

# MILIEUX EXTRÊMES et CRITIQUES face au CHANGEMENT CLIMATIQUE

Climat, territoire,  
environnement

Marianne Cohen & Christian Giusti (dir.)

I Quénol – 979-10-231-1811-7

SORBONNE UNIVERSITÉ PRESSES



# MILIEUX EXTRÊMES ET CRITIQUES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Le Sacre de la nature</i><br/>Bertrand Sajaloli &amp; Étienne Grésillon (dir.)</p>                                                                                                                       |                                                                                                                                                |
| <p><i>Îles rêvées. Territoires et identités en crise dans le Pacifique insulaire</i><br/>Dominique Guillaud, Christian Huetz de Lemp &amp; Olivier Sevin (dir.)</p>                                            | <p><i>La Rue à Rome. Entre l'émotion et la norme</i><br/>Brice Gruet, Prix Charles Maunoir de la Société de géographie</p>                     |
| <p><i>L'Hiver au Siècle d'or hollandais</i><br/>Alexis Metzger</p>                                                                                                                                             | <p><i>L'Asie-Pacifique des crises et des violences</i><br/>Christian Huetz de Lemp &amp; Olivier Sevin (dir.)</p>                              |
| <p><i>Les Campagnes en France et en Europe. Outils, techniques et sociétés, du Moyen Âge au XX<sup>e</sup> siècle</i><br/>Jean-René Trochet<br/>Prix Antoine Alexandre Bouteau de la Société de géographie</p> | <p><i>Comme un parfum d'îles. Florilège offert à Christian Huetz de Lemp</i><br/>Olivier Sevin (dir.)</p>                                      |
|                                                                                                                                                                                                                | <p><i>Atlas des pays du Golfe</i><br/>Philippe Cadène &amp; Brigitte Dumortier</p>                                                             |
| <p><i>Atlas du Proche-Orient arabe</i><br/>Fabrice Balanche</p>                                                                                                                                                | <p><i>La Privatisation de Chicago. Idéologie de genre et constructions sociales</i><br/>Laurence Gervais</p>                                   |
| <p><i>Les Forêts de la Grande Guerre. Histoire, mémoire, patrimoine</i><br/>Jean-Paul Amat</p>                                                                                                                 | <p><i>De l'Empire à la tribu. États, villes, montagnes en Albanie du Nord (VI<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècle)</i><br/>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 Quénol – 979-10-231-1811-7  
I Chionne – 979-10-231-1812-4  
I Liziard & 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/3 D2S, 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

PREMIÈRE PARTIE

# **Milieux critiques et changement climatique**





## CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VITICULTURE

*Hervé Quénol*

*CNRS, LETG ; université de Rennes, UMR 6554<sup>1</sup>*

L'évolution actuelle et future du climat global engendre de nombreuses interrogations sur les impacts pour la viticulture mondiale : la qualité des vins, le choix des cépages ou encore la possibilité de cultiver de la vigne dépendent en effet fortement du climat. Les limites de la culture de la vigne sont définies par des conditions climatiques spécifiques et, par conséquent, la vigne ne peut pas être cultivée à toutes les latitudes, notamment dans les secteurs où la température moyenne annuelle n'est pas assez élevée pour permettre une bonne maturation du raisin, ou dans les secteurs où les extrêmes climatiques tels que le gel ou les sécheresses sont trop fréquents. Durant le <sup>xx</sup>e siècle, la température moyenne annuelle a augmenté dans la plupart des régions viticoles mondiales. La vigne a répondu à ce réchauffement par une avancée des stades phénologiques et une évolution significative des caractéristiques des raisins. D'un point de vue spécifiquement « thermique », il a été montré dans « Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate » que certaines régions viticoles en Europe, en Amérique du Nord et en Australie ont atteint, voire dépassé, leur optimum pour la culture de la vigne<sup>2</sup>. Inversement, d'autres régions viticoles (les plus septentrionales), où les conditions thermiques étaient juste suffisantes pour une bonne maturité des raisins, connaissent un effet positif lié à l'augmentation des températures. La poursuite du changement climatique au cours des prochaines décennies pose la question des stratégies d'adaptation. La typicité des vins sera-t-elle modifiée ? Y aura-t-il une évolution géographique des régions viticoles mondiales ? Faudra-t-il changer de cépages ? Toute une série d'interrogations que la profession viticole doit prendre en compte pour la viticulture future.

1 Cet article est adapté de Hervé Quénol (dir.), *Changement climatique et terroirs viticoles*, Paris, Lavoisier, coll. « Tec & Doc », 2014, 444 p. (herve.quenol@univ-rennes2.fr).

2 Gregory V. Jones *et al.*, « Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate », GESCO, 2005, en ligne : [https://www.researchgate.net/publication/285632906\\_Changes\\_in\\_European\\_winegrape\\_phenology\\_and\\_relationships\\_with\\_climate](https://www.researchgate.net/publication/285632906_Changes_in_European_winegrape_phenology_and_relationships_with_climate).

Pour tenter de répondre à ces questions, de nombreux travaux sur les adaptations au changement climatique ont abouti à des simulations d'extension spatiale de la vigne, de changement d'encépagement, ou d'évolution de la teneur en sucre du raisin pour les différentes régions viticoles de la planète<sup>3</sup>. Ces études abordent les grandes régions viticoles mondiales mais ne sont pas adaptées à l'échelle d'un vignoble. Pourtant, les variations climatiques peuvent être très importantes sur des espaces relativement restreints (de l'ordre de quelques kilomètres à quelques mètres) et la qualité du raisin ou du vin est souvent en relation avec les caractéristiques locales (pente, sol, etc.). Ce sont ces variations du milieu aux échelles fines qui déterminent les spécificités du terroir. Il faut donc les prendre en compte dans le cadre d'une politique raisonnée d'adaptation des terroirs viticoles au changement climatique<sup>4</sup>.

#### LA VIGNE : UN TRÈS BON MARQUEUR DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La vigne est un très bon indicateur de l'évolution du climat du passé et du présent, et cela pour plusieurs raisons :

1. la vigne est une culture pérenne généralement plantée pour plusieurs dizaines d'années. Cela permet un suivi à long terme des conséquences du climat sur le végétal et les caractéristiques des vins ;
2. les stades de croissance de la vigne sont fortement corrélés avec des indices bioclimatiques fondés spécifiquement sur des sommes de températures. L'analyse de ces indices bioclimatiques et des stades phénologiques permet de déterminer les conditions climatiques de chaque millésime.

Plusieurs travaux ont abouti à la création des indices bioclimatiques propres à la vigne qui permettent de classer les climats viticoles en différentes régions climatiques<sup>5</sup>. Ces indices servent à définir les aptitudes d'une région viticole en matière de production des raisins, d'adaptation des cépages, et à prédire le déroulement du cycle phénologique. Le développement de la vigne et sa vitesse de croissance sont très liés à des sommes de températures spécifiques. Ce principe se traduit par le concept des degrés-jours qui se calculent à partir de la différence d'une température seuil pour la plante (le 0 °C de végétation) et la température moyenne journalière. Par exemple, l'indice de Huglin

3 *Id.*, « Winegrape Phenology », dans Mark D. Schwartz (dir.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*, Dordrecht, Springer, 2013.

4 Hervé Quénol, « Viticulture : expérimentation ? adaptation ? », dans Agathe Euzen, Bettina Laville & Stéphanie Thiébault (dir.), *L'Adaptation au changement climatique. Une question de sociétés*, Paris, CNRS éditions, 2017, p. 333-340.

5 Pierre Huglin, « Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole », *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, vol. 64, n° 13, 1978, p. 1117-1126.

correspond à la somme des températures moyennes et maximales au-dessus de 10 °C sur la période du 1<sup>er</sup> avril jusqu'au 30 septembre dans l'hémisphère nord. Tonietto a ainsi proposé une classification des climats viticoles à partir du calcul de l'indice de Huglin<sup>6</sup>. Il obtient six classes caractérisant les régions viticoles des plus fraîches aux plus chaudes (**tableau 1**). Aujourd'hui, ce concept de degrés-jours est largement utilisé en viticulture pour étudier et modéliser le déroulement du cycle phénologique de la vigne, notamment dans le contexte du changement climatique<sup>7</sup>.

