

Variabilité des températures extrêmes minimales printanières dans les régions viticoles de Bourgogne et de Franche-Comté en relation avec les types de circulation atmosphérique sur l'Europe.

Olivier Planchon, Olivier Cantat, Benjamin Bois, Catinca Gavrilescu

▶ **To cite this version:**

Olivier Planchon, Olivier Cantat, Benjamin Bois, Catinca Gavrilescu. Variabilité des températures extrêmes minimales printanières dans les régions viticoles de Bourgogne et de Franche-Comté en relation avec les types de circulation atmosphérique sur l'Europe.. Les Rencontres du Clos-Vougeot "Fluctuations climatiques et vignobles du Néolithique à l'actuel : impacts, résilience et perspectives"., Chaire UNESCO "Culture et Traditions du Vin", Oct 2019, Vougeot, France. pp.359-380. hal-02308045

HAL Id: hal-02308045
https://hal.science/hal-02308045

Submitted on 7 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Variabilité des températures extrêmes minimales printanières dans les régions viticoles de Bourgogne et de Franche-Comté en relation avec les types de circulation atmosphérique sur l'Europe

Olivier Planchon et al.[1]

1. INTRODUCTION

L'étude des températures extrêmes constitue un apport important à la climatologie appliquée du fait de leurs répercussions sur les activités humaines. Certaines activités agricoles y sont particulièrement sensibles, comme la viticulture et l'arboriculture fruitière. Au printemps, la reprise de l'activité végétative impose une forte sensibilité des plantes aux basses températures, notamment au gel. L'influence de la dynamique des masses d'air, de la topographie, des caractéristiques environnementales et les différents degrés de vulnérabilité des végétaux font que les dommages liés au gel tardif sont très variables sur des espaces relativement restreints[2] [3]. Même si l'évolution des températures durant les dernières décennies montre une tendance à la diminution des situations printanières froides, le risque

1. Olivier Planchon[A], Olivier Cantat[B], Benjamin Bois[A&C] et Catinca Gavrilescu[A]
A - Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université Bourgogne-Franche-Comté, France.
B - LETG-Caen, UMR 6554 CNRS, Université de Caen-Normandie, France.
C - Institut Universitaire de la Vigne et du Vin (IUVV, Dijon)

2. P. Cellier, « Mécanismes du refroidissement nocturne : application à la prévision des gelées de printemps », in *Le Gel en Agriculture*. I.N.R.A., 1989, p. 145-164.

3. H. Quénol, *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.

gélif est toujours présent[4]. Avec le réchauffement contemporain, les températures plus élevées engendrent une précocité de la reprise végétative[5 6 7]. Ce changement à la fois climatique et environnemental se manifeste de façon significative depuis le milieu des années 1980 [8 9 10 11], mais n'exclut pas l'irruption de « coups de froid » plus ou moins intenses sur l'Europe moyenne en hiver et au printemps. Les risques de pertes de production pour les cultures délicates sont donc non seulement toujours possibles, mais sont aussi parfois plus sévères qu'autrefois pour une intensité de gel identique car les plantes sont moins acclimatées au froid[12] ou débourrent plus tôt[13].

Ce travail s'inscrit dans un projet traitant de l'interprétation climatique de la variabilité des stades phénologiques en Bourgogne du Nord (PHOTOPHENO-21), soutenu par la Chaire UNESCO « *Culture et Traditions du Vin* ». Afin de replacer cette étude et cette région dans un contexte géographique plus large, des données de températures extrêmes minimales mensuelles ont été mises en relation avec les types de circulation atmosphérique observés sur sept stations réparties sur l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté, afin d'en calculer la fréquence d'apparition et de tenter d'identifier d'éventuelles évolutions temporelles susceptibles de s'inscrire dans le contexte du changement climatique actuel.

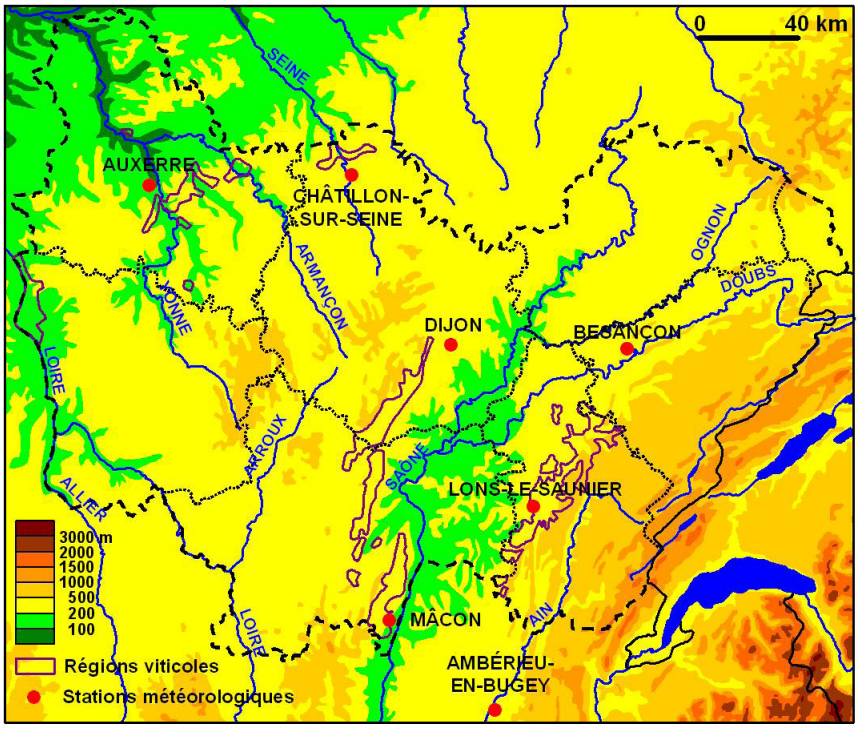
4. O. Cantat, O. Planchon, H. Quénol, E. Savouret, B. Bois, F. Beauvais et S. Brunel-Muguet, « Gelées tardives et viticulture en basse et moyenne vallée de la Loire (France). Approche géoclimatique d'un aléa météorologique majeur pour la vigne », à paraître dans *Climatologie*, 2019.
5. N. Estrella, T.H. Sparks et A. Menzel, « Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany », *Global Change Biology*, 2007, 13 : p. 1737-1747.
6. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), « Summary for Policymakers », in *Climate Change* 2013 : The Physical Science Basis, IPCC, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge (UK) and New York (NY, USA), Cambridge University Press, 2013.
7. MétéoSuisse, « Développement de la végétation », Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, 2018. http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/developpement-de-la-vegetation.html
8. H.R. Schultz, « Climate change and viticulture : A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects », *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2000, 6 : p. 2-12.
9. J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato et K. Lo, « Global surface temperature change », *Reviews of Geophysics*, 2010, 48 (4) : 29 p.
10. P.D. Jones, D.H. Lister, T.J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon et C.P. Morice, « Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations : An extensive revision and an update to 2010 ». *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117 (D5) : 29 p.
11. P.C. Reid, R.E. Hari, G. Beaugrand, D.M. Livingstone, C. Marty, D. Straile, J. Barichivich, E. Goberville, R. Adrian, Y. Aono, R. Brown, J. Foster, P. Groisman, P. Hélaouët, H. Hsu, R. Kirby, J. Knight, A. Kraberg, J. Li, T.-T. Lo, R.B. Myneni, R.P. North, J.A. Pounds, T. Sparks, R. Stübi, Y. Tian, K.H. Wiltshire, D. Xiao et Z. Zhu, « Global impacts of the 1980s regime shift », *Global Change Biology*, 2016, 22 : p. 682-703.
12. T. Castel, C. Lecomte, Y. Richard, I. Lejeune-Hénaut et A. Larmure, « Frost stress evolution and winter pea ideotype in the context of climate warming at a regional scale », *OCL*, 2017, 1 : D106.
13. G. Sgubin, D. Swingedouw, G. Dayon, I. García de Cortázar-Atauri, N. Ollat, C. Pagé et C. Van Leeuwen, « The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate », *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 250-251 : p. 226-242.

