



HAL
open science

Variabilité climatique printanière et phénologie végétale en Auxois : exemple d'Alise-Sainte-Reine (Côte-d'Or)

Olivier Planchon, Olivier Cantat, Benjamin Bois

► To cite this version:

Olivier Planchon, Olivier Cantat, Benjamin Bois. Variabilité climatique printanière et phénologie végétale en Auxois : exemple d'Alise-Sainte-Reine (Côte-d'Or). 15es Rencontres Bourgogne-Franche-Comté Nature, Oct 2018, Saint-Brisson, France. pp.341-356. hal-02438657

HAL Id: hal-02438657

<https://hal.science/hal-02438657>

Submitted on 30 Sep 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Variabilité climatique printanière et phénologie végétale en Auxois : exemple d'Alise-Sainte-Reine (Côte-d'Or)

Olivier PLANCHON^{1,2}, Olivier CANTAT³ & Benjamin BOIS⁴

¹ CNRS, Université Rennes-2, UMR 6554 LETG

² CNRS, Université de Bourgogne (Dijon), UMR 6282 Biogéosciences - Olivier.Planchon@u-bourgogne.fr

³ Université de Caen-Normandie, UMR 6554 LETG

⁴ Université de Bourgogne (Dijon), Institut Universitaire de la Vigne et du Vin (IUVV, Dijon), UMR 6282 Biogéosciences

Un suivi photographique est effectué depuis 2011 sur le site viticole d'Alise-Sainte-Reine, dans l'Auxois en Bourgogne du Nord (département de la Côte-d'Or), afin de mettre en évidence des indicateurs permettant d'expliquer la variabilité interannuelle des stades phénologiques de certaines espèces végétales par l'analyse de la variabilité climatique et de la fréquence, succession et durée des types de circulation atmosphérique et de temps. Les photos prises au début du mois de mai montrent une différence sensible entre d'une part les années 2011 et 2018, et d'autre part les années 2016 et 2017. Sur la vigne de la parcelle sélectionnée et les arbres environnants, le déploiement des feuilles apparaît déjà bien avancé en 2011 et 2018 comparé à 2016 et 2017 à la même époque. Le développement saisonnier de la végétation apparaît même particulièrement précoce en 2011 par rapport aux trois autres années. L'analyse de la fréquence d'apparition des types de circulation atmosphérique et de leurs manifestations en termes de types de temps sur la région, de janvier à avril, permet d'expliquer le fort décalage phénologique entre 2011-2018 et 2016-2017, ainsi que la précocité très marquée de 2011, mais pas les nuances de détail observées en 2016 et 2017.

Mots-clés : climatologie régionale, indicateurs phénologiques, types de circulation atmosphérique, types de temps, variabilité interannuelle.

1. Introduction

La phénologie est l'étude de l'apparition d'événements annuels périodiques dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières du climat. Chez les végétaux, les différentes étapes constituant ces événements sont entre autres le développement foliaire, la floraison et la fructification, ou encore la maturation des fruits (BLOESCH et VIRET, 2008).

De nombreuses études ont déjà montré l'intérêt des données de phénologie végétale pour appuyer les recherches sur la variabilité et le(s) changement(s) climatiques. Des observations phénologiques sont attestées en Chine dès le XI^e siècle av. J.-C. (CHEN, 2003). Durant la période des *Six Dynasties* (dynasties du Nord et du Sud, V-VI^e s. ap.

J.-C.) furent effectués des relevés des dates de floraison de l'abricotier, de l'apparition des feuilles de jujubier et du flétrissement des fleurs de mûrier (DOMRÖS & GONGBING, 1988). Ces observations anciennes sont autant de sources de données *proxy* précieuses pour les reconstructions paléoclimatiques (ZHU, 1973 ; GONG *et al.*, 1984 ; HAMEED & GONG, 1994 ; GE *et al.*, 2003). Au Japon, dans les jardins impériaux de Kyoto, la date d'apparition des premières fleurs de cerisiers est notée depuis l'an 705 ap. J.-C., record d'ancienneté et de longévité pour une série de données phénologiques actuelle (SEKIGUCHI 1969 ; AONO & KAZUI, 2008). En Europe, où les observations phénologiques écrites sont plus récentes qu'en Extrême-Orient, des études pluri-séculaires sont cependant possibles (RUTISHAUSER *et al.*, 2008) ; les dates de vendanges, notamment, ont déjà été utilisées dans le cadre d'études du climat depuis l'époque médiévale (LE ROY LADURIE, 1967 ; MOŽNÝ *et al.*, 2016). En Bourgogne, par exemple, des registres de dates de vendanges existent depuis 1370 (CHUINE *et al.*, 2004). Compte tenu de l'existence de sources documentaires analogues dans d'autres régions viticoles européennes, une comparaison inter-régionale (Autriche, Suisse et Bourgogne, de 1523 à 2007) a même été publiée à l'aide de ces données d'observations anciennes (MAURER *et al.*, 2011).

