

# Variabilité des extrêmes thermiques et impacts sur la viticulture : l'évolution du risque de gel de printemps en Bourgogne-Franche-Comté

Catinca Gavrilescu et al.<sup>1</sup>

## Introduction

Le changement climatique menace la stabilité, la durabilité et la qualité de nos systèmes agricoles/viticoles<sup>2</sup>. L'augmentation des températures<sup>3</sup> ainsi que le changement dans leur variabilité spatio-temporelle peuvent entraîner des impacts conséquents sur le long terme<sup>4</sup>. Ces changements sont généralement associés à des modifications régionales en termes de date d'occurrence, de fréquence, d'intensité et de durée d'événements météorologiques extrêmes tels que le gel et la sécheresse<sup>5</sup>. L'agriculture reste largement déterminée et contrainte par le climat.

---

1. Catinca Gavrilescu<sup>1</sup>, Benjamin Bois<sup>1,2</sup>, Olivier Planchon<sup>1</sup>, Thierry Castel<sup>1,3</sup>, Annabelle Larmure<sup>3,4</sup>, Marc Ouvrié<sup>5</sup>, Yves Richard<sup>1</sup>

1. CRC – UMR Biogeosciences

2. Institut Universitaire de la Vigne et du Vin

3. Institut National Supérieur des sciences agronomiques de l'alimentation et de l'environnement

4. Institut National de la Recherche Agronomique

5. *Vineis Projets*

2. Jones G.R., Davis E., 2000. « Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux », France. *Amer. J. Enol. Vitic.* 51(3), 249-261.

3. IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

4. Giorgi F., Bi X., 2005, « Regional changes in surface climate interannual variability for the 21st century from ensembles of global model simulations. », *Geophys. Res. Lett.*, 32, L13701.

5. Tebaldi C., K. Hayhoe J. M. Arblaster, G. A. Meehl, 2006, « Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. », *Climatic Change*, 79, 185–211.

Les dégâts dus au gel représentent une préoccupation majeure pour de nombreux agriculteurs. En viticulture, le risque de gel est un facteur pris en compte pour déterminer l'emplacement des parcelles, ainsi que le choix de la variété et celui du style de vin (comme la vin de glace, dans le cas de fortes gelées hivernales). Les épisodes de gel printanier de 2016 et de 2017 subis par plusieurs régions de France ont soulevé de nombreuses questions quant à l'évolution de ce risque dans un climat futur plus chaud.

La saison de printemps représente une période de transition climatique marquée par une forte variabilité<sup>6</sup>. Cette variabilité est en grande partie expliquée par la fréquence plus élevée des circulations méridiennes (nord-sud) sur l'Europe au détriment des circulations zonales (ouest-est) à cette époque de l'année<sup>7 8 9 10</sup>. Cela se traduit par une alternance des situations météorologiques à caractère encore hivernal et d'autres à caractère déjà estival<sup>11 12 13</sup>. La vigne est une plante sensible aux variations extrêmes de température<sup>14</sup>. L'occurrence d'une période chaude en début de printemps entraîne souvent une initiation prématurée du débourrement. En cas de gel tardif, cela peut conduire à des dégâts substantiels sur les tissus verts, les jeunes pousses, dans les endroits où la végétation a déjà repris son activité<sup>15</sup>. La modification de la succession et de l'enchaînement de ces circulations méridiennes, en raison du changement climatique, risque d'avoir des fortes répercussions sur l'évolution saisonnière des températures de surface et de l'occurrence des