Tableau 1. Classes de l'indice héliothermique de Huglin

| Caractéristiques | Valeurs                                              | Exemples                                |
|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Très chaud       | $IH > 3\,000\text{ °C/J}$                            | Vallée de São Francisco (Brésil)        |
| Chaud            | $2\,400\text{ °C/J} \leq IH \leq 3\,000\text{ °C/J}$ | Malaga (Espagne)<br>Marsala (Italie)    |
| Tempéré chaud    | $2\,100\text{ °C/J} \leq IH \leq 2\,400\text{ °C/J}$ | Napa (USA)<br>Montpellier (France)      |
| Tempéré          | $1\,800\text{ °C/J} \leq IH \leq 2\,100\text{ °C/J}$ | Pau, Bordeaux (France)                  |
| Frais            | $1\,500\text{ °C/J} \leq IH \leq 1\,800\text{ °C/J}$ | Colmar, Angers (France)                 |
| Très frais       | $IH \leq 1\,500\text{ °C/J}$                         | Québec (Canada)<br>Londres (Angleterre) |

3. Les archives historiques répertoriées dans différentes régions viticoles permettent de « reconstruire » les grandes tendances agroclimatiques du climat passé, notamment à partir des dates de bans de vendange. Emmanuel Le Roy Ladurie, dans son ouvrage *Histoire du climat depuis l'an mil*, initialement paru en 1967, a montré la variabilité climatique en relation avec les dates de vendanges notamment au Petit Âge glaciaire<sup>8</sup>. Un article publié en 2002 a mis en évidence la relation entre les dates de vendanges et les grandes périodes climatiques avec notamment une avancée moyenne des dates de vendanges de plusieurs semaines ces cinquante dernières années<sup>9</sup>.

6 Jorge Tonietto, *Les Macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la syrah et du muscat de Hambourg dans le sud de la France. Méthodologie de caractérisation*, thèse de doctorat, École nationale supérieure agronomique de Montpellier, 1999, 233 p.

7 Amber Parker et al., « Classification of Varieties for Their Timing of Flowering and Veraison Using a Modelling Approach: A Case Study for the Grapevine Species *Vitis vinifera* L. », *Agricultural and Forest Meteorology*, n° 180, 2013, p. 249-264.

8 Emmanuel Le Roy Ladurie, *Histoire du climat depuis l'an mil*, Paris, Flammarion, coll. « Champs », 1983.

9 Isabelle Chuine, Pascal Yiou, Nicolas Viovy, Bernard Seguin, Valérie Daux & Emmanuel Le Roy Ladurie, « Grape Ripening as a Past Climate Indicator », *Nature*, n° 432, 2004, p. 289-290.

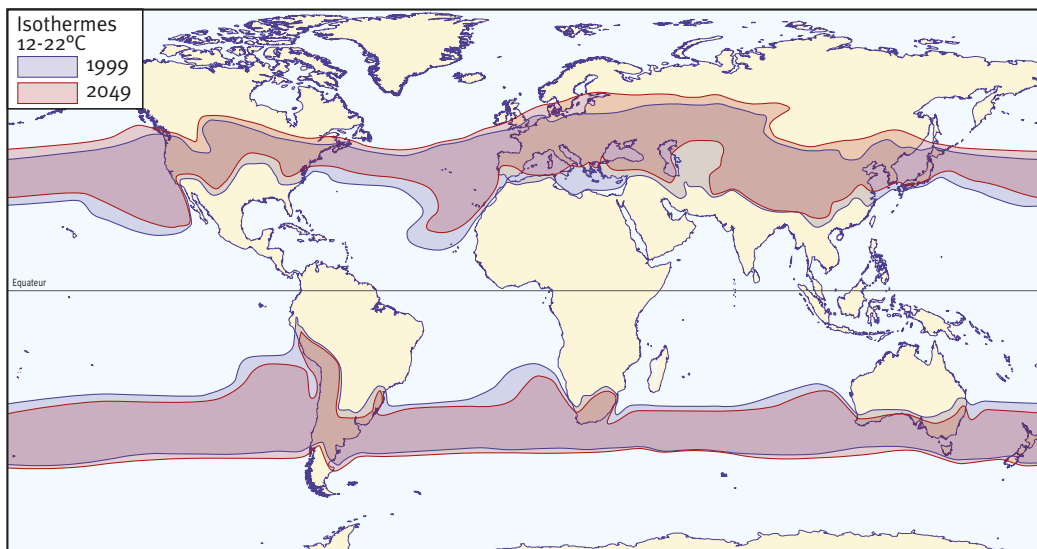
Même si la vigne est une plante résistante, sa culture est définie par des conditions climatiques spécifiques notamment sur les plans hydriques et thermiques. La limite, au niveau des hautes latitudes, est définie par des conditions où la température moyenne annuelle n'est pas assez élevée pour permettre une bonne maturation du raisin et, au niveau des basses latitudes, par des conditions thermiques trop élevées et généralement marquées par de fortes périodes de sécheresse. La limite actuelle de la culture de la vigne se situe dans une « bande latitudinale » entre les 50° N et 30° N pour l'hémisphère nord et entre les 50° S et 20° S pour l'hémisphère sud. Ce zonage correspond aux isothermes de la température moyenne annuelle 12-22 °C (conditions thermiques favorables pour la culture de la vigne) durant la période de croissance de la vigne (fig. 1).

60

Avec l'évolution climatique contemporaine, une « remontée de la limite théorique » de la vigne est déjà observée, vers le nord pour l'hémisphère nord (vers le sud pour l'hémisphère sud). Par exemple, en Europe, les vignobles se développent en Angleterre, en Suède ou au Danemark, alors qu'en Amérique du Sud, les terres australes de Patagonie connaissent une forte croissance de vignobles. Même si la qualité des vins de ces nouvelles régions n'est pas encore optimale, les conditions thermiques futures seront certainement favorables. Ce déplacement latitudinal n'est pas l'unique transformation géographique. Une extension altitudinale est également une évolution actuelle et future<sup>10</sup>. D'ailleurs, les conditions climatiques actuelles des vignobles d'altitude (> 2 000 m) comme dans le nord de l'Argentine (région de Cafayate et province de Salta) sont beaucoup plus favorables qu'il y a une vingtaine d'années. En effet, l'augmentation de la température moyenne de + 1 à + 2 °C favorise notamment la maturation des raisins<sup>11</sup>. D'une manière plus générale, on considère qu'une augmentation de la température moyenne globale de +1 °C, équivaut à un déplacement potentiel de la vigne d'environ 200 km vers les hautes latitudes ou de 150 m en altitude.

10 Étienne Delay, Cyril Piou & Hervé Quénel, « The Mountain Environment, a Driver for Adaptation to Climate Change », *Land Use Policy*, n° 48, 2015, p. 51-52.

11 Hervé Quénel (dir.), *Changement climatique et terroirs viticoles*, op. cit.



1. Carte des isothermes 12-22 °C pour la température moyenne  
durant la période de croissance de la vigne en 1999

Gregory V. Jones, « Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine »,  
dans Roger W. Macqueen et Lawrence D. Meinert (dir.), *Fine Wine and Terroir*, St. John's,  
Geological Association of Canada, 2006

L'évolution des dates de croissance de la vigne en relation avec le climat (notamment par l'intermédiaire de l'analyse des températures et des indices bioclimatiques) a été étudiée dans des régions viticoles du monde entier<sup>12</sup>. Ces nombreux travaux ont permis d'analyser l'impact du réchauffement climatique contemporain sur la viticulture mondiale au cours des cinquante-soixante dernières années et de définir les potentialités agroclimatiques adaptées à une nouvelle donne climatique. De nombreuses études ont évalué l'impact du changement climatique par l'analyse d'indices bioclimatiques (indice héliothermique saisonnier, indice de sécheresse, indice de fraîcheur des nuits, etc.), de dates de maturité du raisin, de taux de sucre ou d'avancées phénologiques<sup>13</sup>. La hausse de la température se caractérise notamment par une augmentation des indices bioclimatiques pouvant engendrer une modification de catégories dans les classifications en types de climats viticoles. Pour certaines régions, notamment au nord et à l'est de l'Europe, l'augmentation des valeurs de ces indices est favorable et offre de bien meilleures conditions pour la culture de la vigne, alors que pour d'autres secteurs (principalement le sud de l'Europe), l'augmentation des valeurs des indices est défavorable<sup>14</sup>. En analysant les données journalières et mensuelles de plus de 5 000 stations météorologiques européennes entre 1951 et 2011, Jonathan Spinoni et son équipe ont confirmé