Les observations phénologiques constituent un appui à l'étude de la variabilité climatique, et sont, en ce sens, un « indicateur » de cette variabilité. Les données de phénologie végétale, si elles sont effectuées sur des périodes suffisamment longues et avec un réseau d'observation suffisamment dense, permettent d'appuyer non seulement les travaux, analyses et résultats sur la variabilité climatique spatio-temporelle, mais aussi les oscillations pluri-annuelles et les éventuelles tendances climatiques (CAYAN *et al.*, 2001 ; POLTE-RUDOLF, 2003 ; BEHR, 2007 ; GE *et al.*, 2014). Les données de phénologie constituent donc un appui considérable aux données de climatologie statistique et dynamique. En Europe, et tout particulièrement en Europe centrale, la densité et la qualité des réseaux d'observation ont déjà fait l'objet d'études détaillées sur de larges échelles spatiales (RÖTZER & CHMIELEWSKI, 2001 ; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2002 ; MENZEL, 2000 et 2003). De plus, les données phénologiques ont permis d'apporter des précisions sur les manifestations du réchauffement global depuis les dernières décennies du XX^e siècle (MENZEL & FABIAN, 1999 ; PARMESAN & YOHE, 2003 ; MENZEL *et al.*, 2006 ; SCHWARTZ *et al.*, 2006 ; PEÑUELAS *et al.*, 2009 ; SPARKS & MENZEL, 2013 ; CHMIELEWSKI, 2016 ; MA *et al.*, 2018), confirmant en particulier l'existence d'une *rupture statistique* à la fin des années 1980 à l'aide de diverses espèces végétales dont les stades phénologiques sont devenus significativement plus précoces au printemps (AHAS *et al.*, 2002 ; CHMIELEWSKI & RÖTZER, 2002 ; CHMIELEWSKI, 2007 ; AUGUSTIN & ERASMI, 2008 ; ÜNGERSBÖCK *et al.*, 2013 ; MétéoSuisse (1) ; sur la vigne : BOCK *et al.*, 2011 ; GARCÍA de CORTÁZAR-ATAURI *et al.*, 2017). Si l'avancée en précocité des stades phénologiques se poursuit avec le réchauffement climatique global, se pose donc le problème du risque d'une plus grande vulnérabilité des végétaux aux gelées printanières, compte tenu de la variabilité climatique (HÄNNINEN, 1991 ; SCHEIFINGER *et al.*, 2003 ; GU *et al.*, 2008 ; MARTIN *et al.*, 2010 ; HUFKENS *et al.*, 2012 ; AUGSPURGER, 2013 ; MORIN & CHUINE, 2014 ; BIGLER & BUGMANN, 2018 ; LIU *et al.*, 2018 ; VITASSE *et al.*, 2018 ; sur la vigne : MOSEDALE *et al.*, 2015 ; SGUBIN *et al.*, 2018). Ce risque serait toutefois en partie amoindri par l'avancée des stades phénologiques qui rendrait la plante plus résistante lors de la survenue du gel (VITASSE *et al.*, 2014 ; CHARRIER *et al.*, 2015 ; et travaux en cours).

L'analyse de la variabilité climatique en fonction des saisons est essentielle dans toute recherche appliquée à la phénologie des plantes cultivées telles que la vigne, les arbres fruitiers, etc. Un suivi photographique est effectué depuis 2011, durant des périodes clés de la croissance de la végétation, sur des sites viticoles de l'Auxois dans le Nord-Ouest du département de la Côte-d'Or (Région Bourgogne-Franche-Comté). Parmi les espaces consacrés à la viticulture en Bourgogne, celui de la Côte d'Or (au sens strict), et, par extension et dans une moindre mesure, l'ensemble de ceux de Bourgogne orientale, concentrent une grande partie de l'attention des chercheurs (BONNARDOT, 1996 ; CHABIN *et al.*, 2007 ; CHABIN, 2014 ; CUCCIA *et al.*, 2014), tandis que ceux de Bourgogne du Nord sont moins étudiés (CHAPUIS, 2010 ; XU *et al.*, 2012 ; CAMPY, 2017). La vigne était présente dans tout l'Auxois jusqu'au milieu du XIX^e siècle, puis l'exode rural et la crise phylloxérique (et le mildiou en 1910) entraînèrent la quasi-disparition du vignoble (ABRIC, 1988) jusqu'à sa « renaissance » sur quelques communes (par exemple à Viserny / Villaines-les-Prévôtes), à partir du début des années 1990 (CAVEROT, 2010 ; CHAPUIS, 2010).