2. DONNÉES ET MÉTHODES

2.1. Les données climatiques

Les données de températures extrêmes minimales (TNN) et leurs dates d'occurrence respectives ont été extraites de diverses bases de données : Météo-Climat[14], ECA&D (European Climate Assessment & Dataset[15]) et de Météo-France[16]. L'extraction s'est limitée aux mois d'avril et mai en raison de la sensibilité au risque de gelées pour les cultures délicates pouvant survenir durant cette période de l'année. L'analyse s'étend sur 60 ans (de 1951 à 2010), ce qui permet une subdivision en deux « normales » climatiques (1951-1980 et 1981-2010), périodes recommandées par l'OMM pour l'étude de la variabilité du climat et dont la comparaison permet de rechercher, de détecter et d'identifier d'éventuels signaux liés au changement climatique actuel, en accord avec d'autres observations et résultats[17] [18] [19]. L'analyse s'appuie sur les données de sept stations météorologiques de référence, choisies en fonction de la disponibilité de séries de mesures les plus longues, fiables et homogènes possibles et de la représentativité géographique de leurs sites, les plus proches possibles des régions viticoles (Illus. 1 et Tableau 1).

14. S. Nadal, Météo-Climat, http://meteo-climat-bzh.dyndns.org
15. A.M.G. Klein Tank, J.B. Wijngaard, G.P. Konnen, R. Bohm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Mileta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Muller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. Van Engelen, E. Forland, M. Mietus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. Lopez, B. Dahlstrom, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander et P. Petrovic, « Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment », *International Journal of Climatology*, 2002, 22 : p. 1441-1453.
16. Météo-France, Publithèque, http://publitheque.meteo.fr
17. J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato et K. Lo, « Global surface temperature change », *Reviews of Geophysics,* 2010, 48 (4) : 29 p.
18. P.D. Jones, D.H. Lister, T.J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon et C.P. Morice, « Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations : An extensive revision and an update to 2010 », *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117 (D5) : 29 p.
19. P.C. Reid, R.E. Hari, G. Beaugrand, D.M. Livingstone, C. Marty, D. Straile, J. Barichivich, E. Goberville, R. Adrian, Y. Aono, R. Brown, J. Foster, P. Groisman, P. Hélaouët, H. Hsu, R. Kirby, J. Knight, A. Kraberg, J. Li, T.-T. Lo, R.B. Myneni, R.P. North, J.A. Pounds, T. Sparks, R. Stübi, Y. Tian, K.H. Wiltshire, D. Xiao et Z. Zhu, « Global impacts of the 1980s regime shift », *Global Change Biology*, 2016, 22 : 682-703.



Illus. 1 : Carte physique de la Région Bourgogne-Franche-Comté, avec délimitation des régions viticoles (d'après l'Atlas des Vignobles de France : Mérienne, 2012) et localisation des stations météorologiques de référence.

STATION	DÉPARTEMENT	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
AMBÉRIEU-EN-BUGEY	01 - Ain	45°58'35»N	05°19'46»E	250 m
AUXERRE	89 - Yonne	47°48'05»N	03°32'44»E	207 m
BESANÇON	25 - Doubs	47°14'56»N	05°59'20»E	307 m
CHÂTILLON-SUR-SEINE	21 - Côte-d'Or	47°50'58»N	04°34'53»E	262 m
DIJON	21 - Côte-d'Or	47°16'02»N	05°05'11»E	219 m
LONS-LE-SAUNIER	39 - Jura	46°41'15»N	05°30'38»E	280 m
MÂCON	71 - Saône-et-Loire	46°17'48»N	04°47'55»E	216 m

Tableau 1. Stations météorologiques de référence en Bourgogne-Franche-Comté.

La station de Lons-le-Saunier devait être la station comtoise de référence pour le vignoble du Jura, mais seules les données de la période 1981-2010 ont été disponibles (changement de site de la station en 1972), ce qui ne permet pas de l'inclure dans les analyses comparatives entre les deux sous-périodes trentenaires. Cependant, les calculs pour la période 1981-2010 permettent de la comparer, pour cette période, aux autres stations. Afin de disposer, à l'est de la Saône, de séries comparables aux séries bourguignonnes, les séries complètes de Besançon et d'Ambérieu-en-Bugey ont été ajoutées à l'étude, permettant ainsi d'encadrer, au nord (Besançon) et au sud (Ambérieu), celle, incomplète, de Lons-le-Saunier. Si le vignoble a quasiment disparu du paysage bisontin suite à la crise du phylloxéra[20], Ambérieu est située au centre de celui du Bugey, voisin méridional de celui du Jura[21].

2.2. Le contexte climatique moyen des stations étudiées

La région Bourgogne-Franche-Comté et les sept stations de référence sont incluses dans le vaste domaine climatique de type « Cfb » selon W. Köppen, c'est à dire un climat à hiver doux (« C » : température moyenne du mois le plus froid comprise entre -3°C et +18°C), sans saison sèche (« f ») et à été tempéré (« b » : température moyenne du mois le plus chaud inférieure à 22°C), auquel est soumise la plus grande partie de l'Europe de l'ouest. Au nord des arcs des chaînes alpines, les reliefs prédominants de plaines et de plateaux favorisent dans l'ensemble une libre circulation des masses d'air (d'origine océanique en particulier) à travers l'Europe moyenne[22] [23] [24] [25]. La variabilité spatio-temporelle de la persistance de ces masses d'air contribue à l'existence de diverses nuances climatiques, modulées par la latitude, la continentalité et la topographie, sur l'ensemble de la moitié nord de la France[26] [27] [28] [29] [30]. La position en latitude (vers 46-48°N) expose, toute l'année, la région étudiée à des conflits incessants de masses d'air, pouvant, dans certains cas, être dangereux pour les cultures délicates (vignes et vergers).

20. R. Chapuis et P. Mille, *Besançon, un vignoble millénaire*, Paris, L'Harmattan, 2019, 204 p.
21. P. Mérienne, *Atlas des vignobles de France*, Rennes, Éditions Ouest-France, 2012, 48 p.
22. H. Berg, « Die Kontinentalität Europas und ihre Änderung 1928/37 gegen 1888/97 », *Ann. Hydrogr*., 1940, p. 124.
23. G. Viers, *Éléments de climatologie*, Paris, Fernand Nathan, 1968, 224 p.
24. M. Schüepp et H. Schirmer, « Climate of Central Europe », in *World Survey of Climatology*. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1977, 6 (2) : p. 3-73.
25. R.G. Barry et R.J. Chorley, *Atmosphere, Weather & Climate*, London, New York, Routledge, 1987, 460 p.
26. P. Pédelaborde, *Le climat du bassin Parisien – Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique*, Paris, Génin, 1957, 539 p.
27. F. Shamsi, *Les climats de la France de l'Est*, Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, Strasbourg, 1968, 258 p.
28. G. Escourrou, « Le climat de la France », *Que sais-je ?* N° 1967, Paris, P.U.F., 1982, 128 p.
29. P. Pagney, *Climats et cours d'eau de France*, Paris, Masson, 1988, 248 p.
30. D. Joly, T. Brossard, H. Cardot, J. Cavailhes, M. Hilal et P. Wavresky, « Les types de climats en France, une construction spatiale », *Cybergéo*, 2010, article 501.

2.3. Circulation atmosphérique printanière et basses températures

En avril et mai, le « *printemps* » proprement dit ou, plus précisément du 1er avril au 16 mai, le *Vollfrühling* d'après F. Baur[31], correspond au paroxysme du ralentissement de la circulation zonale d'ouest et d'une recrudescence de l'occurrence des circulations méridiennes[32] [33] [34] [35]. Cette évolution saisonnière s'inscrit dans le cadre de vastes ondulations d'échelle planétaire conduisant parfois à des circulations de type *cellulaire* [36] [37] [38], impliquant la mise en place de types de circulations durablement anticycloniques, mais aussi la stagnation possible de systèmes frontaux particulièrement pluviogènes (circulations de Sud perturbées).

La succession et l'enchaînement de ces circulations méridiennes explique les brusques sautes de température fréquemment observées sur l'Europe au printemps, faisant alterner des situations météorologiques à caractère encore hivernal et d'autres à caractère déjà estival[39] [40] [41]. Le printemps est donc, pour les cultures délicates, la période dangereuse des gelées tardives, avec de fortes inégalités régionales et locales. On connait par exemple le danger d'un événement météorologique aussi aléatoire que les « *Saints de Glace* »[42].