12 Cornelis Van Leeuwen, Philippe Friant, Xavier Choné, Olivier Tregoat, Stephanos Koundouras & Denis Dubourdieu, « Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir », *Am.J.Enol.Vitic.*, vol. 55, n° 3, 2004, p. 207-217 ; Leanne Webb, Penny H. Whetton & Edward W. R. Barlow, « Modelled Impact of Future Climate Change on the Phenology of Winegrapes in Australia », *Climate Change and Grapevine Phenology*, vol. 13, n° 3, p. 165-175, 2007 ; Cyril Bonnefoy *et al.*, « Temporal and Spatial Analysis of Temperatures in a French wine-producing area: the Loire Valley », *International Journal of Climatology*, vol. 33, n° 8, 2012, en ligne : <https://doi.org/10.1002/joc.3552> ; Gianni Fila, Massimo Gardiman, Paolo Belvini, Franco Meggio & Andrea Pitacco, « A Comparison of Different Modeling Solutions for Studying Grapevine phenology Under Present and Future Climate Scenarios », *Agricultural and Forest Meteorology*, n° 195-196, 2014, p. 192-205 ; María Fernanda Cabré, Manuel Nuñez & Hervé Quénol, « Regional Climate Change Scenarios Applied to Viticultural Zoning in Mendoza, Argentina », *International Journal of Biometeorology*, vol. 60, n° 9, 2015, en ligne : [10.1007/s00484-015-1126-3](https://doi.org/10.1007/s00484-015-1126-3) ; Élodie Briche, Gérard Beltrando, Samuel Somot & Hervé Quénol, « Critical Analysis of Simulated Daily Temperature Data From the ARPEGE-Climate Model: Application to Climate Change in The Champagne Wine-Producing Region », *Climatic Change*, vol. 123, n° 2, 2014, p. 241-254.

13 Jorge Tonietto & Alain Carbonneau, « A Multicriteria Climatic Classification System for Grape-growing Regions Worldwide », *Agric.Forest Meteorol.*, vol. 124, n° 1-2, 2004, p. 81-97.

14 João A. Santos, Aureliano C. Malheiro, Joaquim G. Pinto & Gregory V. Jones, « Macroclimate and Viticultural Zoning in Europe: Observed Trends and Atmospheric Forcing », *Climate Research*, vol. 51, n° 1, p. 89-103, 2012.

cette évolution des indices bioclimatiques et par conséquent des conditions optimales pour la culture de la vigne en Europe (fig. 2)<sup>15</sup>.

L'analyse de l'indice de Huglin à partir des données de plusieurs stations météorologiques réparties dans le Val de Loire a montré un changement de type de climat viticole entre 1960 et 2010. Comme l'indiquent Cyril Bonnefoy et son équipe,

le réchauffement climatique se répercute sur l'indice de Huglin avec une évolution vers des valeurs plus élevées à partir des années 80. Le test statistique de Pettitt valide la rupture climatique pour cet indice en 1981 pour Nantes, 1986 pour Saumur et 1988 pour Angers et Tours. La plupart des stations étaient classées dans la catégorie des climats viticoles frais voire en climat tempéré pour Saumur dans les années 50 et au début des années 60. Après 1980, les stations se trouvent plutôt classées dans des climats désormais plus tempérés, voire tempérés chauds à Saumur au début des années 2000<sup>16</sup> [fig. 3].

Pour cette région viticole septentrionale, cet apport thermique a engendré des conditions beaucoup plus favorables pour la maturité des raisins, ce qui s'est manifesté par une augmentation des bons millésimes.

En Argentine, dans la région de Mendoza, Carla Aruani a montré la forte corrélation entre l'augmentation des températures et des indices agroclimatiques (entre 1973 et 2009) et la phénologie de la vigne et les caractéristiques des vins<sup>17</sup>. Les dates de début de la récolte sont plus précoces et les teneurs en sucres analysées au moment de la récolte ont augmenté pour les cépages rouges comme le malbec.

Cette évolution du climat, la précocité des stades phénologiques ainsi que le raccourcissement du cycle de la vigne ont posé un certain nombre de questions sur l'impact du changement climatique sur la viticulture. En Europe de l'Ouest, l'année 2003 a été marquée par des extrêmes climatiques (gelées de printemps et canicule estivale) qui ont eu des conséquences néfastes pour la vigne, notamment d'importants problèmes de stress hydrique et d'échaudage des baies dans les vignobles du sud de l'Europe<sup>18</sup>. En Australie, ce sont de longues

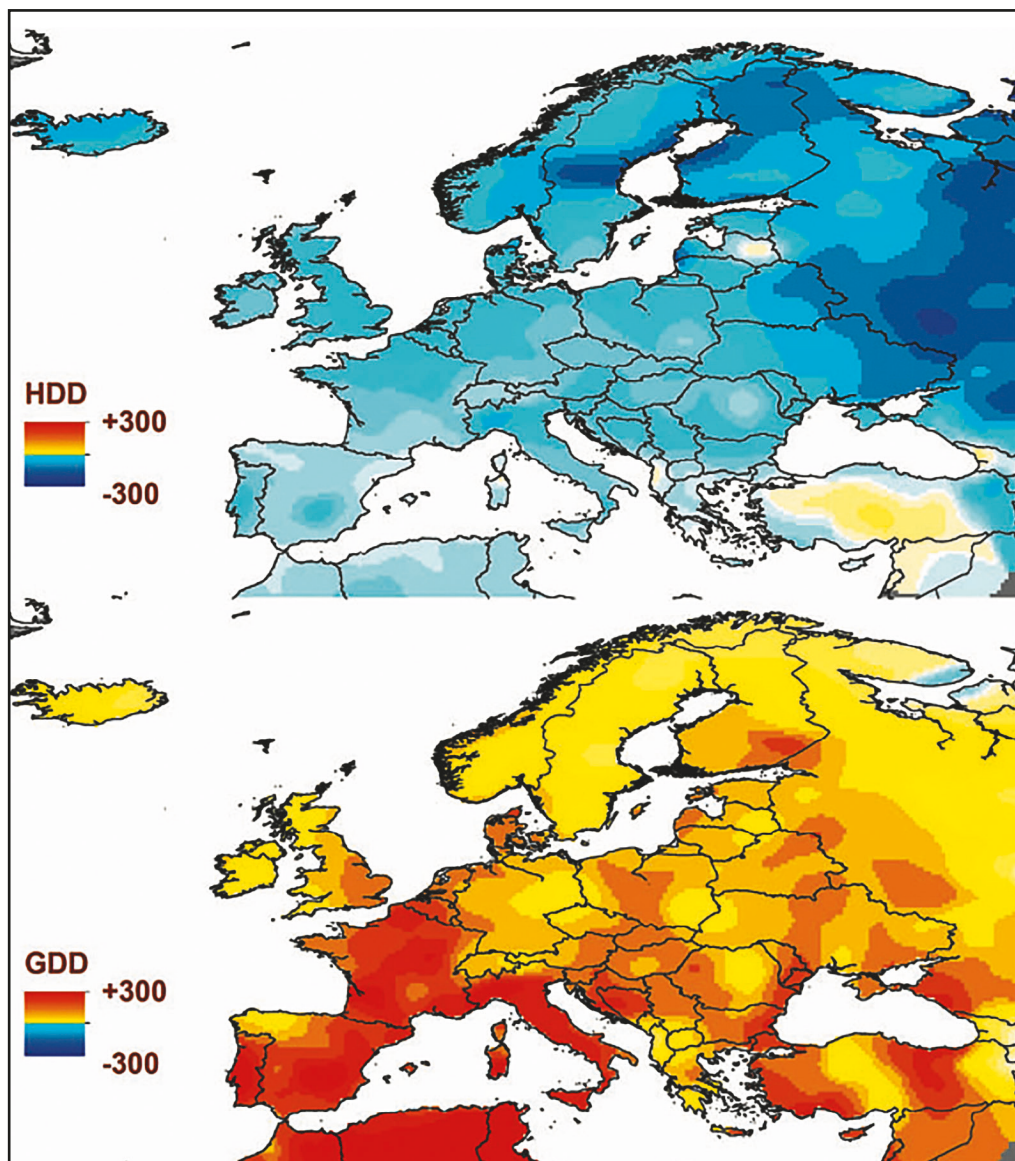
15 Jonathan Spinoni, Jürgen Vogt & Paulo Barbosa, « European Degree-day Climatologies and Trends for the Period 1951-2011 », *Int.J.Climatol.*, vol. 35, n° 1, 2014.