2. Principaux caractères géographiques et climatiques de l'Auxois

Situé dans le Centre-Est de la France, l'Auxois couvre environ 1 800 km², au contact, par dépression périphérique, entre le massif ancien (hercynien) du Morvan (extrémité nord du Massif central), au nord-est de ce massif, et les terrains sédimentaires secondaires (essentiellement jurassiques : MASSON, 2014) du sud-est du Bassin parisien (plateau Bourguignon et « Montagne » pour sa partie méridionale et la plus élevée), dans l'ouest du département de la Côte-d'Or (GIORGIS *et al.*, 2010) ; voir figure 1. L'Auxois s'étend non seulement sur la dépression périphérique du même nom (BARDET, 2010), parsemée de buttes calcaires, mais aussi sur la bordure sud-occidentale du plateau Bourguignon, entaillée, dans le « Haut-Auxois », par les vallées encaissées de la Brenne et de ses affluents (Oze et Ozerain). Ce plateau calcaire jurassique domine la dépression marno-calcaire par une cuesta (BRUNET et CLAVAL, 1973) exposée au sud ou au sud-ouest (dénivellation de 60 à 150 m du nord au sud). L'ensemble de la région s'élève progressivement du NO au SE, entre 300 et 600 mètres d'altitude sur les plateaux. Le réseau hydrographique est dirigé quasi exclusivement vers le bassin-versant de la Seine, incluant essentiellement le bassin-versant de l'Armançon jusqu'à la confluence avec la Brenne. Quelques cours d'eau prenant leur source dans le sud de la région sont tributaires des bassins-versants de la Loire (bassin-versant de l'Arroux, affluent de la Loire) et du Rhône (bassin-versant de l'Ouche, affluent de la Saône). L'Armançon quitte la région à 194 m d'altitude.

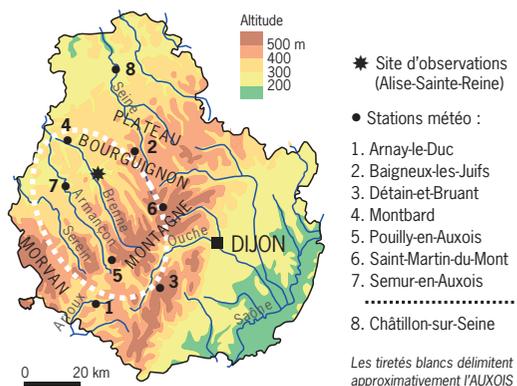


Figure 1. Carte du département de la Côte-d'Or : relief, principaux cours d'eau, localisation du site d'observations photographiques (Alise-Sainte-Reine) et des stations météorologiques de référence. Fond de carte réalisé à l'aide de l'Atlas départemental Larousse, Paris (1983).

Le climat de la Bourgogne s'insère, d'après la classification de Köppen, dans le vaste domaine tempéré sans saison sèche, à hivers doux et à étés frais (*Cfb*), qui couvre la plus grande partie de l'Europe occidentale et centrale. Plus précisément, le climat océanique caractéristique de l'Europe de l'Ouest est soumis, sur les marges sud-orientales du Bassin parisien, aux effets combinés de la continentalité et de l'altitude croissante vers le S.-E., qui accentuent la rigueur des hivers et augmentent le volume des précipitations en toutes saisons (PÉDELABORDE, 1957 ; ESCOURROU, 1982 ; PAGNEY, 1988 ; JOLY *et al.*, 2010). La topographie accidentée de l'Auxois ajoute des différences locales, en fonction de l'altitude et des effets d'exposition (KESSLER & CHAMBRAUD, 1986).

Une sélection de quelques stations météorologiques du réseau de Météo-France (tableau I : données extraites de la *Publithèque* de MF) réparties sur la dépression périphérique et la bordure du plateau bourguignon et « Montagne », à des altitudes variant de 209 m pour la plus basse (Montbard) et 590 m pour la plus élevée (Détain-et-Bruant) permet d'avoir un aperçu à peu près complet des conditions climatiques d'ensemble de la région et de ses nuances, que l'on peut résumer à l'aide de diagrammes ombro-thermiques (figure 2).