31. F. Baur, *Physikalische - statistische Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsvorhersagen, Frankfurt am Main*, Akademische Verlagsgesellschaft mbH, 1958.
32. F. Baur, *Physikalische - statistische Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsvorhersagen, Frankfurt am Main*, *op. cit*.
33. S.L. Lejenäs et H. Økland, « Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data », *Tellus*, 1983, 35A (5) : p. 350-362.
34. J. Shukla et K.C. Mo, « Seasonal and geographical variation of blocking », *Monthly Weather Review*, 1983, 111 : p. 388-402.
35. P.C. Werner et F.-W. Gerstengarbe, « Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky », PIK Report, 2010, 119 : 146 p. http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr119.pdf
36. J. Namias, « The index cycle and its role in the general circulation », *Journal of Meteorology*, 1950, 7 (2) : p. 130-139.
37. G.J. Haltiner et F.L. Martin, *Dynamical and physical meteorology*, New York, McGraw-Hill, 1957, 470 p.
38. R.G. Barry et R.J. Chorley, *Atmosphere, Weather & Climate*, London, 1987, *op. cit*.
39. O. Planchon et W. Endlicher, « Dynamique spatio-temporelle du climat de l'Europe centrale : analyse et impacts dans les régions viticoles », in H. Quénol (sous la direction de), *Changement climatique et terroirs viticoles*, Cachan, Éditions Lavoisier Tec&Doc, 2014, chap. 4 : p. 115-146.
40. O. Cantat, *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, 2015, 264 p.
41. O. Cantat, O. Planchon, H. Quénol, E. Savouret, B. Bois, F. Beauvais et S. Brunel-Muguet, *op. cit*.
42. P. Bissolli et C.D. Schönwiese, « Singularitäten in der Bundesrepublik Deutschland 1946-1986. Vorläufige Ergebnisse einer statistischen Analyse anhand ausgewählter Stationen », *Meteor. Rundsch.*, 1987, 40 : p. 147-155.

Certains coups de froid survenus en avril ou en mai ont été désastreux pour la vigne sur le Centre-Est de la France[43] [44] [45] [46] [47] [48].

2.4. Utilisation du catalogue quotidien de types de circulation atmosphérique de Hess-Brezowsky

L'étude de la variabilité du temps à l'échelle synoptique sur l'Europe est possible grâce au fichier des types de circulation atmosphérique (Großwetterlagen ou en abrégé GWL) définis par Hess et Brezowsky[49]. La méthode de Hess et Brezowsky s'appuie sur le champ de pression au niveau de la mer et vers 5500 m d'altitude (géopotentiel à 500 hPa) au-dessus de l'Océan Atlantique Nord et de l'Europe. La classification identifie vingt-neuf types de circulations (GWL : tableau 1), pouvant être regroupés en cinq classes (*Großwettertypen* ou GWT : Tableau 2, adapté de Bárdossy et Caspary[50], Fallo[51], Gerstengarbe et Werner[52]) : Ouest (W), Sud (S), Nord-Ouest & Nord (NW & N), Nord-Est & Est (NE & E), Centre d'action sur l'Europe centrale (CE). De nombreuses références sur la méthodologie, l'utilisation et les applications de cette classification sont citées notamment par P.C. Werner & F.-W. Gerstengarbe[53]. Le catalogue quotidien des GWL, archivé et mis à jour par le Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) jusqu'en 2009 [54], est, depuis

43. L. Bisault, « Le vin en 1991 : une année marquée par le gel », INSEE Première, 1992, 199 : 4 p. http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/9956/3/ip199.pdf
44. O. Planchon et W. Endlicher, « Dynamique spatio-temporelle du climat de l'Europe centrale : analyse et impacts dans les régions viticoles », in H. Quénol (sous la direction de), *Changement climatique et terroirs viticoles*, Cachan, Éditions Lavoisier Tec&Doc, 2014, chap. 4 : p. 115-146.
45. J. Fulleringer, « Les gelées d'avril ont touché 1.300 hectares de vignes dans l'Yonne », L'Yonne Républicaine, 5 mai 2016, https://www.lyonne.fr/chablis/environnement/2016/05/05/les-gelees-davril-ont-touche-1-300-hectaresde-vignes-dans-l-yonne_11901326.html#refresh
46. C. Mathiaud et M. Paturaud, « Climatologie 2016 en Bourgogne : d'un extrême à l'autre », Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 20 novembre 2016, p. 3-6.
47. M. Paturaud, « En Bourgogne, une climatologie 2017 tout en contrastes », Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 19 novembre 2017, p. 3-6.
48. C. Tupinier et T. Gaudillère, « Gel : l'Yonne à nouveau en première ligne ! », Bourgogne Aujourd'hui, 20 avril 2017, http://www.bourgogneaujourdhui. com/fr/actualites/gel-l-yonne-a-nouveau-en-premiere-ligne-_624.4.htm
49. P. Hess et H. Brezowsky, « Katalog der Grosswetterlagen Europas », *Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, 1952, 33 : 39 p.
50. A. Bárdossy et H.J. Caspary, « Detection of climate change in Europe by analysing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989 », *Theoretical and Applied Climatology*, 1990, 42 : p. 155-167.
51. J.-M. Fallot, « Évolution du nombre de jours avec des précipitations abondantes en Suisse durant le 20e siècle », *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 2000, 13 : p. 100-109.
52. F.W. Gerstengarbe et P.C. Werner, « Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2004) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky » *PIK Report*, 2005, 100 : 153 p.
53. P.C. Werner et F.-W. Gerstengarbe, « Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky », PIK Report, 2010, 119 : 146 p. http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr119.pdf
54. P.C. Werner et F.-W. Gerstengarbe, *op. cit.* http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr119.pdf

2003, régulièrement mis à jour et publié par le Deutscher Wetterdienst[55] suivant la même méthodologie, avec une durée minimum de trois jours pour chaque séquence de GWL. Grâce à sa très longue série d'informations (disponibles depuis 1881), le catalogue des types de circulation quotidiens a déjà été utilisé pour diverses études statistiques de fréquence, de persistance et de probabilité de transition entre les GWL[56] [57] [58] [59]. La classification de Hess-Brezowsky et le catalogue des GWL / GWT a servi également en climatologie appliquée dans des travaux traitant de l'impact des types de circulation atmosphérique générant des gelées sur des régions viticoles européennes[60] [61] [62] [63]. L'accent a, jusqu'à présent, surtout été mis sur le printemps, saison la plus sensible pour la vigne et les vergers[64].

55. Deutscher Wetterdienst, *Großwetterlage*, https://www.dwd.de/DE/leistungen/grosswetterlage/grosswetterlage.html.
56. A. Bárdossy et H.J. Caspary, « Detection of climate change in Europe by analysing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989 », *Theoretical and Applied Climatology*, 1990, 42 : p. 155-167.
57. D. Klaus, « Zirkulations- und Persistenzänderungen des Europäischen Wettergeschehens im Spiegel der Grosswetterlagenstatistik », *Erdkunde*, 1993, 47 : p. 85-104.
58. J. Kyselý et R. Huth, « Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods », *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, 85 : p. 19-36.
59. O. Planchon et V. Bonnardot, « L'évolution des types de circulation atmosphérique sur la France de l'Ouest et leur impact climatique », in Ph. Mérot, V. Dubreuil, D. Delahaye et Ph. Desnos, (sous la direction de), *Changement climatique dans l'Ouest – Évaluation, impacts, perceptions*, Presses Universitaires de Rennes, Collection « Espace et territoires », 2012, chap. 2 : p. 31-41.
60. H. Quénol, O. Planchon et L. Wahl, « Méthodes d'identification des climats viticoles », *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 2008, 51 : p. 127-137.
61. O. Planchon, H. Quénol, L. Wahl, O. Cantat et C. Bonnefoy, « Types de circulations atmosphériques et types de temps en situations gélives dans les régions viticoles de la moitié nord de la France », *Geographia Technica*, Numéro Spécial (22e colloque de l'AIC, Cluj, 1-5 septembre 2009), 2009, Cluj University Press, p. 371-376.
62. O. Planchon, H. Quénol, L.M. Irimia et Cr.V. Patriche, « European cold wave during February 2012 and impacts in wine growing regions of Moldavia (Romania) », *Theoretical and Applied Climatology*, 2015, 120 (3) : p. 469-478.
63. O. Cantat, O. Planchon, H. Quénol, E. Savouret, B. Bois, F. Beauvais et S. Brunel-Muguet, 2019, *op. cit*.
64. O. Planchon, O. Cantat et B. Bois, 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.