16 Cyril Bonnefoy, Hervé Quénot, Olivier Planchon & Gérard Barbeau, « Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique », *EchoGéo*, n° 14, 2010, en ligne : <http://echogeo.revues.org/12146>.

17 Carla Aruani, « Cambio climático y vitivinicultura en Argentina: Evaluación de la situación actual y proyecciones futuras, en base a datos empíricos y opiniones de los distintos sectores de la industria », *Organisation internationale de viticulture*, 2011.

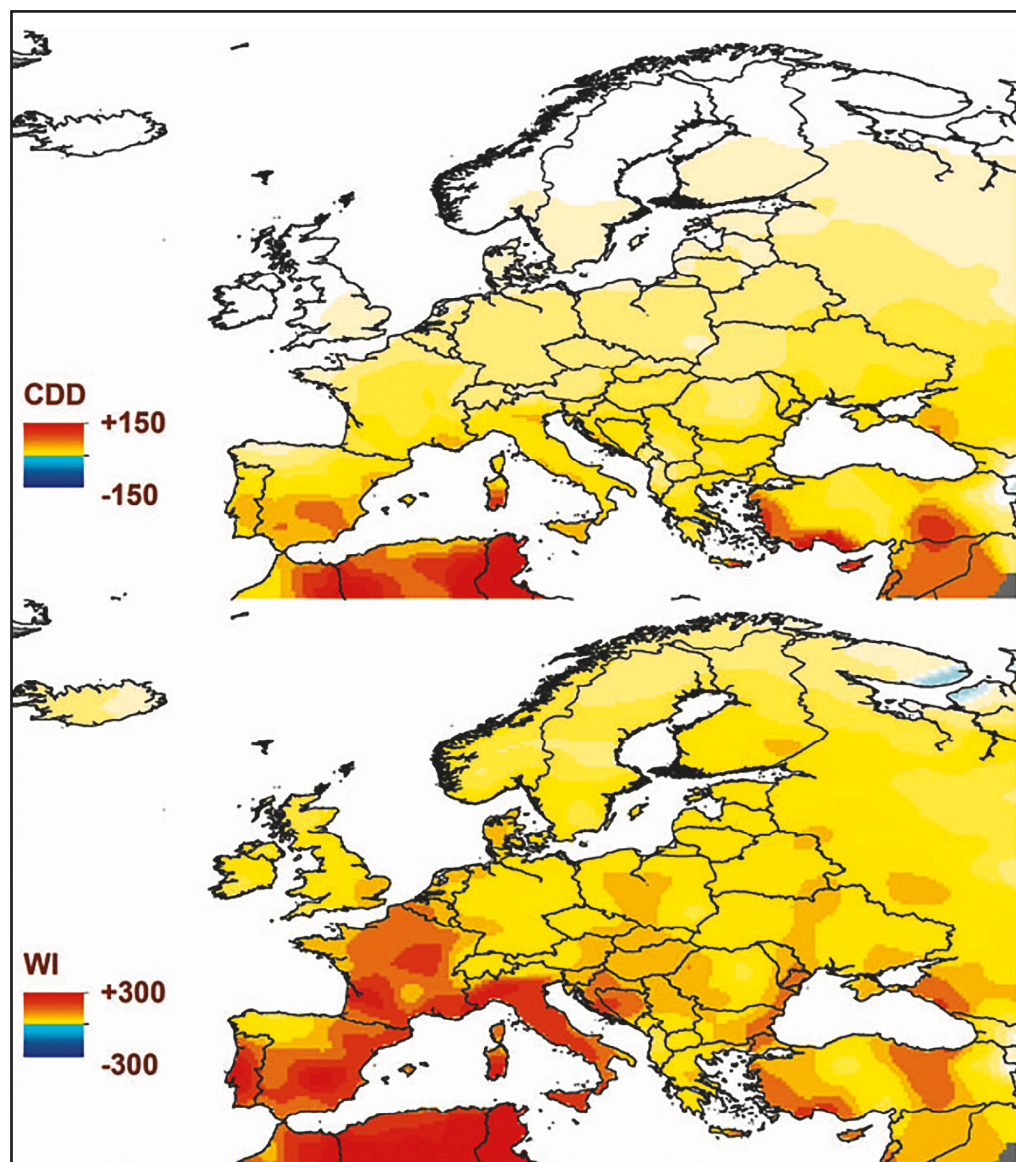
18 Élodie Briche, Gérard Beltrando & Hervé Quénot, « Changement climatique dans le vignoble champenois. L'année 2003, préfigure-t-elle les prévisions des modèles numériques pour le XXI<sup>e</sup> siècle ? », *L'Espace géographique*, vol. 2, n° 11, 2011, p. 164-175.

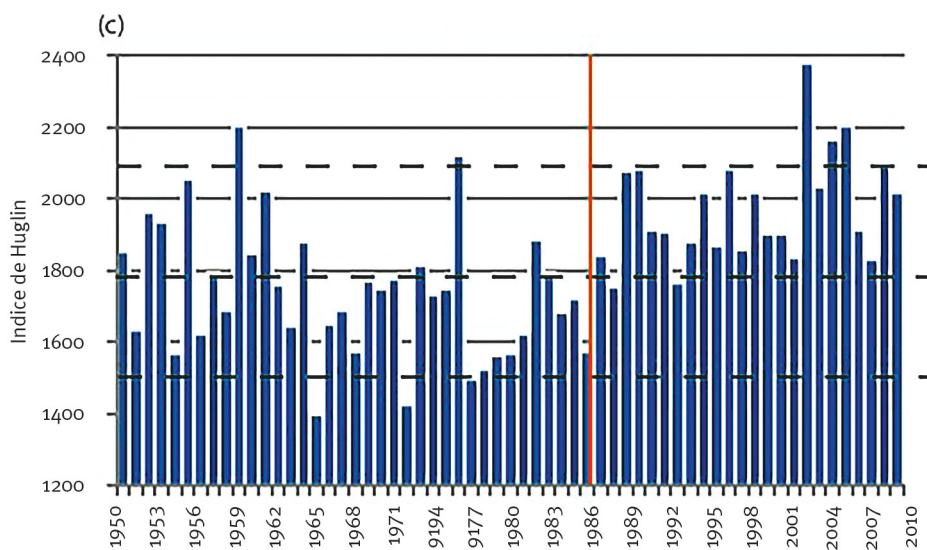
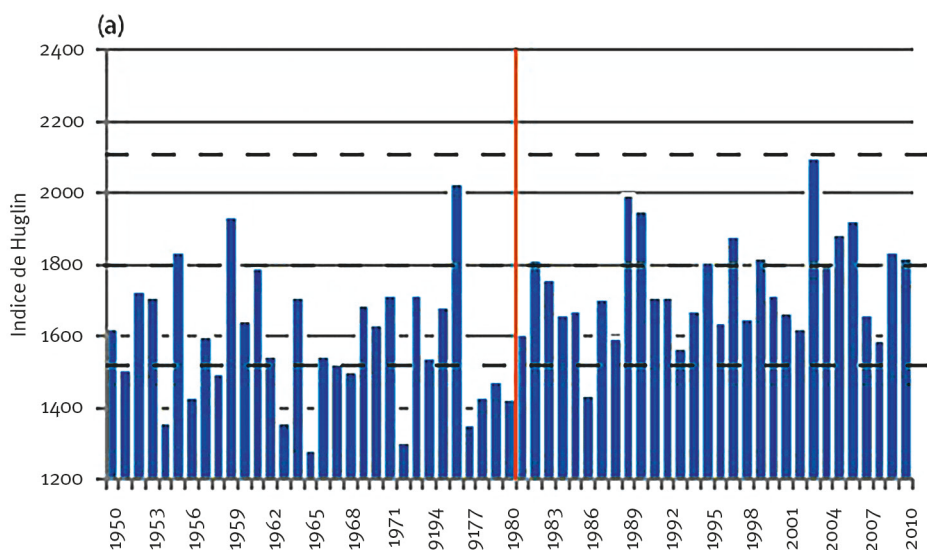




2. Spatialisation des anomalies des degrés-jours chauds (HDD), des degrés-jours (CDD), des degrés-jours durant la saison végétative (GDD) et de l'indice de Winkler (WI) calculés entre les périodes 1971-2000 et 2001-2010

