteurs du développement. Les résultats exposés dans l'ouvrage *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest* montrent ainsi que le manque de moyens économiques et techniques ne signifie pas que les agricultures familiales sont incapables de s'adapter. Même sans investissements, ces agricultures innovent en fonction de leurs moyens et pour des performances agricoles qui leur permettent au moins de vivre et de se maintenir sur leurs terroirs.

Les innovations, qui traversent aujourd'hui les agricultures ouest-africaines et qui leur donnent leur dynamisme, ne répondent pas uniquement ni principalement aux contraintes de la variabilité des climats et des ressources naturelles. Plus globalement et plus profondément, les petites agricultures familiales s'adaptent aux grandes évolutions économiques, démographiques et politiques qui transforment leurs territoires. Qu'elles soient agricoles ou pastorales, côtières, sahéliennes ou forestières, les sociétés rurales – et au travers d'elles leurs organisations socioéconomiques et leurs systèmes de production agricole – sont en constante adaptation transformationnelle. Parmi les innovations, on peut citer, entre autres, l'émergence ou la généralisation de nouvelles productions commerciales, comme les noix de cajou et le soja au Bénin, la pastèque, l'embouche bovine et l'horticulture au Sénégal, et la pomme de terre au Niger. Ces évolutions s'accompagnent aussi de nouvelles pratiques agricoles avec des modifications des calendriers cultureux (date de semis, rotations des cultures) ou encore une diversification toujours plus grande des activités extra-agricoles : artisanat, commerce et travaux de manutention en fonction des besoins croissants des villes. Toutes ces innovations ne sont certes

pas des réponses directes au changement climatique, mais elles constituent certainement des sources de revenus qui aident à la réduction des vulnérabilités des exploitations agricoles, notamment face au climat. En ce sens, elles contribuent donc à renforcer les capacités des petites agricultures familiales à mieux faire face aux perturbations climatiques.

Tous les exemples d'adaptation étudiés dans cet ouvrage confirment d'une certaine façon la « règle » : l'adaptation de la petite paysannerie africaine est plus souvent spontanée (sans concertation et coordination importantes entre les acteurs), réactive et à faible risque. Au Sénégal, le retour à des pluies plus abondantes a généralement permis aux agriculteurs de revenir à un système agraire ancien (d'avant les sécheresses), c'est-à-dire à des pratiques traditionnelles et moins risquées, car culturellement acceptables et économiquement viables. Ainsi, comme nous l'avons indiqué, ils ont réintroduit le mil à cycle long, qui avait presque disparu entre 1970 et 2000³⁸. De même, l'association vertueuse entre les cultures et l'élevage, rendue très difficile pendant la période sèche, est réapparue avec le développement de l'embouche bovine. Cette pratique a non seulement permis de renouer avec l'usage ancien du transfert de la fertilité, mais elle s'est révélée être une source de matière organique plus riche et plus performante que l'élevage extensif traditionnel³⁹. En d'autres termes, l'adaptation n'a pas été ici un frein à la transformabilité de l'agrosystème. Tout en conservant les principes directeurs qui garantissent sa durabilité (association de la culture et de l'élevage), le système agraire a intégré une innovation qui le rend plus performant dans la conservation de la fertilité des sols. Plus généralement, nous pouvons dire que toutes ces adaptations montrent combien les sociétés agricoles d'Afrique parviennent à s'adapter aux changements globaux, sans pour autant en devenir trop résistantes aux perturbations et incapables de se transformer face à des chocs aussi aléatoires et créatifs que destructeurs.

DES TRAVAUX À MENER SUR L'ADAPTATION ANTICIPATRICE

Nous ne pourrions conclure sans esquisser quelques pistes pour la recherche à venir. Nos travaux ont beaucoup insisté sur l'adaptation spontanée et réactive. Ces stratégies réactives sont une façon très souple de s'adapter à l'irrégularité

38 Bertrand Muller, Richard Lalou, Patrice Kouakou *et al.*, « Le retour du mil sanio dans le Sine. Une adaptation raisonnée à l'évolution climatique », dans Benjamin Sultan *et al.* (dir.), *Les Sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, *op. cit.*, p. 377-401.