- 
6. Brunner L, Hegerl G.C., Steiner AK, 2016. « Connecting Atmospheric Blocking to European Temperature Extremes in Spring. » *J Climate*. 30: 585–594. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0518.1>
  7. Baur F., 1958. *Physikalische - statistische Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsvorhersagen*. Akademische Verlagsgesellschaft mbH, Frankfurt am Main.
  8. Lejenäs S.L., Økland H., 1983. « Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. », *Tellus*, 35A (5) : 350-362.
  9. Shukla J., Mo K.C., 1983. « Seasonal and geographical variation of blocking. », *Monthly Weather Review*, 111 : 388-402.
  10. Werner P.C., Gerstengarbe F.-W., 2010. « Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky. », *PIK Report*, 119 : 146 p. <http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/files/pr119.pdf>
  11. Planchon O., Endlicher W., 2014. « Dynamique spatio-temporelle du climat de l'Europe centrale : analyse et impacts dans les régions viticoles », in H. QuénoI (sous la direction de), *Changement climatique et terroirs viticoles*, Cachan, Éditions Lavoisier Tec&Doc, chap. 4 : p. 115-146.
  12. Cantat O., 2015. *Proposition méthodologique pour une approche globale et objective des types de temps en France métropolitaine. Étude de climatologie physionomique et appliquée*. HDR, Volume 3. Université Paris 7 Diderot 264 p.
  13. Cantat O., Planchon O., QuénoI H., Savouret E., Bois B., Beauvais F., Brunel-Muguet S., « Gelées tardives et viticulture en basse et moyenne vallée de la Loire (France). Approche géoclimatique d'un aléa météorologique majeur pour la vigne », à paraître dans *Climatologie*, 2019.
  14. Van Leeuwen C., Friant P., Chone X., Tregoat O., Koundouras S. et Dubourdieu D., 2004. « Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. », *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3): 207-217.
  15. QuénoI H., 2002. *Climatologie appliquée aux échelles spatiales fines : influence des haies brise-vent et d'un remblai ferroviaire sur le gel printanier et l'écoulement du mistral*. Thèse de Doctorat USTL, Edition ANRT, ISBN 2-284-04081-0, 2002, 283 p.

événements extrêmes<sup>16</sup> 17. Une amplification de la trajectoire des ondes planétaires peut entraîner un ralentissement des systèmes de circulation sur l'axe ouest-est ce qui favorise l'apparition des situations de blocage atmosphérique<sup>18</sup> 19 20 21. Ces types de circulation atmosphérique favorisent les écoulements d'air d'origine polaire vers les moyennes latitudes et jusqu'à des époques printanières tardives. Durant les dernières décennies, les régions situées aux latitudes moyennes ont connu une augmentation de la probabilité d'occurrence des événements thermiques extrêmes (vagues de froid/chaud) associés à des situations de blocage atmosphérique lors du printemps<sup>5</sup>. Cependant, de nombreuses interrogations se posent quant à l'impact des phénomènes météorologiques de large échelle sur la reprise de la végétation et la date de dernière gelée du printemps<sup>22</sup>. Même si un passage à un climat plus chaud pourrait entraîner une diminution de la fréquence et de l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes froids (IPCC, 20132), le risque de gel et son impact futur sur la viticulture restent incertains.

Par ailleurs, plusieurs études montrent que l'évolution du risque de gel n'est pas systématiquement corrélée positivement avec le réchauffement et présente, selon les régions et les cultures, des évolutions contre-intuitives (élévation du risque de gel en dépit d'une hausse des températures). Pour le pois d'hiver, par exemple, la plus grande douceur hivernale observée depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle réduit l'endurcissement de cette plante l'exposant ainsi à des stress thermiques froids liés au gel plus accru<sup>23</sup>. Pour la vigne, la sensibilité de la date de débournement au réchauffement hivernal et printanier apparaît comme un élément clé. Selon les modèles de débournement utilisés, les résultats obtenus par différents auteurs ayant traité la question de l'impact du changement climatique au 21<sup>e</sup> siècle sur le risque de gel printanier indiquent soit une augmentation pour le sud de l'Angleterre<sup>24</sup> et pour le nord-est de la France<sup>25</sup> ; soit un maintien de ce risque