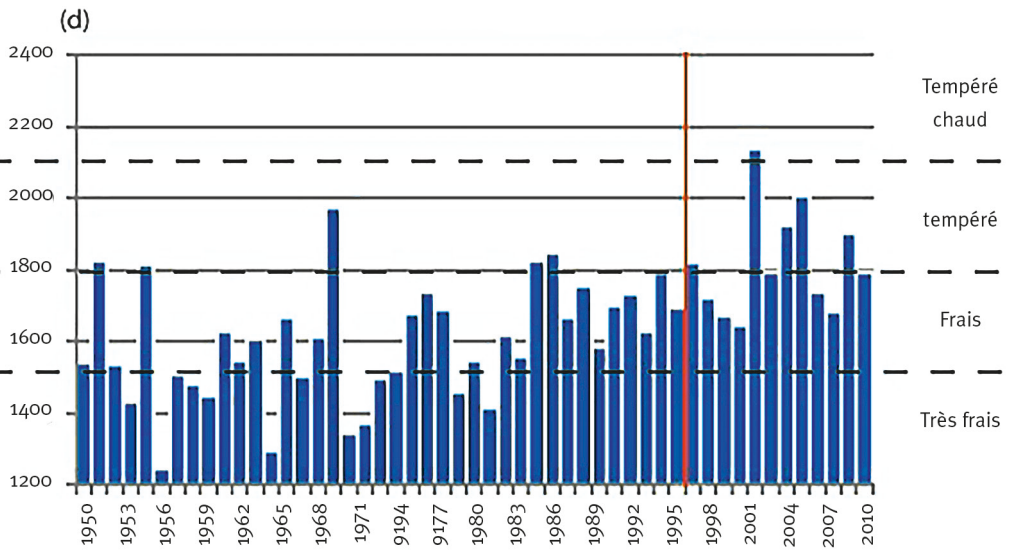
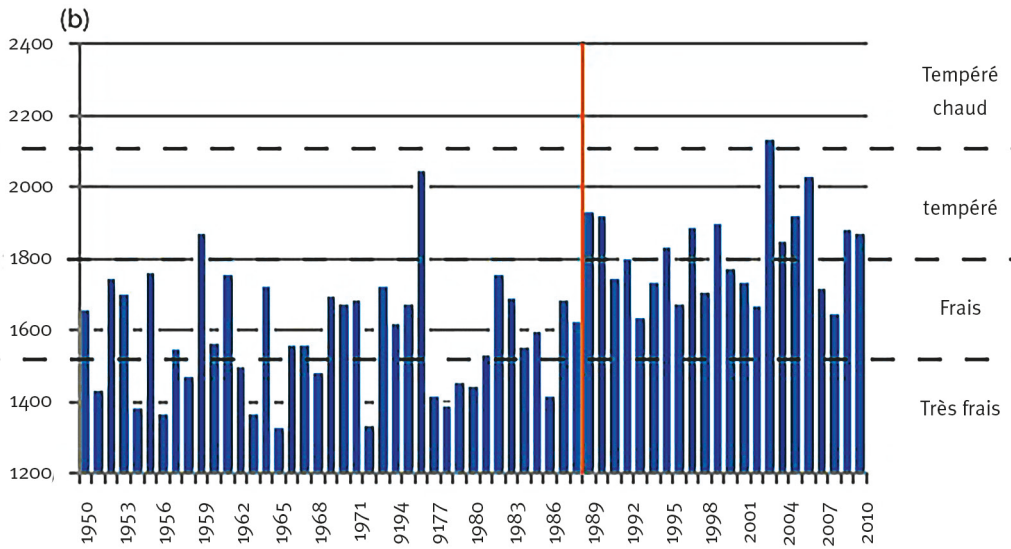






3. Évolution de l'indice de Huglin pour quatre stations météorologiques (a. Nantes ; b. Angers ; c. Saumur ; d. Tours) dans le Val de Loire (France) au cours de la période 1950/1960-2010

Sources des données : Météo-France.



périodes avec des températures très élevées qui ont engendré des dommages importants pour l'activité viticole australienne<sup>19</sup>. D'après de nombreux travaux, ces conditions climatiques marquées par des événements extrêmes seront beaucoup plus fréquentes dans le futur et auront obligatoirement un impact sur la viticulture mondiale<sup>20</sup>. Ceci pose inévitablement la question de l'adaptation des vignobles au changement climatique, d'où la nécessité de réaliser des simulations climatiques futures.

#### VERS UNE REDISTRIBUTION DES AIRES VITICOLES FUTURES ?

Le calcul des indices bioclimatiques, à partir des données issues des modèles du GIEC, a montré d'importantes modifications sur la répartition des vignobles à l'horizon 2070-2100 avec la disparition de certaines zones comme le sud de l'Australie ou des pays méditerranéens et l'avènement de nouveaux terroirs comme en Europe du Nord. En Europe, Marco Moriondo et son équipe ont calculé différents indices bioclimatiques avec les sorties du climat futur issu du modèle HadCM3 en fonction des scénarios d'émissions A2 (pessimiste) et B2 (relativement optimiste)<sup>21</sup>. Les résultats se traduisent par une augmentation de tous les indices liés à la température et au déficit d'eau engendrant une modification de la structure climatique des zones cultivées en vignes. L'intensité du changement climatique est plus forte dans les régions viticoles du Sud tandis que la même tendance est observée au nord mais avec une intensité beaucoup moins forte :

Les simulations laissent paraître que dans les régions du sud du bassin méditerranéen, les différents facteurs climatiques démontrant la pertinence de la production de vins pour la période actuelle pourraient évoluer négativement entraînant une diminution progressive de la viticulture à partir de 2020. Dans plusieurs régions viticoles de la péninsule ibérique et de la France, les simulations montrent une diminution de l'aptitude à l'intérieur des terres et un déplacement de la vigne vers la côte atlantique, qui reste un refuge local jusqu'en 2050. En Allemagne, la culture de la vigne s'étendrait le long de la partie nord-est du pays, pour atteindre les franges nord de la région d'ici à 2050<sup>26</sup>.

19 Leanne Webb *et al.*, « Managing Grapevines Through Severe Heat: A Survey of Growers after the 2009 Summer Heatwave in South-eastern Australia », *Journal of Wine Research*, vol. 21, n° 2-3, 2010, p. 147-165.

20 Jean-Claude André, Michel Déqué, Philippe Rogel & Serge Planton, « La vague de chaleur de l'été 2003 et sa prévision saisonnière », *Comptes rendus géoscience*, vol. 336, n° 6, p. 491-503, 2004.

21 Marco Moriondo *et al.*, « Projected shifts of wine regions in response to climate change », *Climatic Change*, vol. 119, n° 3-4, p. 825-839.

En Nouvelle-Zélande, dans les vignobles de la région de Marlborough, la modélisation des indices de Winkler et de Huglin a montré une possible évolution des types de climats viticoles : « À moyen terme, le type de climat “frais” de Huglin devrait concerner l’ensemble de la vallée principale nord, ainsi que la partie aval de la vallée principale sud. À long terme, ces mêmes zones devraient être caractérisées par le type de climat tempéré de Huglin<sup>22</sup> » (fig. 4).