39 Élise Audouin, Jonathan Vayssières, Mariana Odrú, Dominique Masse, Séraphin Dorégo, Valérie Delaunay & Philippe Lecomte, « Réintroduire l'élevage pour accroître la durabilité des terroirs villageois d'Afrique de l'Ouest. Le cas du bassin arachidier au Sénégal », dans Benjamin Sultan *et al.* (dir.), *ibid.*, p. 402-427.

climatique (mais aussi aux variations de main-d'œuvre par exemple) dans des systèmes agricoles dominés par les cultures annuelles. L'élevage est certes plus pérenne, mais la reproduction est aussi annuelle, et cela permet aussi une certaine flexibilité. Une réflexion reste à mener sur l'adaptation anticipatrice, souvent promue par les politiques et les scientifiques, pour sa faculté à réduire les coûts sociaux, économiques et écologiques du changement. L'adaptation anticipatrice est en revanche incontournable lorsque les systèmes agricoles reposent sur des cultures pérennes, voire longévives. Dans le domaine de l'agriculture, disposer d'outils efficaces de gestion du risque climatique peut apporter une réelle plus-value aux stratégies d'adaptation des populations africaines face aux enjeux de sécurité alimentaire, de croissance démographique, du changement climatique auxquels elles sont confrontées et qui peuvent avoir une traduction directe sur l'équilibre politique. Or, ces outils ne sont encore que très peu (ou pas) utilisés par les producteurs en dépit de preuves accumulées par les programmes de recherche sur la conscience aigüe du risque climatique par les producteurs, sur le potentiel de l'information climatique dans la planification et la prise de décision et sur les progrès récents pour prévoir les fluctuations du climat (démarrage des pluies, séquences sèches) des jours, voire des mois à l'avance. Parmi les multiples raisons de cette contradiction, il existe un manque de connaissances sur l'adéquation entre les modalités d'utilisation de l'information produite et les besoins des producteurs (échelle spatiale et temporelle, délai de prévision, degré de confiance), sur les réponses techniques ou organisationnelles les plus efficaces face aux fluctuations du climat (modification des calendriers agricoles, valorisation de l'eau, diversification des activités, instruments financiers tels les crédits et assurances par exemple) et sur la façon dont les producteurs peuvent intégrer et s'approprier ces outils de gestion du risque issus de la recherche dans leurs propres pratiques. En outre, cette adaptation planifiée s'opère au niveau des pouvoirs publics et à l'échelle des territoires, impliquant ainsi des décideurs pouvant avoir accès à l'information climatique produite par les scientifiques. Si elle doit tenir compte de l'incertitude inhérente aux prévisions climatiques, elle suppose néanmoins une perception claire de l'aléa, du risque et des conditions qui vont changer. De plus il est nécessaire de décliner cette adaptation, de réfléchir à ses limites selon les différents systèmes de production et scénarios d'évolution du climat à l'ouest, au centre et au nord du Sahel, afin d'éviter toute maladaptation, et de l'intégrer dans une stratégie globale de développement agricole de la région.

Le climat exerce une influence très forte sur l'agriculture, qui est considérée comme l'activité humaine sans doute la plus dépendante des variations climatiques. Les impacts du changement climatique sur l'agriculture affecteront tout particulièrement les pays en développement des latitudes tropicales, qui connaissent déjà une grande variabilité climatique et dont, dans bien des cas, la pauvreté endémique augmente le risque et la gravité des catastrophes naturelles et limite les possibilités d'adaptation. À travers l'exemple de l'agriculture au Sahel, l'exposé propose un regard croisé interdisciplinaire sur les changements passés et à l'œuvre dans cette région d'Afrique tropicale, ainsi que des scénarios du futur des systèmes de production ruraux, en examinant comment les effets induits par le climat interagissent avec d'autres changements globaux en Afrique. Les systèmes ruraux et les changements environnementaux devant être vus comme adaptatifs et co-évolutifs, l'exposé aborde également la façon dont les acteurs ruraux perçoivent tant les changements environnementaux que leur capacité d'adaptation, dans une diversité des systèmes de production et une variété des environnements naturels et sociaux qui la contraignent, avec la prise en compte des aspects sociaux, économiques, politiques et techniques.