- 
16. Screen, J.A., Simmonds, I., 2014. « Amplified mid-latitude planetary waves favor particular regional weather extremes. », *Nature Clim. Change* 4, 704–709. <https://doi.org/10.1038/nclimate2271>
  17. Unterberger C, Brunner L, Nabernegg S, Steininger KW, Steiner AK, Stabentheiner E, S. Monschein, H. Truhetz, 2018, « Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate », *Plos One*.
  18. Namias J., 1950. « The index cycle and its role in the general circulation. », *Journal of Meteorology*, 7 (2) : 130-139.
  19. Haltiner G.J., Martin F.L., 1957, *Dynamical and physical meteorology*, McGraw-Hill, New York, 470 p.
  20. Barry R.G., Chorley R.J., 1987, *Atmosphere, Weather & Climate*. Routledge, London, New York, 460 p.
  21. Francis J. A., Vavrus S.J., 2012, « Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes », *Geophys. Res. Lett.*, 39, L06801, doi:10.1029/2012GL051000.
  22. Planchon O., Cantat O., Bois B., 2019. « Variabilité climatique printanière et phénologie végétale en Auxois : exemple d'Alise-Sainte-Reine (Côte-d'Or) ». *Revue Scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature*, 29-2019 : 341-356.
  23. Castel T., Lecomte C., Richard Y., Lejeune-Hénaut I., Larmure A., 2017, *Frost stress evolution and winter pea ideotype in the context of climate warming at a regional scale*. OCL 24, D106.
  24. Mosedale, J.R., Wilson, R.J., Maclean, I.M.D., 2015, « Climate Change and Crop Exposure to Adverse Weather: Changes to Frost Risk and Grapevine Flowering Conditions. », *PLoS ONE* 10(10) : e0141218.
  25. Sgubin, G., Swingedouw, D., Dayon, G., García de Cortázar-Atauri, I., Ollat, N., Pagé, C., et al. « The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. », *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018;250– 251: 226–242.

pour l'ouest de la France ou une baisse pour le sud de la France <sup>26</sup> de ce risque. Les recherches de Sgubin et al. sur la France nous apprennent également que, pour un même cépage et un même modèle de débourrement, on peut avoir soit un accroissement, soit une baisse du risque de gel attendu : dans le nord-est de la France, l'anticipation de la date de débourrement serait selon ces recherches beaucoup plus marquée que dans l'ouest de la France. En Champagne, en Alsace ou en Bourgogne, régions de climat plus froid, le bénéfice du réchauffement sur la précocité du début du cycle végétatif de ce cépage serait ainsi plus grand que dans des régions aux hivers et début de printemps plus doux, comme le Bordelais. Dans cette dernière région, la précocité du débourrement est certes accrue sous un climat plus chaud, mais de manière moindre, ce qui limite le risque de gel. Dans le nord-est de la France, l'avancée de la date de débourrement exposerait donc la vigne plus fortement au gel de printemps. Qu'en est-il au sein même d'une région viticole ? Serait-il possible qu'en son sein certains terroirs voient leur risque de gel printanier diminuer alors que dans d'autres, ce risque augmenterait ?

Pour apporter des premiers éléments de réponse à ce questionnement, nous avons analysé l'évolution spatio-temporelle du risque de gel tardif sur les territoires viticoles de la région Bourgogne-Franche-Comté (BFC) : les vignobles du Bourgogne, du Jura et de Pouilly-Fumé (Illus. 1). Plusieurs indices de risque de gel et d'occurrence de gel ont été calculés en s'appuyant sur des températures minimales journalières issues de 18 Modèles de Circulation Générale (MCGs) désagrégés à une échelle régionale (mésos-échelle), ainsi que sur un modèle de simulation de la date de débourrement de la vigne (BRIN<sup>27</sup>).