La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est comprise entre 1 et 4 °C ; celle du mois le plus chaud (juillet) entre 18 et 20 °C ; la température moyenne annuelle varie de 9 à 11 °C. L'abaissement de la température en fonction de l'élévation en altitude est le critère essentiel de variation spatiale de la

Tableau I. Liste des stations météorologiques de référence (Météo-France / Publithèque).

Stations inscrites en gras et italique : stations de référence dont les données ont été utilisées pour l'étude proprement dite ; la station de Châtillon-sur-Seine étant située à l'extérieur de la région concernée.

| Station | Latitude | Longitude | Altitude |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Arnay-le-Duc | 47°07'30" N | 04°29'54" E | 390 m |
| Baigneux-les-Juifs | 47°36'00" N | 04°38'42" E | 415 m |
| Détain-et-Bruant | 47°10'18" N | 04°47'24" E | 590 m |
| Montbard | 47°37'42" N | 04°19'48" E | 209 m |
| Pouilly-en-Auxois | 47°15'00" N | 04°33'36" E | 412 m |
| Saint-Martin-du-Mont | 47°24'00" N | 04°46'48" E | 578 m |
| Semur-en-Auxois | 47°28'55" N | 47°20'24" E | 314 m |
| Châtillon-sur-Seine | 47°50'58" N | 04°34'53" E | 262 m |

température à l'échelle de l'ensemble de la région. Du fait de la topographie accidentée de la région, et de l'exposition des plateaux aux circulations perturbées d'origine atlantique, le volume annuel des précipitations est assez élevé : entre 800 et 1000 mm. Les stations situées dans le fond de la dépression périphérique et des vallées encaissées qui entaillent la bordure occidentale du plateau bourguignon sont les moins arrosées, tandis que les stations situées sur les plateaux reçoivent les précipitations les plus abondantes. La répartition uniforme des précipitations sur l'année reflète l'insertion de la région dans le domaine climatique ouest-européen de type océanique, d'autant plus que l'été, sans mois secs (aucun mois avec $P < 2T$) n'est, nulle part en moyenne, la saison la plus arrosée de l'année. L'automne est la saison la plus arrosée, recevant 26 à 28 % du volume annuel des précipitations. Cependant, l'effet d'abri perceptible sur la pluviométrie des stations situées dans la dépression périphérique se manifeste par le classement de l'hiver comme saison la moins arrosée de l'année à Arnay-le-Duc (22,7 % du total annuel), Pouilly (22,9 %) et Semur-en-Auxois (23,8 %).

Les températures moyennes maximales les plus élevées de l'année avoisinent ou dépassent de peu 25 °C (Montbard est la plus chaude : 26 °C), sauf sur les stations les plus élevées en altitude, sensiblement plus fraîches en été (Saint-Martin-du-Mont : 23,6 °C ; Détain-et-Bruant : 23,7 °C). La température maximale quotidienne peut atteindre et dépasser 25 °C durant 6 à 8 mois selon les stations ; avril étant le premier mois de l'année durant lequel toutes les stations (à l'exception de Détain-et-B.) peuvent enregistrer leur premier jour de « chaleur », au sens de la terminologie en vigueur à *Météo-France*. La chaleur est cependant encore rare et occasionnelle en avril, tout comme le sont les gelées en mai (aucun jour à Détain-et-B. ; 0,1 à 1 jour par an pour les autres stations). Cependant, c'est dès le mois suivant (mai) que peuvent apparaître les premières journées de « forte chaleur », donc avec des températures maximales quotidiennes de 30 °C ou plus (sauf stations les plus élevées : Détain-et-B. et Saint-Martin-du-Mont).

Sur les plateaux, la combinaison de la continentalité, de l'altitude, de certaines caractéristiques topographiques et de la nature calcaire des sols favorise les basses températures minimales, surtout en hiver mais pas seulement. Mis à part la station de Montbard dont les températures moyennes minimales les plus basses sont (de peu !) positives même durant les mois d'hiver, toutes les autres stations enregistrent 2 ou 3 mois hivernaux avec des températures moyennes minimales comprises entre -2 °C et 0 °C. Mais seuls 1 à 4 mois de l'année ignorent le gel sous abri, celui-ci étant partout possible jusqu'en mai, parfois localement et occasionnellement en