Types (GWL) et grands types (GWT)	Code
1. Circulations de Nord-Est et d'Est	
Circulation de nord-est, anticyclonique	NEA
Circulation de nord-est, cyclonique	NEZ
Anticyclone sur la Fennoscandie, anticyclonique	HFA
Anticyclone sur la Fennoscandie, cyclonique	HFZ
Anticyclone sur mer de Norvège – Fennoscandie, anticyclonique	HNFA
Anticyclone sur mer de Norvège – Fennoscandie, cyclonique	HNFZ
2. Circulations de Sud	
Circulation de sud-ouest, anticyclonique	SWA
Circulation de sud-ouest, cyclonique	SWZ
Circulation de sud, anticyclonique	SA
Circulation de sud, cyclonique	SZ
Dépression sur les îles Britanniques	TB
Talweg sur l'Europe occidentale	TRW
Circulation de sud-est, anticyclonique	SEA
Circulation de sud-est, cyclonique	SEZ
3. Circulations d'Ouest	
Circulation d'ouest, anticyclonique	WA
Circulation d'ouest, cyclonique	WZ
Circulation d'ouest méridionale	WS
Circulation d'ouest "formant un angle"	WW
4. Circulations de Nord-Ouest et de Nord	
Circulation de nord-ouest, anticyclonique	NWA
Circulation de nord-ouest, cyclonique	NWZ
Circulation de nord, anticyclonique	NA
Circulation de nord, cyclonique	NZ
Anticyclone sur l'Islande, anticyclonique	HNA
Anticyclone sur l'Islande, cyclonique	HNZ
Anticyclone sur les îles Britanniques	HB
Talweg sur l'Europe centrale	TRM
5. Situations à centre d'action sur l'Europe Centrale	
Anticyclone sur l'Europe centrale	HM
Dorsale anticyclonique sur l'Europe moyenne	BM
Dépression sur l'Europe centrale	TM

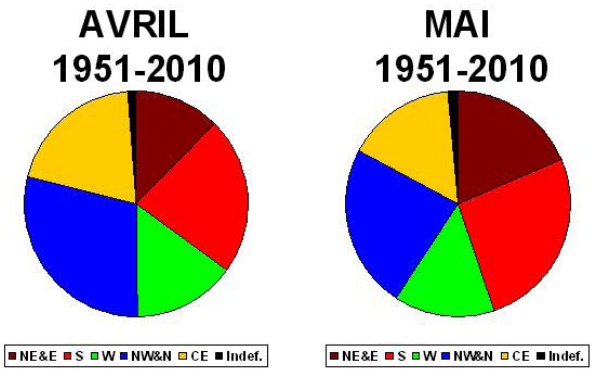
Tableau 2. Liste des types de circulation de la classification de Hess-Brezowsky. 5 *Großwettertypen* : Nord-Est & Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest & Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE). Adapté de : Bárdossy et Caspary, 1990 ; Fallot, 2000, Gerstengarbe et Werner, 2005).

Dans cette étude, les données de températures extrêmes minimales mensuelles d'avril et mai ont été mises en relation avec les GWT, pour l'ensemble de la période 1951-2010 et pour chacune des deux sous-périodes 1951-1980 et 1981-2010, afin d'identifier d'éventuels changements d'une période à l'autre. L'objectif a été de calculer l'occurrence des GWT correspondant aux températures extrêmes minimales de chaque mois étudié, afin d'identifier les situations responsables des événements extrêmes, de certains seuils à risques (TNN ≤ 0°C), mais aussi en comparant les résultats obtenus pour les deux sous-périodes trentenaires de référence (1951-1980 et 1981-2010).

3. RÉSULTATS

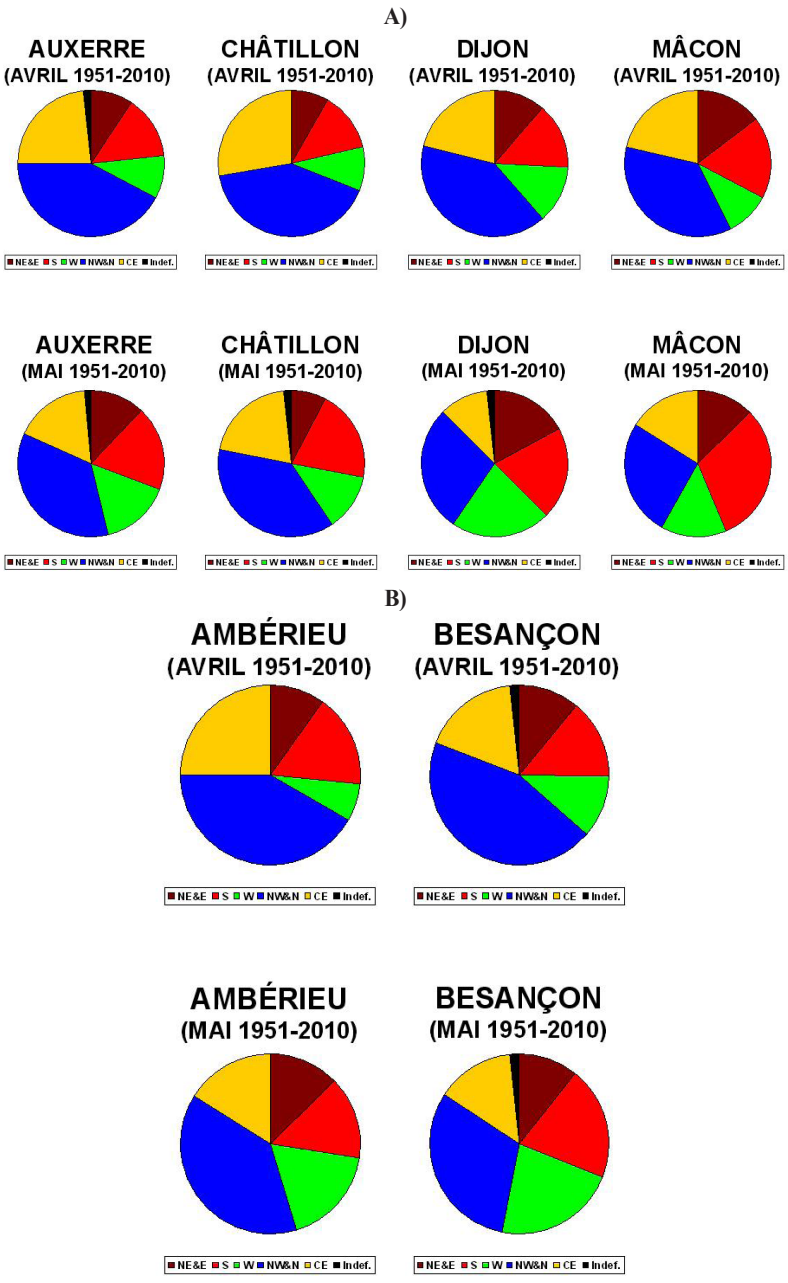
3.1. Mise en relation des températures extrêmes minimales mensuelles (TNN) et des Großwettertypen (GWT) en avril et mai pour la période 1951-2010.

Les deux *Großwettertypen* les plus fréquemment observés sur l'ensemble de la période 1951-2010 (Illus. 2) sont, en avril, ceux de nord-ouest et nord (NW&N : 29,3 %) et de sud (S : 22,5 %) et, en mai, ceux de sud (S : 26,2 %) et de nord-ouest et nord (NW&N : 23,6 %), en accord avec les remarques mentionnées plus haut concernant l'importance des circulations méridiennes au printemps.



Illus. 2 : Fréquence des Großwettertypen en avril et mai sur la période 1951-2010. 5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

Sur l'ensemble de la période 1951-2010 (Illus. 3), on observe, en avril, la fréquence la plus élevée des TNN se produisant en situations à circulations de nord-ouest et de nord (NW&N), entre 36 et 45 % du total.