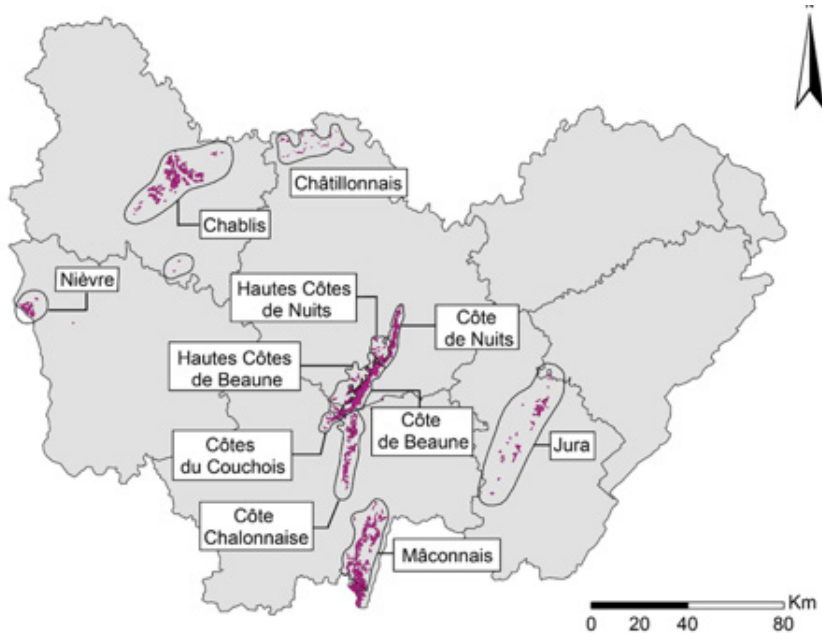
## Matériel et méthodes

Les sous-régions viticoles de BFC sont les suivantes : Côte de Nuits et Hautes Côtes de Nuits, Côte de Beaune et Hautes Côtes de Beaune, Côte Châtillonnaise, Chablis, Côtes du Couchois, Côte Chalonnaise, Mâconnais, Jura et Nièvre (Illus. 1). Afin d'estimer le risque de gel printanier dans ces zones, nous avons utilisé une approche plante-climat, conçue sous la forme des trois étapes suivantes : 1) spatialisation et description de l'évolution du climat régional ; 2) identification de la période de vulnérabilité de la vigne à travers la simulation de la date de débourrement 3) réalisation d'un croisement du point 1) et du point 2) afin de déterminer le stress subi par la vigne en réponse au gel.

---

26. Molitor D., Caffarra A., Sinigoi P., Pertot I., Hoffmann L., Junk J., 2014. Late frost damage risk for viticulture under future climate conditions: a case study for the Luxembourgish winegrowing region. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20, 160 – 168.

27. Garcia de Cortázar-Atauri, I., Brisson, N., Gaudillere, J.P., 2009, « Performance of several models for predicting budburst date of grapevine (*Vitis vinifera* L.) ». », *Int J Biometeorol* 53, 317–326. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0217-4>



Illus. 1 : Localisation des 11 sous-régions vitivinicoles de la Bourgogne-Franche-Comté : Côte de Nuits et Hautes Côtes de Nuits, Côte de Beaune et Hautes Côtes de Beaune, Côte Châtillonnaise, Chablis, Côtes du Couchois, Côte Chalonnaise, Mâconnais, Jura et Nièvre

### Données climatiques

Les températures minimales ( $T_{min}$ ) et maximales ( $T_{max}$ ) quotidiennes ont été utilisées en tant que variables climatiques principales. Les données ont été analysées pour deux séries temporelles : 1980-2005 représente la période de référence, tandis que 2020-2050 correspond aux projections climatiques du futur proche.  $T_{min}$  et  $T_{max}$  ont servi à calculer la température moyenne quotidienne qui ensuite a été incrémentée au modèle phénologique pour le calcul de la date de débourrement.

Les bases de données initiales sont des simulations climatiques effectuées par 18 MCGs dits « couplés océan-atmosphère » dans le cadre de l'initiative CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project*). Les simulations ont été réalisées selon le scénario RCP8.5. Les MCGs ont ensuite été statistiquement désagrégés à une résolution spatiale  $\sim 12$  km et débiaisés avec la méthode de quantile mapping (QQMap) sur la BFC. Les données ponctuelles de Météo-France, interpolées sur une grille de  $\sim 12$  km sur la région BFC, ont servi comme base de correction des biais<sup>28</sup>.