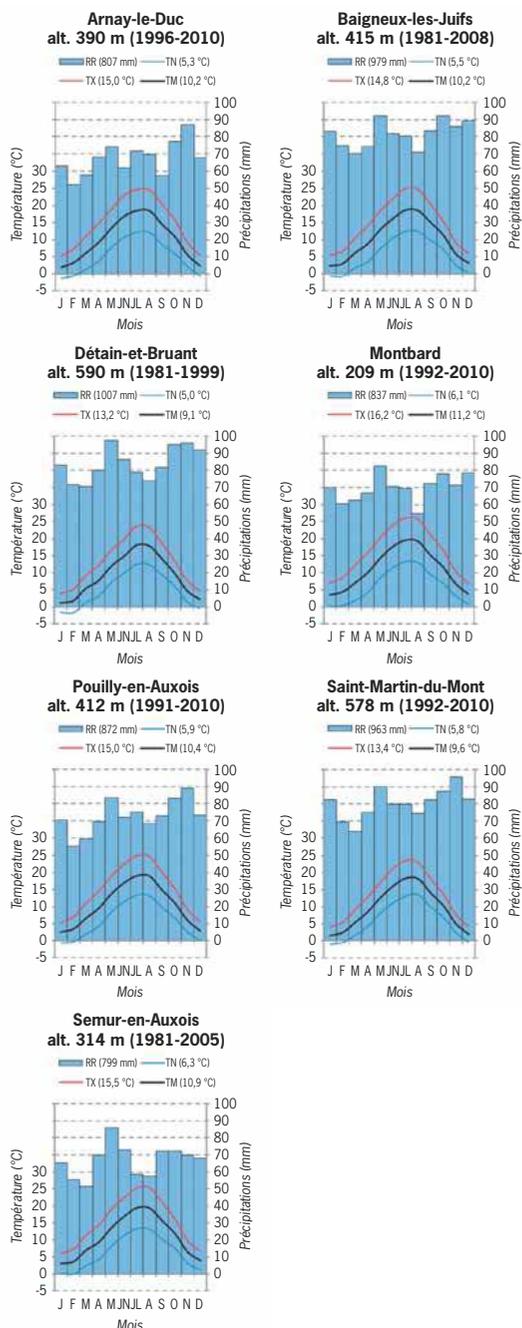


Figure 2. Diagrammes ombro-thermiques des stations météorologiques de référence dans l'Auxois et sur ses bordures. Localisation des stations : Figure 1 ; Coordonnées géographiques des stations : Tableau I. Source des données : Météo-France (Publiothèque).

juin (Arnay-le-Duc, Baigneux-les-Juifs). Sur le plateau, à Baigneux-les-Juifs, juillet est le seul mois de l'année à ne pas connaître le gel sous abri, mais, avec une valeur minimale extrême de 1 °C, les gelées blanches (gel au sol) y sont donc possibles toute l'année ! Le nombre moyen annuel de jours de gel est donc plutôt élevé sur l'ensemble de la région (entre 65 et 85 jours). Si le gel est un phénomène habituel en avril qui en compte entre 3 et 7 jours par an en moyenne selon les stations (4,1 à Semur-en-Auxois), il est rare et occasionnel en mai (0,1 à 1 jour par an ; 0,2 jours à Semur), ce qui rend aléatoires les célèbres et médiatiques « *Saints-de-Glace* », comme l'ont d'ailleurs déjà montré statistiquement H. FLOHN & P. HESS (1949), H.H. LAMB (1964) et P. BISSOLLI & C.D. SCHÖNWIESE (1987), en Allemagne et en Angleterre.

Ce sont surtout les gelées d'avril qui sont les plus dangereuses sur les régions du Centre et de l'Est de la France, comme en témoignent des événements gélifs désastreux pour la vigne, tels ceux du 21 avril 1991 en Champagne et dans le vignoble de Chablis (BISAULT, 1992), liés à une séquence de circulation perturbée de nord du 16 au 24 avril (WERNER & GERSTENGARBE, 2010) ; les gelées des 7 et 8 avril 2003, qui, au terme d'une séquence de circulation perturbée de nord du 2 au 8 avril (WERNER & GERSTENGARBE, 2010), ont provoqué des dégâts dans le vignoble de Champagne (BRICHE *et al.*, 2011) ; l'épisode de gel du 13 avril 2011, en circulation de nord-ouest du 7 au 14 avril (*Deutscher Wetterdienst*), qui a provoqué des dégâts dans le vignoble du Châtillonnais, à l'extrême nord du département de la Côte-d'Or (PLANCHON & ENDLICHER, 2014) ; l'événement du 27 avril 2016, lié à une longue séquence de types de circulation de nord-ouest à nord, du 18 au 30 avril (*Deutscher Wetterdienst*), et aux conséquences d'une rare ampleur géographique (toute la partie centrale de la France, incluant l'ensemble de la Bourgogne : FULLERINGER, 2016 ; MATHIAUD & PATURAUD, 2016) ; et, enfin, plusieurs épisodes de gel en avril 2017 ayant provoqué des dégâts plus particulièrement sur les vignobles de Bourgogne du Nord : Auxerrois, Chablis, Châtillonnais (PATURAUD, 2017 ; TUPINIER & GAUDILLÈRE, 2017).