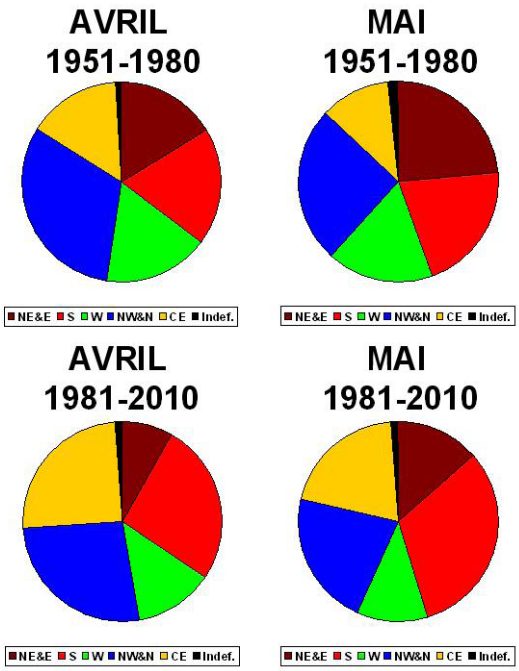
Illus. 3 : Fréquence des Großwettertypen associés aux journées à températures extrêmes minimales, en avril et mai 1951-2010.
a) à l'ouest de la Saône (Auxerre, Châtillon-sur-Seine, Dijon et Mâcon) ;
b) à l'est de la Saône (Ambérieu-en-Bugey et Besançon).
5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

En avril, l'Europe sort de la saison froide. L'intérieur du continent, qui commence à s'échauffer, n'est donc plus une réserve d'air froid. Les masses d'air froid proviennent dès lors préférentiellement de l'océan Atlantique Nord et Arctique : ainsi l'air polaire océanique remplace l'air polaire continental (fréquence des TNN associées à des GWT de NE & E partout inférieure à 20 % en avril et en mai) dans l'occurrence la plus élevée des TNN de saison chaude en Europe occidentale et centrale[65] [66]. Les types de circulation de nord-est et d'est, qui produisent les anomalies thermiques les plus fortement négatives en hiver, n'ont plus la « première place » au printemps, rattrapées par les circulations de nord[67]. En avril comme en mai, la fréquence des TNN en situations de type NW&N dépasse de loin celle des autres GWT (à l'exception de Mâcon en mai). Ainsi en avril, le deuxième GWT associé le plus fréquemment aux TNN mensuelles (entre 17 et 28 %) est celui regroupant les situations à centre d'action sur l'Europe centrale (CE). Ces types de circulation, qu'elles soient anticycloniques ou perturbées, sont favorables aux nuits fraîches voire froides sur l'Europe centrale et occidentale[68] [69] [70]. En mai, les TNN associées aux situations météorologiques de type « CE », moins fréquentes qu'en avril (11 à 20 % du total), placent ainsi le type « CE », en termes d'impacts sur les basses températures extrêmes, après certains autres GWT aussi inattendus que celui de sud en particulier. Avec l'entrée dans la saison chaude, l'atténuation du gradient thermique entre hautes et basses latitudes de l'hémisphère concerné s'accompagne d'une atténuation des contrastes thermiques entre masses d'air[71] [72] [73]. Ainsi, en fonction de la position des centres d'action barométriques, de la succession et de l'enchaînement des types de circulation durant le mois concerné, l'influence directe des masses d'air se combine à d'autres facteurs pour expliquer les plus basses températures de chaque mois : quelques éléments d'explication seront proposés plus loin dans ce travail (à propos des TNN ≤ 0°C).

3.2. Mise en relation des températures extrêmes minimales mensuelles (TNN) et des Großwettertypen (GWT) en avril et mai : comparaison des deux sous-périodes successives 1951-1980 et 1981-2010.

65. H. Quénol, O. Planchon et L. Wahl, 2008. *op. cit*.
66. O. Planchon et W. Endlicher, 2014. *op. cit*.
67. F.W. Gerstengarbe et P.C. Werner, 2005. *op. cit*.
68. H. Quénol, O. Planchon et L. Wahl, 2008. *op. cit*.
69. P.C. Werner et F.-W. Gerstengarbe, « Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-2009) nach Paul Hess und Helmut Brezowsky », *PIK Report*, 2010, 119 : 146 p. http://www.pik-potsdam.de/research/publications/pikreports/.files/pr119.pdf
70. O. Cantat, O. Planchon, H. Quénol, E. Savouret, B. Bois, F. Beauvais et S. Brunel-Muguet, *op. cit*.
71. R.G. Barry et A.H. Perry, *Synoptic climatology – Methods and Applications*, London, Methuen & Co Ltd, 1973, 555 p.
72. R.G. Barry et R.J. Chorley, *op. cit*.
73. R.G. Barry et A.M. Carleton, *Synoptic and dynamic climatology*, New York, Routledge, 2001, 620 p.

Entre les périodes 1951-1980 et 1981-2010, la proportion des GWT varie quelque peu, et certains GWT prennent de l'importance au détriment d'autres types (Illus. 4).

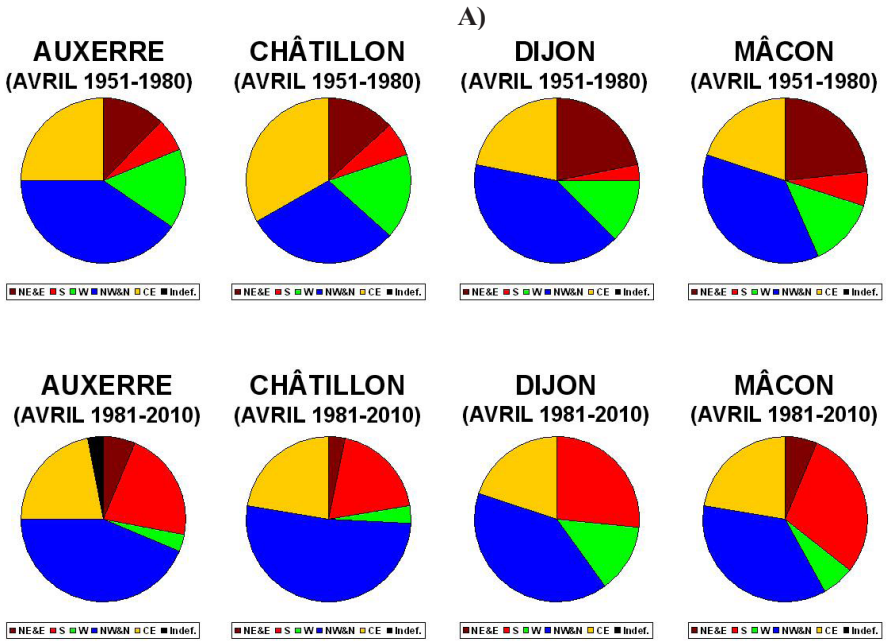


Illus. 4 : Fréquence des Großwettertypen en avril et mai, périodes 1951-1980 et 1981-2010. 5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

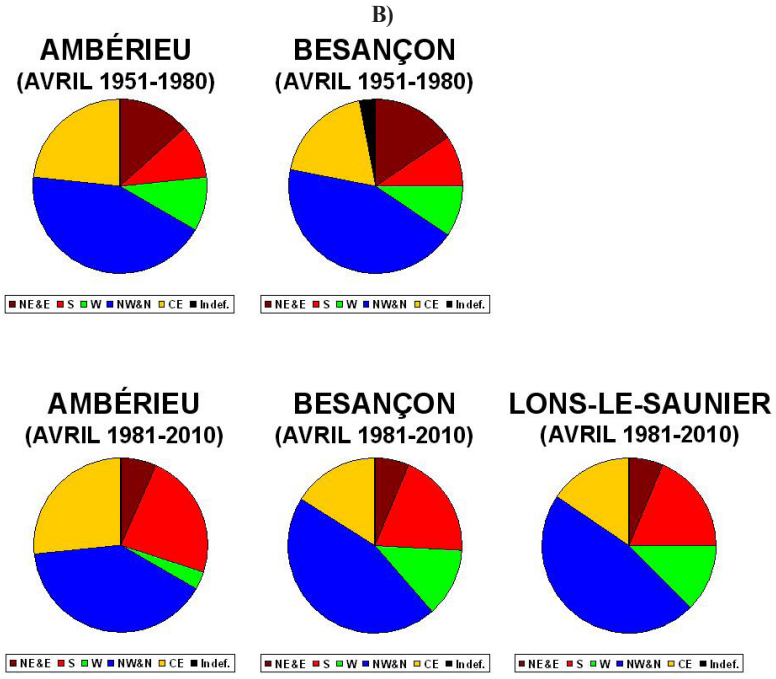
En avril, si les types de circulation de nord-ouest et de nord conservent la première place malgré une fréquence plus basse (31,9 à 26,8 %), la proportion des types de circulation de nord-est et d'est diminue de moitié (16,4 à 8,4 %), tandis que ceux à centre d'action sur l'Europe centrale et ceux de sud sont plus fréquents (respectivement, de 15,1 à 25,0 % et de 19,0 à 26,0 %). Ainsi, alors que les trois GWT les plus fréquents étaient, en 1951-1980 et dans l'ordre décroissant : NW&N, NE&E et CE, en 1981-2010 le « podium » est occupé par les types NW&N, S et CE. Le remplacement, en deuxième position, des circulations de nord-est et d'est par celles de sud mérite donc d'être souligné.