28. Brulebois E., Richard Y. et Castel T., 2017, « Modalités et robustesse de la régionalisation du climat de la Bourgogne-Franche-Comté. », *Note technique d'avancement sur le projet Prosys*, 10.

### *Modélisation du débourrement de la vigne*

Pour déterminer le risque de gel d'une culture il est nécessaire d'associer la vulnérabilité de la plante à l'aléa météorologique. Les plantes sont susceptibles de subir des blessures produites par une formation de glace à l'intérieur (voire à la surface) des tissus verts (bourgeons/jeunes pousses), suite à un abaissement de la température. La vulnérabilité varie selon l'espèce et la variété (ou cépage), mais dépend également du stade phénologique de la plante. En Bourgogne-Franche-Comté, pour le vignoble, le risque de gel concerne surtout la période faisant suite au débourrement. Ainsi, la date de débourrement (moment auquel, sur un espace donné, 50% des bourgeons se trouvent au stade de pointe verte) a été utilisée comme proxy pour la vulnérabilité physiologique de la vigne.

La date de débourrement a été simulée pour la région BFC à l'aide du modèle phénologique BRIN<sup>17</sup>. Les simulations ont été réalisées exclusivement pour la variété *Vitis vinifera* Chardonnay. Le calcul de la date de débourrement a été effectué pour un total de 546 de 12 \* 12 pixels pour la période de référence (1980-2005) ainsi que pour la période future (2020-2050). Une date de débourrement a ensuite été obtenue pour chaque pixel, année et MCGs.

### *Les indices gel et les seuils de température*

Les indices calculés liés au gel peuvent être divisés en deux catégories : 1) des indices concernant l'évolution du gel en tant que phénomène météorologique (lorsque la température passe en dessous d'un certain seuil, sans considérer la date de débourrement) et 2) des indices concernant l'évolution du gel en tant que risque pour la production des raisins et du vin.

Dans la première catégorie, des indices tels que le *nombre de jours de gel d'avril à juin* et la *date du dernier gel de printemps* ont été analysés. Un jour de gel est défini comme un jour où la température de l'air est inférieure ou égale à 0°C. Le risque de gel a été calculé en fonction de l'évolution du gel (phénomène météorologique) par rapport à l'évolution de la date de débourrement (vulnérabilité de la plante) en utilisant un seuil de température de -1°C<sup>29</sup>. Une fois la date de débourrement simulée, les jours au-delà de cette date indiquant une température inférieure ou égale à -1°C ont été sélectionnés comme représentant un stress gel potentiel pour la plante. Enfin, une différence est calculée entre la température seuil et la température journalière pour ensuite être cumulée en tant que stress gel annuel pour tous les pixels, années et MCGs confondus. Le seuil de température utilisé pour l'estimation de risque de gel a été fixé à -1°C afin d'éviter une perte d'informations due à la nature discrète des inversions thermiques.

Le stress gel simulé a été quantifié sous forme de trois indices différents. Cela a permis de réaliser une analyse spatiale et temporelle de risque de gel lié à la