L'occurrence des gelées est soumise à une forme variabilité interannuelle, par exemple à Semur-en-Auxois, dont la station a enregistré un nombre annuel minimum de 30 jours durant la saison 2000-2001, et un nombre annuel maximum de 100 jours en 1980-1981. Les gelées de printemps et leur forte variabilité interannuelle comptent parmi les points importants traités dans ce travail.

3. Méthodes et données

3.1. Les prises de vues photographiques

Afin d'accompagner la renaissance du vignoble de l'Auxois, un suivi photographique est effectué depuis 2011 sur trois sites viticoles situés sur les communes d'Alise-Sainte-Reine, Hauteroche et Villaines-les-Prévôtes. L'objectif est de constituer une base de données « photo-numériques », afin de chercher des indicateurs permettant d'expliquer la variabilité interannuelle des stades phénologiques de certaines espèces végétales (en particulier la vigne, mais aussi les arbres fruitiers, etc.) par l'analyse de la variabilité climatique et de la fréquence, succession et durée des types de circulation atmosphérique et de temps. Les prises de vues photographiques ont été effectuées à différentes saisons durant certaines périodes clés de la phénologie végétale, par exemple le débourrement et le déploiement des feuilles au printemps. Les observations phénologiques constituent donc, dans ce travail, un appui à l'étude de la variabilité (et changement) climatique, ou encore un « indicateur » de cette variabilité. Ce travail est effectué dans le cadre des activités de la Chaire UNESCO « *Culture et Traditions du Vin* ».

Parmi les trois sites sur lesquels sont effectuées les prises de vues « photo-numériques », celui d'Alise-Sainte-Reine a été retenu pour la présentation des premiers résultats de ce travail. Le site d'Alise-Sainte-Reine est situé sur la Bordure occidentale du Plateau Bourguignon (figure 3a), fortement disséqué par la Brenne et ses affluents (Oze, Ozerain), à proximité de la confluence de ces deux cours d'eau s'écoulant de part et d'autre du Mont Auxois (colline dont le sommet tabulaire, composé de calcaire jurassique, atteint l'altitude maximale de 407 m et abrite le site archéologique d'Alésia). La commune d'Alise-Sainte-Reine est elle-même située sur les pentes du Mont Auxois (latitude : 47°32'15"N ; longitude : 04°29'27"E), de 237 à 407 m d'altitude. Les sept parcelles de vigne faisant l'objet du suivi photographique sont alignées sur le versant

sud du Mont Auxois entre 287 et 313 m d'altitude et sont exposées au sud à sud-sud-ouest. À l'intérêt de disposer de plusieurs parcelles aux conditions voisines d'exposition et d'altitude, s'ajoute l'intercalation de parcelles plantées d'arbres fruitiers (pommiers, poiriers, cerisiers, cognassiers, etc.) entre certaines parcelles de vignes, qui permettra des études comparatives. La parcelle sélectionnée pour ce travail, située sur la partie occidentale du site (exposition au SSO ; figure 3b) s'étend sur une pente de 291 à 296 m d'altitude.

Les photographies sélectionnées ont été prises depuis la limite supérieure de la parcelle, sous les angles suivants (figure 4) :

A) à l'angle NE de la parcelle ; vue vers le sud-ouest ; altitude : 296 m.

B) à l'angle NO de la parcelle ; vue vers le sud-est ; altitude : 296 m.

Les prises de vues photographiques sont centrées sur la parcelle de vignes, mais offrent en même temps une vue d'ensemble du couvert végétal et de l'occupation du sol autour du site d'étude, typique du paysage de l'Auxois contemporain. En effet, l'espace visible sur les photos inclut, à proximité immédiate de la parcelle de vignes, des haies, des arbres fruitiers, et au-delà, des prairies et des bois (forêt de feuillus sur le versant opposé). Le principal intérêt de présenter des clichés sur lesquels sont visibles, sur une même prise de vue, des vignes et d'autres espèces végétales, cultivées ou non, est de bénéficier dans ce cas de la diversité des observations en vue d'une analyse comparée, par exemple la vigne et les arbres fruitiers (BISSOLLI *et al.*, 2007 ; BRUNS, 2007). Les quatre années retenues pour cette étude comparée sont celles pour lesquelles les séquences de photographies sont complètes, c'est-à-dire en 2011, 2016, 2017 et 2018. Les informations « photo-numériques » obtenues durant ces quatre années seront de ce fait utilisées à nouveau dans le cadre d'autres travaux et analyses ultérieures.