The influence of climate on agriculture, is strong, agriculture being considered to be the human activity the most dependent of all on climate. The impacts of climate change on agriculture particularly affect developing countries in tropical latitudes, characterized by an important climate variability and, in many cases, endemic poverty increasing the risk and severity of natural disasters and restricting adaptation. This article, through the example of agriculture in Sahel, proposes a fresh interdisciplinary perspective on past and present changes in this region, as well as future scenarios of rural production systems, by examining how the climatic effects interact with other global changes in Africa. As rural systems and environmental changes have to be considered as adaptive and co-evolving, the article also discusses how rural actors perceive environmental changes and their ability to adapt among varied constraining production systems and natural and social environments while into account social, economic, political and technical factors.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| Milieux extrêmes et critiques face au changement climatique. Climats, Territoires, Environnement Marianne Cohen & Christian Giusti | 9 |
| Encadré. Climat : étymologie, signification locale et questions autour d'un mot..... | 14 |

PREMIÈRE PARTIE

MILIEUX CRITIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

| | |
|---|-----|
| Hydrologie et production agricole dans le nord-ouest de l'Amazonie Josyane Ronchail, Tatiana Schor, Jhan Carlo Espinoza, Manon Sabot, Heitor Pinheiro, Percy Gomez, Guillaume Drapeau, Véronique Michot, Naziano Filizola, Jean-Loup Guyot, Benjamin Sultan, Jean-Michel Martinez..... | 27 |
| Changement climatique et viticulture Hervé Quénel | 57 |
| Perception des aléas côtiers. Le cas de la société insulaire oléronaise (France) David Chionne..... | 79 |
| Utilité d'un diagnostic systémique pour appréhender l'adaptabilité d'un système territorial : application à la Camargue sous la menace de la montée des eaux Sophie Lizard & Christine Voiron-Canicio | 105 |

DEUXIÈME PARTIE

MILIEUX EXTRÊMES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

| | |
|---|-----|
| Changements climatiques et agriculture : impacts et adaptation en Afrique de l'Ouest Benjamin Sultan, Richard Lalou, Laurent Kergoat, Bénédicte Gastineau & Théo Vischel ... | 139 |
| Impacts de la variabilité climatique sur la démographie des rennes en Laponie suédoise : de l'intérêt du calendrier pastoral Romain Courault, Marianne Cohen, Sonia Saïd & Josyane Ronchail | 155 |

| | |
|---|-----|
| Modélisation de l'impact du changement climatique sur trois aires de distribution végétales dans le Mercantour Matthieu Vignal & Julien Andrieu..... | 195 |
|---|-----|

TROISIÈME PARTIE
LONGUE DURÉE QUATERNAIRE

| | |
|---|-----|
| Occupations humaines et dynamiques environnementales du Paléolithique à l'âge du bronze, secteur d'Adam, sultanat d'Oman. Conséquences régionales de la variation du signal hydroclimatique sur le long terme Tara Beuzen-Waller, Guillaume Gernez, Jessica Giraud, Stéphane Desruelles, Anaïs Marrast, Stéphanie Bonilauri, Marion Lemée, Amir Beshkani, Julien Guery, Raphaël Hautefort & Éric Fouache | 225 |
| Conclusion Laurence Eymard..... | 271 |

APPENDICE

| | |
|--|-----|
| Changement climatique et ressource en eau en Himalaya. Enquêtes auprès de villageois dans quatre unités géographiques du bassin de la Koshi, Népal Olivia Aubriot, Joëlle Smadja, Ornella Puschiasis, Thierry Duplan, Juliette Grimaldi, Mickaël Hugonnet & Pauline Buchheit | 273 |
| Rôle du climat et de l'agriculture dans l'étiologie de la maladie de Kawasaki Joseph Boyard-Micheau, Xavier Rodó, Roger Curcoll, Joan Ballester & Josep Anton Morgui..... | 274 |
| Changement climatique et occupation humaine en Arabie du Sud au cours du Quaternaire récent Anne-Marie Lézine..... | 275 |
| Reconstitution des interactions entre l'évolution climatique et l'anthropisation de la vallée d'Ambato (nord-ouest de l'Argentine) depuis 2000 ans Bernarda Marconetto..... | 276 |
| L'impact des crises hydroclimatiques passées sur la gestion de l'eau en zones urbaines : le cas de Marseille aux XVIII ^e et XIX ^e siècles Nicolas Maughan..... | 277 |
| L'observatoire lyonnais du climat : premiers retours sur une approche pluridisciplinaire d'adaptation au changement climatique Dominique Soto, Florent Renard, Emmanuel Thimonier-Rouzet, Frédéric Kuznik, Luce Ponsar, Corinne Hooge, Lionel Soulhac, Christina Aschan-Leygonie, Alain Brisson, Ph. Mary & D. Saulnier | 278 |