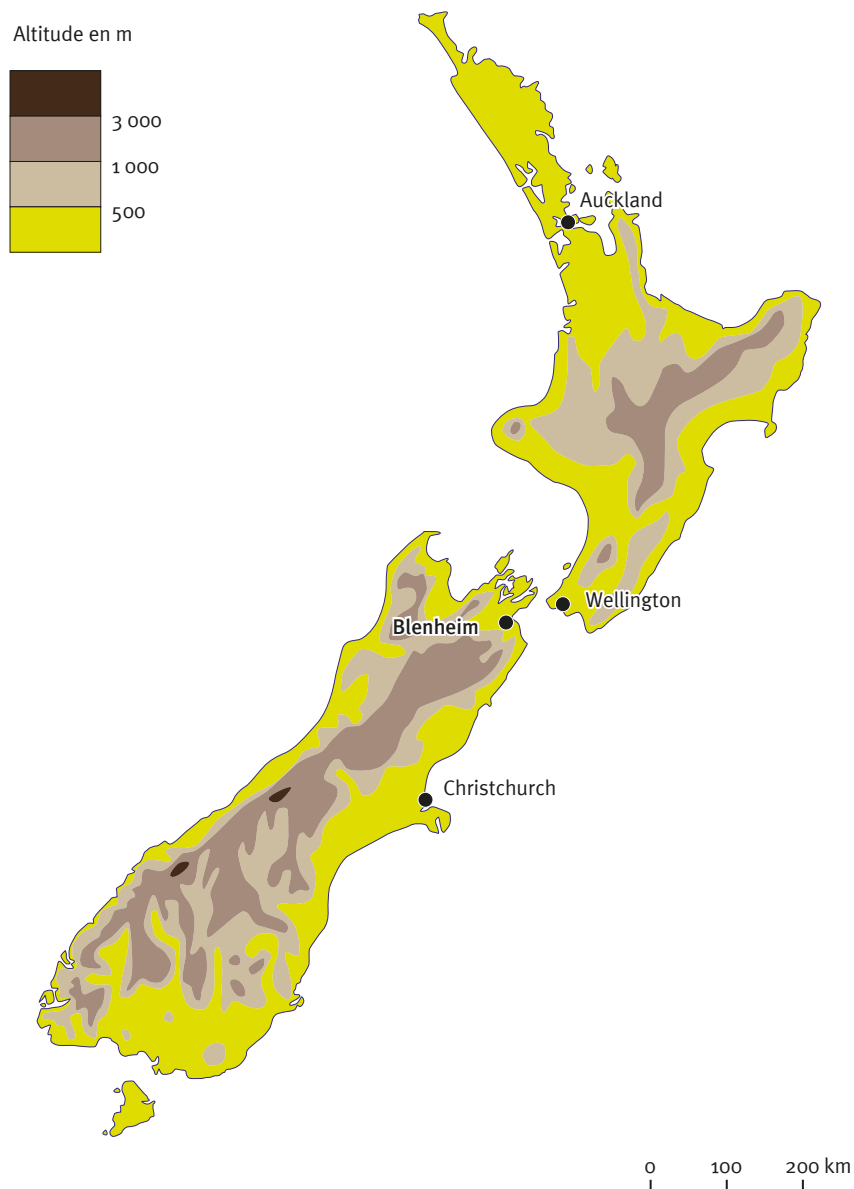
Ces dernières années, les grandes évolutions au niveau de la qualité des modèles et des capacités de calcul des ordinateurs ont permis d’affiner la résolution spatiale des sorties de modèles et donc d’obtenir des échelles d’analyse en adéquation avec la viticulture<sup>23</sup>. Toutefois, si ces différents travaux fondés sur les calculs d’indices bioclimatiques en fonction de différents modèles et scénarios du changement climatique doivent permettre de faire des estimations sur le futur de la viticulture, on ne peut pas en tirer des certitudes. En effet, non seulement les modèles comportent une grande part d’incertitude, mais si les indices sont des indicateurs bioclimatiques, ils ne sont pas les seuls facteurs qui conditionnent le bon développement de la vigne. Par exemple, ces indices ne prennent pas en compte la physiologie de la plante et ses capacités à s’adapter au changement climatique. Une étude publiée en 2013 sous le titre « Climate Change, Wine, and Conservation » s’est fondée sur la modélisation des indices bioclimatiques et a montré une forte diminution de l’aptitude à la viticulture de grands domaines viticoles dans le monde au cours des quarante prochaines années<sup>24</sup>. En réponse à cet article, Cornelis Van Leeuwen et son équipe ont montré qu’il fallait prendre beaucoup de précautions pour tirer des certitudes de ce type d’analyse<sup>25</sup>. Ils ont ainsi comparé la température durant la saison végétative de la vigne (AvGST) de deux périodes, de 1971 à 1999 et de 2000 à 2012, pour trois grandes régions viticoles : Rheingau (Allemagne), Bourgogne (France), et la vallée du Rhône (France). La Bourgogne continue toujours de produire de grands vins de pinot noir depuis 2000, bien que la valeur AvGST soit déjà au-dessus de la limite supérieure de température citée par Lee Hannah ; les résultats sont similaires pour le Rheingau avec le pinot gris et la vallée du Rhône avec la syrah. Il est donc très difficile d’établir des limites

22 Félix Philippe, Andrew Sturman & Hervé Quénol, « Variabilité spatiale des températures dans le contexte du changement climatique à l’échelle du vignoble de Marlborough (Nouvelle-Zélande) », *Climatologie*, n° 10, 2013, p. 123-145.

23 Robert Vautard *et al.*, « The Simulation of European Heat Waves From an Ensemble of Regional Climate Models Within the EURO-CORDEX Project », *Climate Dynamics*, vol. 41, n° 9-10, 2013, p. 2555-2575, en ligne : <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1714-z>.

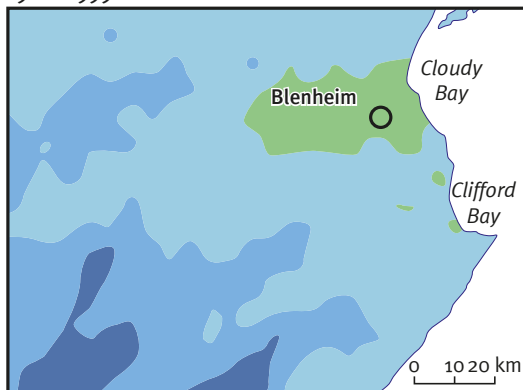
24 Lee Hannah *et al.*, « Climate Change, Wine, and Conservation », *PNAS*, vol. 110, n° 17, 2013, p. 6907-6912.

25 Cornelis Van Leeuwen *et al.*, « Why Climate Change Will Not Dramatically Decrease Viticultural Suitability in Main Wine-producing Areas by 2050 », *PNAS*, vol. 110, n° 33, E3051-E3052, 2013, en ligne : <https://doi.org/10.1073/pnas.1307927110>.

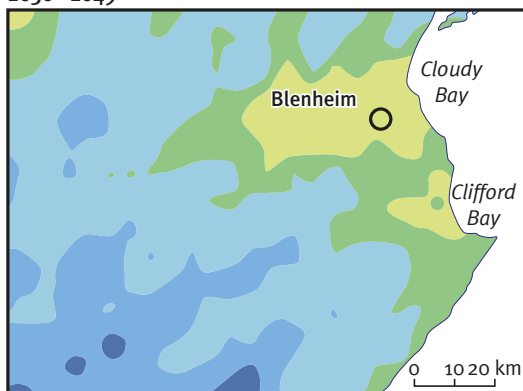


4. Valeurs d'indice de Huglin simulées sur la période de référence 1980-1990 et projetées selon le scénario A1B du GIEC pour le moyen terme (2030-2049) et le long terme (2080-2099) à l'échelle de la région de Marlborough en Nouvelle-Zélande

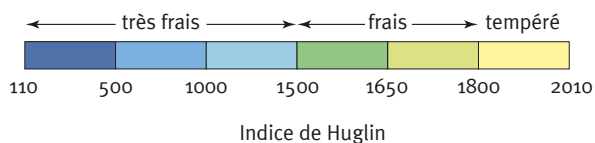
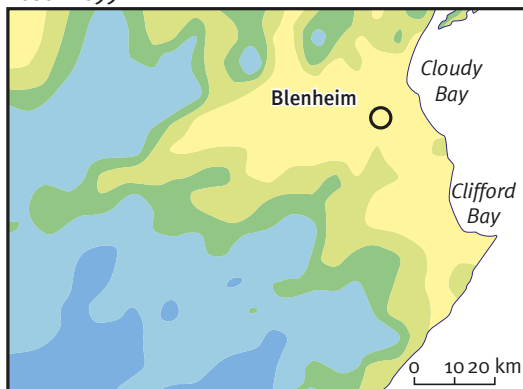
1980 - 1999



2030 - 2049



2080 - 2099





d'aptitude précises par variété pour la culture des vins de grande qualité. La viticulture de haute qualité est toujours présente dans ces régions, malgré la hausse des températures et l'absence d'irrigation, tant en raison de l'évolution des préférences des consommateurs que de la mise en œuvre de stratégies adaptatives par les producteurs.

Ces différents travaux réalisés à partir du calcul d'indices bioclimatiques abordent les grandes régions viticoles mondiales, mais très peu observent et simulent le climat à une échelle plus fine. Pourtant, à l'échelle d'un vignoble, sur des espaces relativement restreints (de l'ordre de quelques kilomètres à quelques mètres), les variations des paramètres atmosphériques sont très importantes et la qualité du raisin ou du vin est souvent en relation avec les caractéristiques locales (pente, sol, etc.).