3.2. Les données climatiques

L'interprétation climatique a été effectuée sur les mois de janvier à avril, à l'aide de données extraites de la base de données de Météo-France (*Publi-thèque* ; période de référence 1981-2010). Les données ont été récupérées sur les quatre mois précédents les observations, car la succession et l'enchaînement des types de temps depuis janvier peuvent avoir des répercussions sur la phénologie printanière (URHAUSEN *et al.*, 2011). Si, par exemple, un printemps chaud est précédé d'un hiver doux, l'atténuation du contraste thermique peut contribuer à amortir l'avancée en précocité des stades phénologiques printaniers (ASSE *et al.*, 2018). Les données de températures minimales et maximales moyennes mensuelles proviennent de la station de Semur-en-Auxois (voir tableau I), station météorologique mesurant la température la plus proche du site d'étude (environ 15 km), à une altitude très voisine de celles des prises de vues photographiques (environ 300 m). Le rôle de l'ensoleillement sur la phénologie doit aussi être pris en compte (URHAUSEN, 2011). En l'absence de mesures d'ensoleillement dans les stations de l'Auxois, les données de durée d'ensoleillement (mensuelle, en heures) proviennent de la station de Châtillon-sur-Seine, située à 47 km plus au nord (voir tableau I).

Afin de relier les conditions climatiques stationnelles à la dynamique atmosphérique d'échelle synoptique, durant la même période de janvier à avril, le calcul de la fréquence des types de circulation atmosphérique sur l'Europe a été effectué au moyen de la classification de *Hess-Brezowsky* archivée et mise à jour au Deutscher Wetterdienst (DWD), service météorologique de la République Fédérale d'Allemagne.

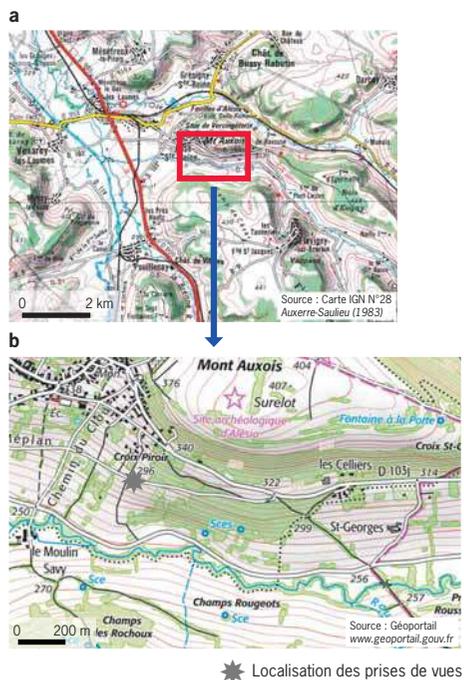


Figure 3. Cartes topographiques détaillées du site d'étude et de ses environs. a) le Mont Auxois et ses environs ; b) versant sud du Mont Auxois et localisation des prises de vues photographiques.



Photographies d'Olivier Paucot

Figure 4. Sélection de photographies numériques prises à Alise-Sainte-Reine, depuis la limite supérieure de la parcelle sélectionnée (localisation : voir figure 3b), sous les angles suivants :
 A) à l'angle N.-E. de la parcelle ; vue vers le sud-ouest ; altitude : 296 m.
 B) à l'angle N.-O. de la parcelle ; vue vers le sud-est ; altitude : 296 m.