---

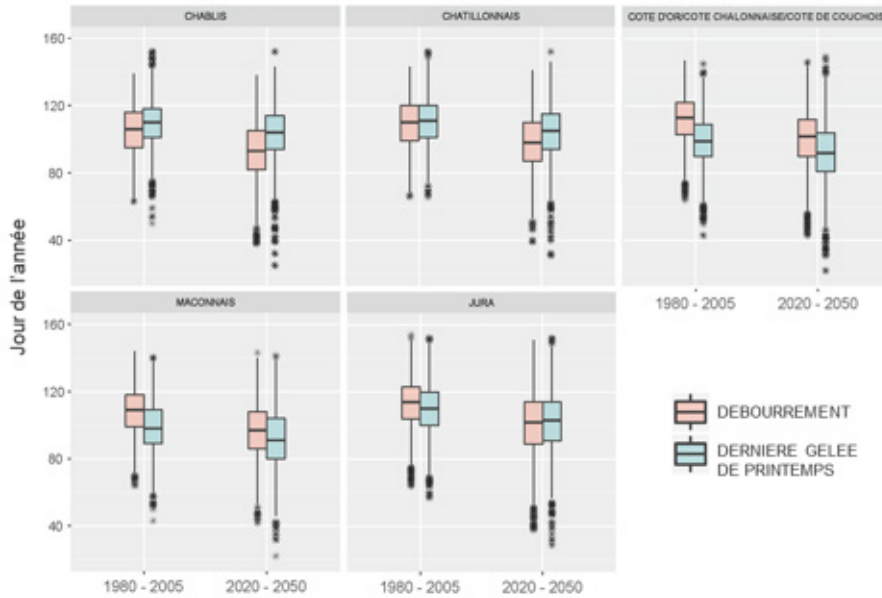
29. Webb A. M., Pirie A., Kidd D., Minasny B., 2017, « Spatial analysis of frost risk to determine viticulture suitability in Tasmania, Australia: Analysis of frost risk for viticulture in Tasmania. », *Australian Journal of Grape and Wine Research*. [doi.org/10.1111/ajgw.12314](https://doi.org/10.1111/ajgw.12314)

vigne, référencé dans la deuxième catégorie, en termes de *nombre d'événements de gel après la date de débourrement* (avec un potentiel d'impact sur les tissus verts), de *fréquence d'années gélives* (avec au moins un jour/événement de gel) ainsi que de *intensité des événements gélifs* (le stress gel moyen cumulé pour un pixel donné).