## UNE NÉCESSAIRE CONNAISSANCE DU CLIMAT À L'ÉCHELLE DU VIGNOBLE

72

Les effets locaux (pente, exposition, type de sol, distance à la mer, etc.) provoquent des variations du climat qui peuvent être supérieures à la variabilité climatique observée à des échelles plus vastes. C'est très souvent cette variabilité spatiotemporelle du climat, liée à des phénomènes d'échelles imbriquées (du macro au microclimat), qui fournit les conditions optimales pour la croissance des cépages et caractérise la spécificité d'un terroir viticole<sup>26</sup>. Il est donc indispensable de prendre en compte de ces effets locaux pour la mise en place de méthodes d'adaptation au changement climatique global.

Dans le Val de Loire, les travaux réalisés par Cyril Bonnefoy et son équipe ont montré qu'entre 1960 et 2010, l'indice de Huglin était caractérisé par une augmentation allant de 167 DJ à Tours, à 239 DJ à Saumur (fig. 3b)<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Cornelis Van Leeuwen, Philippe Friant, Xavier Choné, Olivier Tregoat, Stephanos Koundouras & Denis Dubourdieu, « Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir », art. cit. ; Hervé Quéno, Ana Monteiro, Gérard Beltrando & Angela Maciel, « Mesures climatiques aux échelles fines (météorologiques et agronomiques) et variabilité spatiale du gel printanier dans le vignoble de Vinho Verde », *Norois*, vol. 193, n° 4, 2004, p. 117-132 ; Valérie Bonnardot, V. Carey, Malika Madelin, Sylvie Cautenet & Hervé Quéno, « Using Atmospheric and Statistical Models to Understand Local Climate and Assess Spatial Temperature Variability at Fine Scale Over the Stellenbosch Wine District, South Africa », *International Journal of Vine and Wine Sciences*, vol. 46, n° 1, 2012, p. 1-13 ; Etienne Neethling, Gérard Barbeau, Cyril Bonnefoy & Hervé Quéno, « Evolution in Climate and Berry Composition for the Main Grapevine Varieties Cultivated in the Loire Valley », *Climate Research*, vol. 53, 2012, p. 89-101 ; Hervé Quéno & Valérie Bonnardot, « A multi-scale climatic analysis of viticultural terroirs in the context of climate change: the "TERADCLIM" Project », *International Journal of Vine and Wine Sciences*, 2014, p. 23-32.

<sup>27</sup> Cyril Bonnefoy, Hervé Quéno, Olivier Planchon & Gérard Barbeau, « Températures et indices bioclimatiques dans le vignoble du Val de Loire dans un contexte de changement climatique », *EchoGéo*, n° 14, 2010, en ligne : <http://echogeo.revues.org/12146>.

À une échelle plus fine, un réseau de capteurs de température a été installé dans l'appellation grand cru quarts-de-chaume (quelques dizaines d'hectares sur les coteaux en rive droite du Layon) afin d'évaluer la variabilité spatiale de la température en fonction des facteurs locaux tels que l'altitude, les pentes, les orientations, les types de sols et la distance à la rivière le Layon. Durant l'année végétative 2009, l'indice de Huglin a augmenté de 1 953 à 2 191 DJ. Une différence de plus de 200 unités pour un tel indice n'est pas anodine sur seulement quelques dizaines d'hectares de vignobles. Les indices les plus faibles se retrouvent sur les points les plus élevés et les indices les plus forts aux points les plus bas avec une orientation sud (fig. 5).

À ces échelles, les différences spatiales engendrées par les conditions locales (pentes, exposition, topographie, etc.) sont très souvent supérieures à l'augmentation de température simulée par les différents scénarios du GIEC pour les cinquante années à venir. Les vignerons s'adaptent à cette variabilité spatiale du climat qui détermine en partie les caractéristiques et la typicité de leur vin.

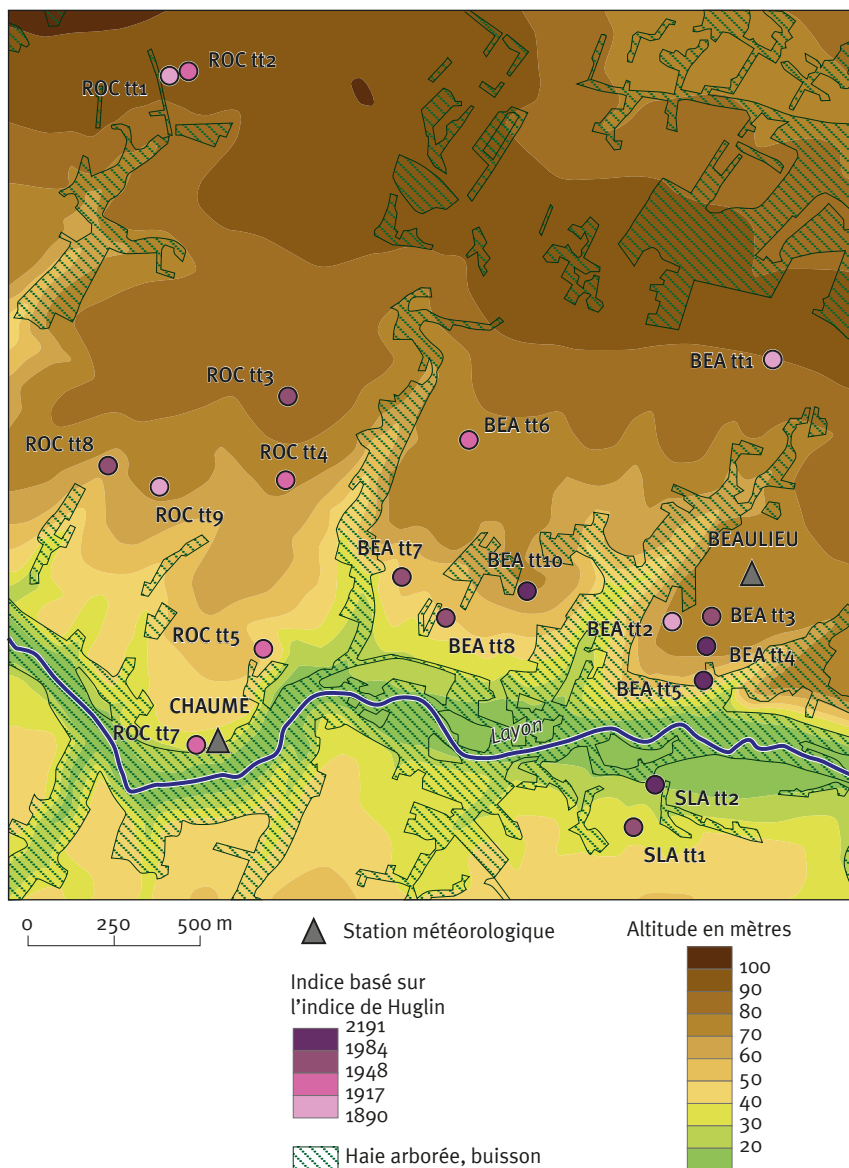
\*

Le changement climatique global a et aura donc un impact important sur les caractéristiques et la qualité des vins, aussi bien que sur le potentiel pour planter différentes variétés de vigne dans des secteurs existants de vignoble. La question de l'adaptation des secteurs de vignoble au changement climatique est très importante parce que la vigne, contrairement aux cultures annuelles, est plantée pour plusieurs dizaines d'années, et le choix des variétés adaptées au climat actuel et futur est très important<sup>28</sup>. Les travaux menés dans le cadre du métaprogramme ACCAF-INRA LACCAVE « Adaptation à long terme au changement climatique pour la viticulture et l'œnologie » et du projet européen LIFE-ADVCLIM « Adaptation of Viticulture to Climate Change: High Resolution Observations of Adaptation Scenarii for Viticulture<sup>29</sup> » ont montré que l'adaptation des pratiques techniques et du matériel végétal à l'échelle locale est cruciale<sup>30</sup>.

28 Gérard Barbeau, Etienne Neethling, Nathalie Ollat, Hervé Quénel & Jean-Marc Touzard, « Adaptation au changement climatique en agronomie viticole », *Revue Agronomie, Environnement & Sociétés*, vol. 5, n° 1, 2015.

29 <http://www.advclim.eu/wp-content/uploads/2015/06/B1-deliverable.pdf>.