En mai, la diminution de l'occurrence des circulations de nord-ouest et de nord (25,3 à 21,9 %) leur fait perdre la première place au profit des circulations de sud, dont la proportion augmente de 20,9 à 31,6 %. Comme en avril, on note une diminution de la fréquence des types de circulation de nord-est et d'est (23,5 à 13,6 %), tandis que ceux à centre d'action sur l'Europe centrale sont nettement plus fréquents (11,3 à 20,3 %). Ainsi, le « podium » du mois de mai évolue de la façon suivante : en 1951-1980, NW&N, NE&E et S ; en 1981-2010 : S, NW&N et CE. On

soulignera tout particulièrement la première position prise par les circulations de sud et la sortie des circulations de nord-est d'est des trois premières places. Ces modifications de la proportion des GWT entre les deux sous-périodes trentenaires ont, inévitablement, eu des répercussions sur la fréquence des températures extrêmes minimales mensuelles associées à ces mêmes GWT (Illus. 5 et 6).

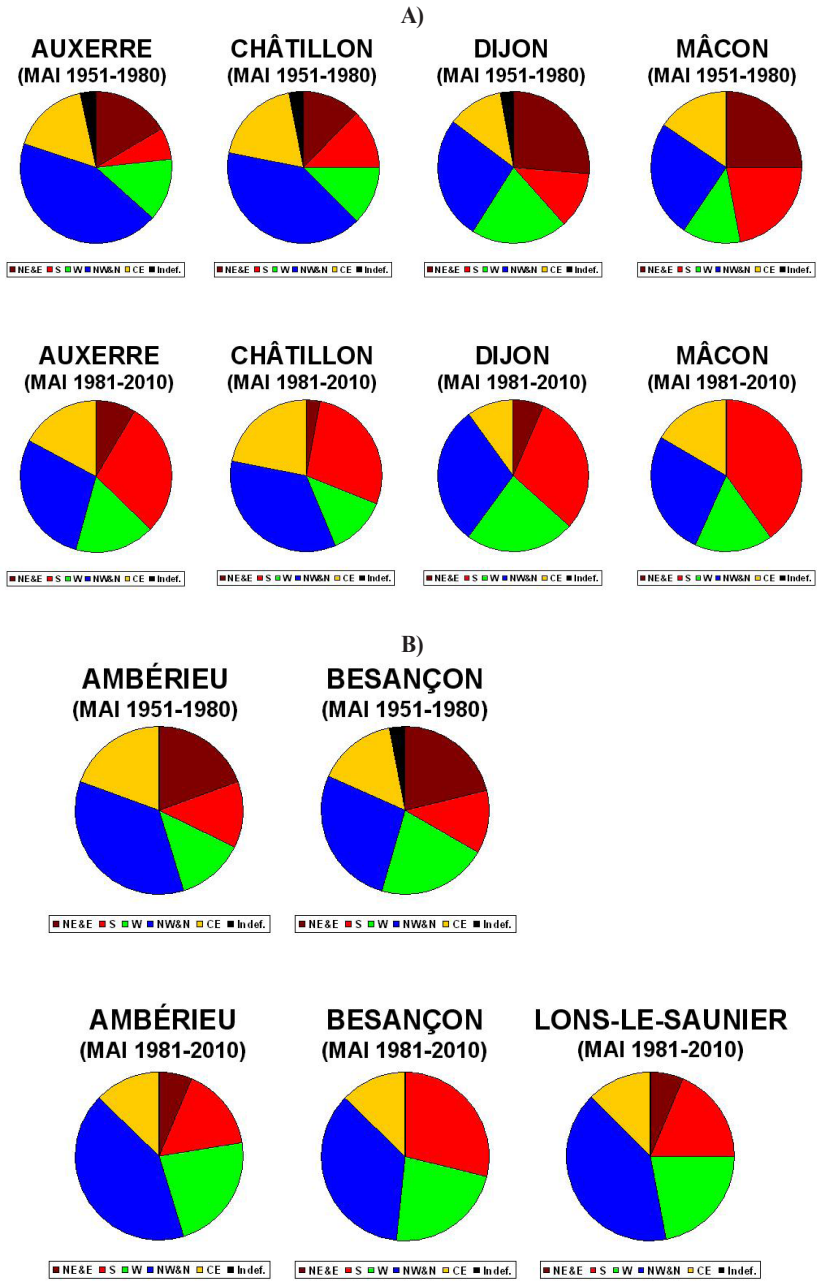


Illus. 5 a : Fréquence des Großwettertypen associés aux journées à températures extrêmes minimales, en avril 1951-1980 et 1981-2010. a) à l'ouest de la Saône (Auxerre, Châtillon-sur-Seine, Dijon et Mâcon) ; 5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).



Illus. 5 b : Fréquence des Großwettertypen associés aux journées à températures extrêmes minimales, en avril 1951-1980 et 1981-2010. b) à l'est de la Saône (Ambérieu-en-Bugey, Besançon et Lons-le-saunier). 5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

En avril (Illus. 5), ce sont les types de circulation de nord-ouest et de nord (NW&N) qui sont et demeurent les plus fréquemment associés à l'occurrence des températures extrêmes minimales mensuelles. Les types de circulation à centre d'action sur l'Europe centrale (CE) sont légèrement moins fréquemment associés aux TNN mensuelles (1951-1980 : 19 à 33 % ; 1981-2010 : 16 à 27 %), mais la perte de sa « deuxième place » au classement est avant tout liée à l'augmentation très sensible de la fréquence des TNN observées en circulations de sud (1951-1980 : entre 3 et 10 % ; 1981-2010 : entre 19 et 29 %). On peut noter une diminution de la fréquence des types de circulation de nord-est et d'est (NE&E) associés à l'occurrence des TNN mensuelles (1951-1980 : entre 12 et 23 % ; 1981-2010 : entre 0 et 7 %). Entre la période 1951-1980 et la période 1981-2010, on assiste donc à une diminution de l'occurrence des TNN mensuelles caractéristiques de la saison froide (associées aux types de circulation de nord-est et d'est), tandis que celles caractéristiques de la saison chaude sont plus fréquentes.