## **Résultats**

### *Evolution du risque de gel à méso échelle*

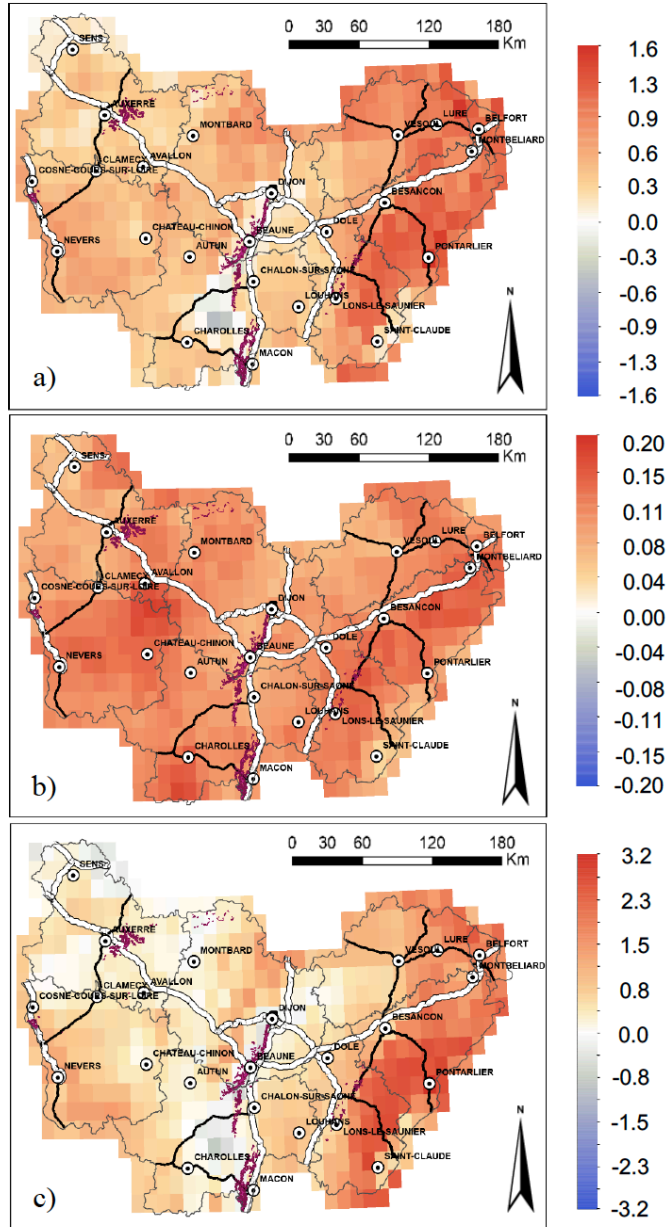
L'évolution des températures minimales indique un climat futur (2020-2050) plus chaud que celui de la période de référence (1980-2005). Une augmentation d'environ 1°C est observée. Elle s'accompagne d'une diminution du nombre de jours de gel pendant la période de débourrement (d'avril à juin). Il en résulte une avancée de la date du dernier gel de printemps (jusqu'à 9 jours) dans toutes les sous-régions viticoles de la BFC. Dans le même temps, la phénologie de la vigne évolue. Ainsi, l'occurrence de la date de dernière gelée de printemps peut, en moyenne sur les 30 ans, intervenir après le débourrement du Chardonnay, tant pour la période de référence que pour la période future (Illus. 2). L'écart entre les deux indices varie selon la région, devenant temporellement plus contrasté dans les sous-régions de Chablis, du Châtillonnais et du Jura. L'évolution est moins marquée dans les autres vignobles de la Côte d'Or et de Saône-et-Loire. Notons également que la date de débourrement a tendance à avancer plus rapidement que la date du dernier gel de printemps pour toutes les sous-régions, années et MCGs. Les sous-régions viticoles où le débourrement serait susceptible d'avancer plus rapidement que la date du dernier gel de printemps seraient les plus exposées au risque (Illus. 2). L'évolution du risque de gel sur vigne en BFC suit la même logique géographique que l'avancement des dates du débourrement et du dernier gel de printemps. Les secteurs où le débourrement serait susceptible d'avancer plus rapidement que la date du dernier gel de printemps seraient les plus exposés au risque. Trois groupes peuvent être constitués sur le territoire de BFC : forte augmentation (les trois indicateurs augmentent - Illus. 3a), augmentation moyenne (deux indicateurs augmentent - Illus. 3b) et faible augmentation (un seul indicateur augmente - Illus. 3c). Le Jura, la Nièvre et le Chablisien sont des régions viticoles au sein desquelles le risque de gel augmente de manière très importante avec le changement climatique. Parmi les trois régions, le vignoble du Jura semble être le plus menacé. Un climat plus doux signifie à la fois un changement au niveau de l'aléa climatique mais aussi de la vulnérabilité de la plante. Suite à notre analyse, on constate que ces trois régions sont caractérisées par une faible diminution des températures minimales et un avancement conséquent de la date de débourrement.



**Illus. 2 :** Boîte à moustaches indiquant la date de débourrement (beige-rose) de la variété *Vitis vinifera* Chardonnay et la date de dernière gelée de printemps (bleue) dans les sous-régions de Bourgogne-Franche-Comté. Les indices ont été simulés à l'échelle régionale sur une période de référence (1980-2005) et une période projetée (2020-2050) en utilisant des données de température issues de 18 MCG.

Ainsi, la fenêtre de vulnérabilité dure-t-elle plus longtemps (et avec elle, le risque de gel). Le Châtillonnais est caractérisé par une augmentation moyenne du risque de gel. Dans cette région viticole, on observe que les indicateurs qui augmentent sont le nombre d'événements et la fréquence des années gélives. L'intensité du stress gel moyen se maintient. Les régions viticoles les moins marquées par une augmentation du risque de gel sont les côtes viticoles (Beaune, Nuits, Couchois et Chalonnaise) et le Mâconnais. Une augmentation est observée au niveau de l'intensité du stress gel moyen, tandis que les deux autres indicateurs ont une tendance moyenne plutôt au maintien. Sur ces dernières régions, l'augmentation de l'intensité du stress gel est un résultat à considérer avec prudence car il s'agit d'une augmentation relative portant sur de très faibles valeurs.