30 Nathalie Ollat, Jean-Marc Touzard & Cornelis Van Leeuwen, « Climate Change Impacts and Adaptations: New Challenges for the Wine Industry », *Journal of Wine Economics*, vol. 11, n° 1, 2016, p. 139-149, en ligne : <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.3>; Etienne Neethling, Théo Petitjean, Hervé Quénel & Gérard Barbeau, « Assessing Local Climate Vulnerability and Winegrowers' Adaptive Processes in the Context of Climate Change », *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change*, vol. 22, n° 5, 2017, p. 777-803.



5. Indices de Huglin (b) pour 19 capteurs de températures dans les vignobles des coteaux du Layon durant la saison végétative de 2009

Cyril Bonnefoy, Etienne Neethling, Sylvie Sicard, Gérard Barbeau, Valérie Bonnardot, Planchon Olivier, Malika Madelin & Hervé Quénol, « Approche régionale des climats des terroirs viticoles du Val de Loire », dans Hervé Quénol (dir.), *Changement climatique et terroirs viticoles*, op. cit., p. 163-189. Les vignes occupent presque toute la superficie hormis les fonds de vallons. Chaume jouxte Beaulieu-sur-Layon mais dépend de Rochefort-sur-Loire (Maine-et-Loire).

Les méthodes d'adaptation de la viticulture sont différentes suivant l'intensité des modifications climatiques. Par exemple, en Europe de l'Ouest, à court et à moyen terme, les méthodes d'adaptation concernent principalement des modifications de techniques culturales. Dans les vignobles, où actuellement l'augmentation de la température a plutôt des conséquences favorables sur la qualité des vins, Gérard Barbeau préconise à court terme une adaptation des pratiques culturales telles que l'entretien du sol (par exemple, désherbage un rang sur deux en situation de sécheresse afin d'éviter que l'herbe ne concurrence la vigne), la date et le type de taille ou des interventions sur le feuillage (par exemple, limiter l'effeuillage en été pour éviter l'échaudage des baies), etc.<sup>31</sup>. À plus long terme, si l'augmentation des températures moyennes est supérieure à + 4°C ou + 6°C, une évolution de l'encépagement<sup>32</sup> (ou de nouveaux types d'association cépage/porte-greffe), un changement technologique (exemple l'irrigation qualitative de précision en zone critique) et une adaptation par le déplacement de la vigne vers des régions plus septentrionales seront certainement à envisager. « La géographie viticole s'en trouverait modifiée, admettant une frange supplémentaire de 100 km dans chaque hémisphère vers 2020-2050<sup>33</sup>. » Mais, comme l'indique Jean-Marc Touzard, « l'évolution des frontières climatiques offre la possibilité de créer en Europe de nouveaux vignobles dans des zones septentrionales, même si les investissements matériels et immatériels pour inscrire un vignoble dans un territoire sont importants et risquent de limiter ces relocalisations à grande échelle<sup>34</sup> ». Si les accords de Paris établis en décembre 2015 lors de la COP21 sont appliqués, une augmentation de la température inférieure à + 2°C devrait permettre à la viticulture de s'adapter de manière raisonnée avec une évolution des techniques culturales (et œnologiques) ce qui pourrait limiter un impact économique et sociétal trop important comme la restructuration de régions viticoles.

31 Gérard Barbeau, « Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire, France », Congrès sur le climat et la viticulture, 2<sup>e</sup> session « Climat et Terroir », 96-101, Saragosse, Espagne, 2007.

32 Elizabeth Wolkovich, Iñaki Garcia de Cortázar-Atauri, Ignacio Morales-Castilla, Kim A. Nicholas & Thierry Lacombe, « From Pinot to Xinomavro in the World's Future Wine-Growing Regions », *Nature Climate Change*, vol. 8, n°1, 2018.

33 Emmanuelle Vaudour, *Les Terroirs viticoles. Définitions, caractérisation, protection*, Paris, Dunod, 2003.

34 Jean-Marc Touzard, « Innovation Systems and the Competition Between Regional Vineyards », communication au colloque de l'ISDA (Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire), « Face à la crise et aux incertitudes grandissantes, comment les sciences et les sociétés peuvent-elles réinventer les systèmes agricoles et agroalimentaires vers une plus grande durabilité ? », Montpellier, 28-30 juin 2010, en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00512261/document>.

Les impacts attribuables au changement climatique sont en effet déjà notables sur les cultures pérennes, en particulier la viticulture. Ils varient selon les régions viticoles, mais globalement une avancée importante des stades phénologiques de la vigne et une évolution significative de la composition des raisins ont été observées. La poursuite du changement climatique au cours des prochaines décennies pose la question des stratégies d'adaptation.

Différents travaux basés sur la modélisation des indices bioclimatiques en fonction des différents scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont montré d'importantes modifications sur la répartition des vignobles. À l'horizon 2050 les différents scénarios étudiés ne montrent pas des fortes divergences, et les tendances sont en partie indépendantes du modèle socio-économique choisi par la société. Par contre, à l'horizon 2070-2100 on peut s'attendre à des forts bouleversements, avec une importante transformation du vignoble européen, avec la disparition de certaines zones comme le sud de l'Australie, ou une forte diminution des zones de production aux États Unis.

Si des études d'impact existent pour différents scénarii climatiques et différentes régions du monde, les modèles atmosphériques globaux qui les sous-tendent présentent une incertitude importante et ne sont pas adaptés aux échelles fines des terroirs viticoles. La variabilité du climat aux échelles locales permet de définir les caractéristiques agro-climatiques des cultures. Les viticulteurs adaptent depuis toujours leurs pratiques en fonction de celles-ci. Dans le contexte du changement climatique, une connaissance fine du climat et des conséquences sur la viticulture permet de mettre en place des méthodes d'adaptation au changement climatique basées sur l'évolution des pratiques ; elles-mêmes en évolution constante et non brutale comme peut l'être par exemple le déplacement des parcelles ou les changements de variétés. L'évolution régulière des pratiques culturelles permet de répondre à l'impact du changement climatique à court et à moyen terme afin de pouvoir se préparer à des évolutions plus importantes à long terme si le réchauffement est trop intense.

Impacts caused by climate change are already noticeable on perennial crops, particularly viticulture. These impacts vary according to the winemaking regions, but overall, an important progress of the phenological stages of the vine, and significant changes in the composition of the grapes, were brought to light. The continuance of climate change over the coming decade calls for a reflection about adaptation strategies.

Various studies based on modeled bioclimatic indexes based on different scenarios of the International Task Force on Climate Change (IPCC) showed significant changes on the distribution of vineyards. The various scenarios studied do not show strong differences by 2050, and the three trends described previously are partly independent of the socio-economic model chosen by society. Conversely, strong upheavals can be expected by 2070-2100, as with a major transformation of European vineyards like the disappearance of certain areas like Southern Australia, or a sharp reduction in production areas in the USA.

Even if impact studies for different climate scenarios and different parts of the world already exist, the global atmospheric models that underlie them show high uncertainties and are not suited to the fine scales of winemaking terroirs. Climate variability on local scales allows a definition of the agro-climatic characteristics of cultures. Winemakers have always relied on them to adjust their activities. In a context of climate change, a detailed knowledge of climate and of its consequences on winemaking helps develop methods of adaptation based on these changing practices; their evolution is constant but not sudden, as in, for example, plot displacement or vine variety change. Regular changes in farming practices can give an answer to the impact of climate change in the short and medium term, in order to prepare for the most important developments in the long term if global warming become too intense.





## TABLE DES MATIÈRES

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

### DEUXIÈME PARTIE

#### MILIEUX EXTRÊMES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

|                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Changements climatiques et agriculture :<br>impacts et adaptation en Afrique de l'Ouest<br>Benjamin Sultan, Richard Lalou, Laurent Kergoat, Bénédicte Gastineau & Théo Vischel ...                      | 139 |
| Impacts de la variabilité climatique sur la démographie des rennes en Laponie<br>suédoise : de l'intérêt du calendrier pastoral<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>Bernarda Marconetto .....                                                                                                                                                  | 276 |
| L'impact des crises hydroclimatiques passées sur la gestion de l'eau en zones urbaines : le cas de Marseille aux XVIII <sup>e</sup> et XIX <sup>e</sup> siècles<br>Nicolas Maughan .....                                                                                                                                         | 277 |
| L'observatoire lyonnais du climat : premiers retours sur une approche pluridisciplinaire d'adaptation au changement climatique<br>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 |