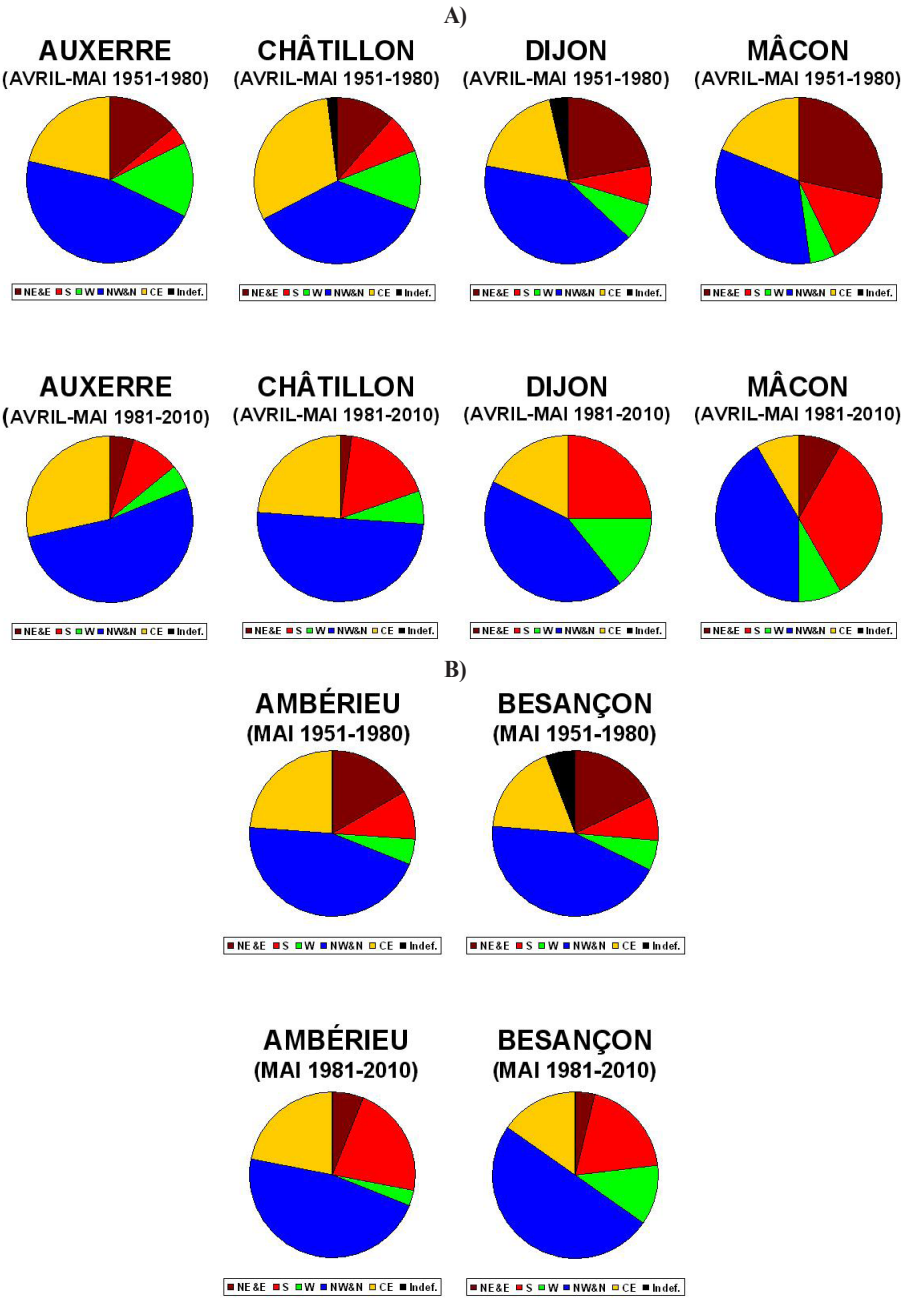


Illus. 6 : Fréquence des Großwettertypen associés aux journées à températures extrêmes minimales, en mai 1951-1980 et 1981-2010.
a) à l'ouest de la Saône (Auxerre, Châtillon-sur-Seine, Dijon et Mâcon) ;
b) à l'est de la Saône (Ambérieu-en-Bugey, Besançon et Lons-le-saunier).
5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

En mai (Illus. 6), les types de circulation de nord-ouest et de nord (NW&N) associés aux journées à températures extrêmes minimales mensuelles sont toujours parmi les plus fréquents entre 1951-1980 (25 à 43 %) et 1981-2010 (27 à 42 %). Cependant, l'augmentation simultanée de la fréquence des types de circulation de sud associés aux journées à TNN mensuelles se traduit, comparée aux circulations de NW & N, par une proportion parfois aussi élevée (à Dijon : 30 % ; à Auxerre : 28,6 %), voire plus élevée (à Mâcon, S : 40 % et NW & N : 26,7 %), ou encore en deuxième position (à Besançon, NW & N : 35,5 % et S : 29 % ; à Châtillon-sur-Seine, NW & N : 34,4 % et S : 28,1 %). La proportion des GWT à centre d'action sur l'Europe centrale (CE) associés aux journées à TNN mensuelles n'a pas évolué de façon significative sur l'ensemble de région, passant, pour les stations de référence, de valeurs de 12 à 19 % pour la période 1951-1980, à des valeurs de 10 à 22 % pour la période 1981-2010. Comme en avril, on peut noter une diminution de la fréquence des types de circulation de nord-est et d'est associées à l'occurrence des TNN mensuelles (1951-1980 : entre 12 et 27 % ; 1981-2010 : entre 0 et 9 %). Entre les périodes 1951-1980 et 1981-2010, on assiste donc, comme en avril, à une diminution de l'occurrence des TNN mensuelles caractéristiques de la saison froide (associées aux types de circulation de nord-est et d'est), tandis que celles caractéristiques de la saison chaude sont plus fréquentes. Cette remarque ne tient pas compte de certains seuils thermiques, en particulier le gel.

3.3. Températures extrêmes minimales égales ou inférieures à 0°C et Großwetter-typen

En région Bourgogne-Franche-Comté, les gelées sont localement possibles à basse altitude jusqu'en juin (par exemple à Châtillon-sur-Seine le 4 juin 2001 : -0,4°C), mais les températures extrêmes minimales mensuelles ≤ 0°C sont déjà plus rares en mai, et, sur certaines stations, ont même parfois totalement disparu durant la deuxième sous-période trentenaire (1981-2010) : à Auxerre, Mâcon et Lons-le-Saunier. Compte tenu du faible nombre de jours de gel en mai, sur l'ensemble de la période 1951-2010, la mise en relation de ces journées avec les GWT a fait l'objet de calculs de fréquences pour l'ensemble des deux mois d'avril et mai combinés (Illus. 7).



Illus. 7 : Fréquence des Großwettertypen associés aux journées à températures extrêmes minimales ≤ 0°C, en avril-mai 1951-1980 et 1981-2010.
a) à l'ouest de la Saône (Auxerre, Châtillon-sur-Seine, Dijon et Mâcon) ;
b) à l'est de la Saône (Ambérieu-en-Bugey, Besançon et Lons-le-saunier).
5 Großwettertypen : Nord-Est et Est (NE&E), Sud (S), Ouest (W), Nord-Ouest et Nord (NW&N) et Centre d'action sur l'Europe centrale (CE), plus un type indéfini (Indef.).

Par rapport aux résultats obtenus séparément pour avril et mai, toutes TNN mensuelles confondues, la fréquence des GWT associés aux journées à températures extrêmes minimales ≤ 0°C en avril-mai 1951-1980 et 1981-2010, confirme et souligne certaines évolutions constatées entre les deux sous-périodes trentenaires. Ainsi, ce sont toujours et même davantage encore les types de circulation de nord-ouest et de nord qui sont et demeurent les plus fréquemment associés à l'occurrence des températures extrêmes minimales mensuelles ≤ 0°C, avec des valeurs plus élevées en 1981-2010 (42 à 52 %) qu'en 1951-1980 (33 à 46 %). Les gelées associées aux circulations de sud sont aussi en augmentation (1951-1980 : 4 à 14 % ; 1981-2010 : 10 à 33 %). Les types de circulation à centre d'action sur l'Europe centrale sont, sauf à Auxerre (21,4 à 28,6 %) un peu moins fréquemment associés aux TNN mensuelles ≤ 0°C (1951-1980 : 18 à 31 % ; 1981-2010 : 8 à 24 %). On observe aussi une diminution, sensible et généralisée, de la fréquence des types de circulation de nord-est et d'est associées à l'occurrence des TNN mensuelles ≤ 0°C (1951-1980 : 12 à 29 % ; 1981-2010 : 0 à 8 %). Ainsi, la prise en compte des seules journées avec gelées associées aux types de circulation de NE & E, S., NW & N et CE, sur l'ensemble des mois d'avril et de mai combinés, confirme les résultats obtenus avec l'ensemble des journées à TNN mensuelles, surtout en avril où les journées observées sont les plus nombreuses. La comparaison avec les résultats de mai apparaît donc plus nuancée.

L'augmentation de la fréquence des TNN mensuelles en circulations de sud est un des faits les plus remarquables observés entre les deux sous-périodes trentenaires 1951-1980 et 1981-2010. Cette augmentation est directement liée à l'augmentation de la fréquence des circulations de sud déjà mentionnée, mais la possibilité d'enregistrer les plus basses températures durant ces épisodes est aussi, d'une manière générale, à relier vraisemblablement à une circulation moins dynamique au printemps qu'en hiver et s'accompagnant d'une continentalisation plus ou moins accentuée de la masse d'air cheminant, selon les types de circulation concernés, au-dessus de la péninsule Ibérique et de la France. Ces configurations permettent par temps clair l'établissement temporaire d'inversions de température avant l'arrivée de nouvelles perturbations d'origine atlantique[74] [75] [76] [77] [78]. Par exemple, durant le mois d'avril 1998, l'épisode de TNN mensuelles par flux de sud était associé à la présence durable d'un talweg sur l'Europe occidentale (TRW), du 8 au 18 avril. Les conditions météorologiques étant perturbées sur l'Europe de l'Ouest, avec une forte nébulosité et des températures maximales quotidiennes plutôt basses, les épisodes de TNN mensuelles ont pu s'y produire uniquement à la faveur d'éclaircies nocturnes. Cet épisode de basses températures minimales a

74. M. Schüepp et H. Schirmer, « Climate of Central Europe », in *World Survey of Climatology*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1977, 6 (2) : p. 3-73.