Illus. 3 : Cartes des évolutions (futur-historique) du risque de gel de la vigne simulées avec le modèle phénologique BRIN avec un seuil de température minimale fixé à  $-1^{\circ}\text{C}$ . Chaque carte représente un des trois indices de gel suivants : a) l'évolution (en nombre de jours) du nombre d'événements de gel après le débournement ; b) l'évolution de la fréquence des années sujettes à au moins un événement de gel après le débournement et c) l'évolution (en  $^{\circ}\text{C}$ ) du stress/intensité de gel moyen.

## Conclusion et discussion

Le risque de gel printanier a été évalué et décrit spatio-temporellement sur l'ensemble des sous-régions viticoles de BFC. La simulation de la date de débourrement et de la date de la dernière gelée de printemps, avec un seuil de température prédéfini à  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a permis de calculer le stress gel pour le cépage Chardonnay dans deux contextes climatiques différents (passé récent 1980-2005 et futur proche 2020-2050). En utilisant une approche plante-climat, nous avons pu associer à chaque sous-région viticole une trajectoire d'évolution du risque de gel simulée à partir des données provenant d'un ensemble de 18 MCGs.

Les 18 MCGs désagrégés par *quantile mapping* avec une résolution de 12km sur la région BFC donnent des résultats cohérents. Quelle que soit la sous-région viticole de BFC, le risque des dégâts causés par le gel printanier se maintient, voire augmente. En effet, le modèle de plante (BRIN) simule des dates de débourrement qui avancent partout au moins aussi vite que les dates de dernière gelée de printemps simulées par les 18 MCGs. Des variations spatiales sont observées : le risque augmente peu pour les vignobles de la Côte-d'Or et de Saône-et-Loire. À l'exception de ceux Châtillonnais. Enfin, il augmenterait encore plus nettement dans les sous-régions de Chablis, du Jura et de la Nièvre.

L'interprétation de ces résultats impose une certaine prudence. Les incertitudes liées aux simulations climatiques et plus encore aux simulations des dates de débourrement sont dépendantes des modèles. En particulier, l'influence de la température sur le développement des bourgeons reste encore mal comprise. Cela rend difficile la simulation précise de la date de débourrement sur laquelle l'estimation du risque de gel repose.

De plus, les évolutions probables du risque de gel permettent d'identifier les secteurs géographiques sensibles à une échelle intermédiaire mais elles ne permettent pas de distinguer les subtilités locales de la répartition des dégâts potentiels au sein d'un territoire viticole. La variabilité thermique au sein des territoires viticoles représente un énorme défi pour la viticulture, à la fois dans l'espace et dans le temps. Il est alors important de discerner non seulement l'évolution du risque mais aussi la dynamique spatiotemporelle de la variabilité locale ce qui permettra aux viticulteurs et à l'ensemble de la filière vitivinicole d'orienter leurs choix agronomiques et de limiter les risques liés à l'occurrence des aléas climatiques.

*Catinca Gavrilescu et al.*<sup>30</sup>  
*CRC – UMR Biogeosciences*

---

30. Remerciements : L'étude a bénéficié du soutien financier du Conseil Régional de Bourgogne-Franche-Comté et des Fonds européen de développement régional (FEDER). Les auteurs souhaitent remercier Météo-France, le Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), le Comité des vins de Champagne (CIVC), la Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DRAAF) et la Chambre d'Agriculture de Côte-d'Or pour avoir partagé leurs données. Enfin, nous remercions Marie-Charlotte Anstett (Biogéosciences CNRS / Université de Bourgogne) pour sa précieuse contribution scientifique au projet.