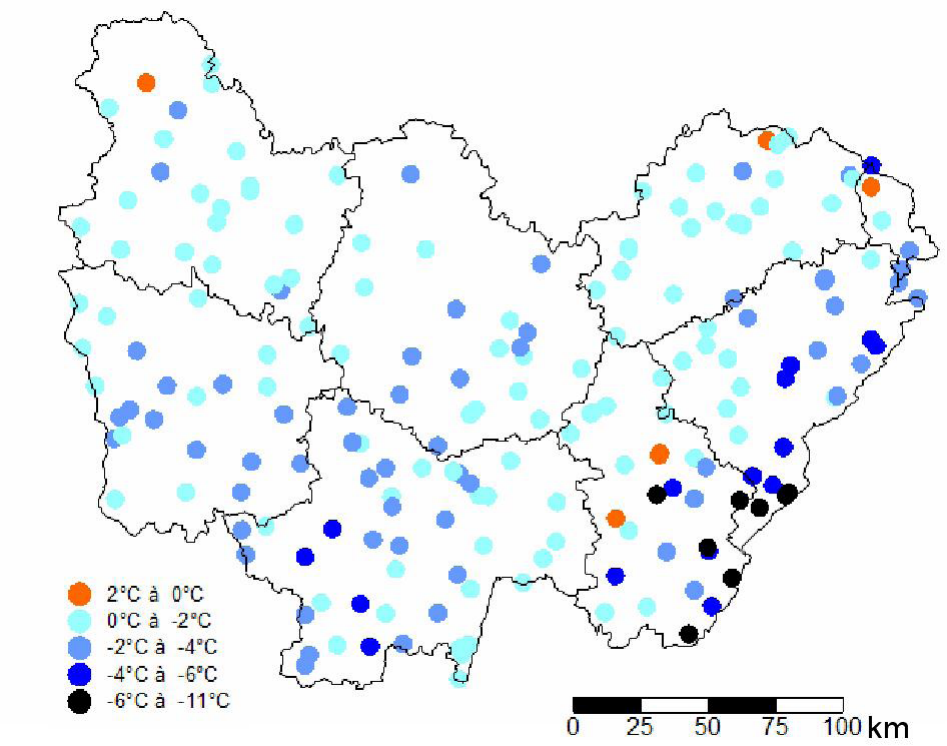
75. G. Escourrou, Le climat de la France, *op. cit*.

76. M. Bouët, *Climat et météorologie de la Suisse Romande*, Lausanne, Payot, 1985, 171 p.

77. W. Weischet et W. Endlicher, « Regionale Klimatologie », in *Teil 2 : Die Alte Welt* (Europa, Afrika, Asien), Stuttgart-Leipzig, B.G. Teubner, 2000, 625 p.

78. O. Cantat, O. Planchon, H. Quénol, E. Savouret, B. Bois, F. Beauvais et S. Brunel-Muguet, *op. cit*.

même provoqué, le 14 avril, des gelées sous abri sur les sept stations de référence : Ambérieu (-0,6°C), Auxerre (-0,3°C), Besançon (-0,6°C), Châtillon (-2,6°C), Dijon (-2,2°C), Lons-le-Saunier (0°C), Mâcon (-2°C). Pour la journée du 14 avril 1998, l'illus. 8 souligne le rôle des facteurs géographiques sur la répartition et l'intensité des gelées sur l'ensemble d'une région où les contrastes topographiques sont importants[79].



Illus. 8 : Températures minimales mesurées le 14 avril 1998 en Région Bourgogne-Franche-Comté (données Météo-France : Publithèque).

Ainsi, les circulations de Sud ne sont pas incompatibles avec le gel et peuvent même apparaître dans les causes d'un minimum mensuel, sous la condition qu'il n'y ait pas eu de masses d'air plus froid durant les mois concernés pouvant générer des gelées plus « classiques » qui masqueraient le phénomène (c'était le cas en avril 1998).

Enfin, certains cas de températures extrêmes minimales mensuelles, observés durant des épisodes de circulations de sud, ne sont pas liés aux conditions météorologiques associées à l'épisode de sud proprement dit, mais sont liés à l'épisode qui le précède, notamment des séquences de GWT « favorables » aux basses températures (NE&E, NW&N ou CE). Selon les caractéristiques

79. Météo-France, *Publithèque*, http://publitheque.meteo.fr

topographiques des sites d'implantation des stations météorologiques de référence, certains types de reliefs en creux offrent ainsi des effets d'abri topoclimatiques vis-à-vis des flux de sud, par exemple dans la plaine de la Saône[80]. En situation de fortes gelées, un délai de 2 ou 3 jours peut s'écouler avant que la température minimale y redevienne positive. Ainsi, dans les creux topographiques, au fond de certaines vallées et de bassins et fossés plus étendus (plaine de la Saône), la pellicule d'air froid qui se forme dans les très basses couches résiste au passage à une circulation de Sud. L'air doux glisse alors au-dessus de la pellicule d'air froid plus dense, permettant la persistance de gelées en plaine plusieurs jours après le changement de type de circulation. Parmi les sept stations de référence, le nombre le plus élevé de cas de TNN mensuelles succédant à des séquences de GWT favorables aux basses températures, observé à Mâcon (11 cas dont 4 avec gel) et à Dijon (8 cas dont 5 avec gel), est lié à ce phénomène de « piégeage » de l'air froid le long de la vallée de la Saône. Les stations de Châtillon et d'Ambérieu présentent un nombre de cas à peine moins élevé qu'à Dijon : 7 cas, mais dont 6 avec gel à Châtillon et 5 à Ambérieu. La localisation de la station d'Ambérieu en fond de vallée de l'Ain et de celle de Châtillon, sur la bordure méridionale de la dépression subséquente (dite localement « Vallée »[81]) de la « côte » châtillonnaise (accumulation d'air froid), et, de surcroît, sur sol calcaire (rayonnement nocturne), sont favorables à l'accentuation des conditions propices aux gelées.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Des données de températures extrêmes minimales (TNN) mensuelles mesurées en avril et mai sur sept stations de Bourgogne et de Franche-Comté ont été mises en relation avec les types de circulation atmosphérique observés durant les journées concernées, afin d'en calculer la fréquence d'apparition durant la période 1951-2010, et pour les deux sous-périodes trentenaires 1951-1980 et 1981-2010 pour en voir l'évolution. L'analyse de la fréquence des températures extrêmes minimales mensuelles en fonction des *Grosswettertypen* (GWT) confirme, d'une manière générale, l'importance de l'occurrence des TNN mensuelles (y compris celles $\leq 0°C$) en circulations de nord-ouest et de nord, donc un trait météorologique typique de l'entrée dans la saison chaude. Au contraire, on observe le plus souvent, entre les deux sous-périodes trentenaires, une diminution sensible de la fréquence des TNN mensuelles en circulations de nord-est et d'est, caractéristiques, quant à elles, des TNN en saison froide. Le fait certainement le plus marquant est l'augmentation quasi généralisée de la fréquence des TNN mensuelles observées en circulations de Sud. Cette évolution s'inscrit dans un contexte où la fréquence des GWT eux-mêmes est caractérisée, en avril et mai, par une diminution de celle des circulations de nord-est et d'est au profit notamment des circulations de sud.

80. H. Quénol, O. Planchon et L. Wahl, 2008, *op. cit*.

81. R. Brunet et F. Claval, *Bourgogne, Franche-Comté*, Paris, Librairie Larousse, 1973, 80 p.

Les résultats font ressortir une grande diversité de configurations et d'interprétations possibles, caractérisée le plus souvent par une combinaison de facteurs explicatifs de nature et d'échelle différentes. Le constat de première importance demeure, cependant, la montée en puissance de la fréquence des TNN mensuelles associées aux circulations de Sud, qui pose la question et l'hypothèse, dans le contexte du changement climatique, d'un « glissement » des mois d'avril et de mai davantage à l'intérieur de la saison chaude. La poursuite de cette étude est donc envisagée suivant plusieurs pistes :

- affiner l'analyse sur certaines régions à cultures « sensibles », par un réseau de stations disponibles permettant une couverture spatiale la plus dense possible.
- élargir l'étude aux températures extrêmes maximales. Les impacts négatifs des vagues de chaleur de l'été 2019 sur certains vignobles, visibles aussi en Bourgogne du Nord, incitent à appliquer ce travail aux températures extrêmes maximales des mois d'été ;
- mesurer les impacts des températures extrêmes (mini et maxi) sur la végétation, à travers la phénologie végétale (PHOTOPHENO-21[82]).

Olivier Planchon et al

82. O. Planchon, O. Cantat et B. Bois, « Variabilité climatique printanière et phénologie végétale en Auxois : exemple d'Alise-Sainte-Reine (Côte-d'Or) », *Revue Scientifique Bourgogne-Franche-Comté Nature*, 2019, 29-2019 : p. 341-356.