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

L'étude de la variabilité des types de circulation atmosphérique d'échelle synoptique sur l'Europe est possible grâce au fichier des types de circulations de Hess et Brezowsky (HESS & BREZOWSKY, 1952 ; WERNER & GERSTENGARBE, 2010). Cette classification est fréquemment utilisée pour caractériser la circulation atmosphérique et sa variabilité sur l'Océan Atlantique Nord et l'Europe. De nombreuses références sont citées notamment par P.C. WERNER & F.-W. GERSTENGARBE (2010). La méthode de Hess et Brezowsky est fondée sur le champ de pression au niveau de la mer et vers 5000 m d'altitude (géopotentielle à 500 hPa) au-dessus de l'Océan Atlantique Nord et de l'Europe. La classification identifie 29 types de circulations ou *Großwetterlagen* (GWL : tableau II), pouvant être regroupés en trois classes (zonale, mixte et méridienne) ou cinq classes (5 *Großwettertypen* : tableau II) : Ouest (W), Sud (S), Nord-Ouest & Nord (NW & N), Nord-Est & Est (NE & E), Centre d'action sur l'Europe centrale (CE). Le catalogue des GWL, archivé et mis à jour par le *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung* (PIK) jusqu'en 2009 (WERNER & GERSTENGARBE, 2010), est, depuis 2003, mis à jour en continu et publié par le *Deutscher Wetterdienst*. Grâce à la longue série des GWL (depuis 1881), le catalogue des GWL quotidiens a été utilisé pour diverses études statistiques de fréquence, persistance et probabilité de transition entre les GWL (BÁRDOSSY & CASPARY, 1990 ; KLAUS, 1993 ; KYSELY & HÜTH, 2006 ; PLANCHON & BONNARDOT, 2012). La classification de Hess-Brezowsky et le catalogue de GWL ont déjà été utilisés dans des travaux traitant de l'impact des types de circulations générant des gelées sur des régions viticoles européennes (QUÉNOL *et al.*, 2008 ; PLANCHON *et al.*, 2009 ; PLANCHON *et al.*, 2015). L'accent a, jusqu'à présent, surtout été mis sur le printemps, saison la plus sensible pour la vigne (mais aussi les vergers). Un travail préliminaire sur les applications envisageables sur la phénologie et les problèmes de saisonnalité (PLANCHON & ENDLICHER, 2014), a permis de montrer la complexité de ce type de recherche, la diversité des types de données à traiter, mais aussi les différentes démarches possibles, parmi lesquelles un suivi photographique des sites d'étude.

Tableau II. Liste des types de circulation de la classification de Hess-Brezowsky.

| Types (GWL) et grands types (GWT) | Abbrev. |
|---|---------|
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |
| 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 |

4. Résultats

4.1. Bilan des prises de vues photographiques du printemps 2011-2018 et 2016-2017

4.1.1. Deux années « relativement précoces » : 2011 et 2018

Les années 2011 et 2018 se distinguent des années 2016 et 2017 par la relative précocité de la végétation (feuillage sur les vignes et les arbres), surtout en 2011 : 8 à 12 feuilles étalées sur chaque cep (figures 4A1 & 4B1). Le stade de feuillaison apparaît plus avancé en 2011 qu'en 2018 (figures 4A2 & 4B2). En 2018, le feuillage des vignes est moins dense qu'en 2011 et le stade de feuillaison semble visiblement moins avancé,

aussi, sur des arbres de la parcelle voisine à l'est (certains arbres fruitiers sont encore partiellement dénudés) et dans la forêt qui couvre le versant opposé (figure 4B2). De plus, les prés sont encore partiellement fleuris sur le versant opposé (figure 4B2). Sur l'ensemble des vignobles bourguignons, l'année 2011 a été remarquable par la précocité des stades végétatifs de la vigne, et la rapidité de son développement : début avril, le débourrement s'est déroulé en seulement quelques jours, suivi d'un stade de mi-débourrement (50 % de pointes vertes) à près de trois semaines d'avance par rapport à la moyenne de la période 1994-2010 (PATURAUD, 2011). L'ensemble des prises de vues sélectionnées à Alise-Sainte-Reine montre que le déploiement précoce et rapide des feuilles s'est manifesté ainsi sur tous les autres végétaux au printemps 2011. Les communiqués de presse du BIVB indiquent, en 2018, un débourrement très rapide, mais moins précoce qu'en 2011 (MATHIAUD, 2018), qui peut expliquer ainsi le décalage observé entre les prises de vues de ces deux années à Alise-Sainte-Reine. L'« *indice du printemps* » développé par MétéoSuisse (1) comme mesure du développement de la végétation, à l'aide des stades phénologiques de dix plantes d'espèces différentes, de janvier à mai, confirme la précocité de 2011 par rapport à 2018.

4.1.2. Deux années « relativement tardives » : 2016 et 2017

Les années 2016 et 2017 se distinguent par un net retard de la végétation par rapport à 2011 et 2018, avec seulement quelques pousses éparées sur les vignes (figures 4A3-4 & 4B3-4). Les communiqués de presse du BIVB indiquent des dates de débourrement proches de la moyenne décennale en 2016 (à partir de début avril : MATHIAUD & PATURAUD, 2016), mais rapide et précoce en 2017, à partir de fin mars (PATURAUD, 2017). L'« *indice du printemps* » de MétéoSuisse (1) confirme la précocité de 2017 par rapport à 2016. Sur l'ensemble de l'espace visible sur les photos prises à Alise-Sainte-Reine en 2016 et 2017 (figures 4A3-4 et 4B3-4), on peut pourtant remarquer davantage d'arbres encore dénudés en 2017 qu'en 2016, par exemple face à l'angle S.-O. de la parcelle de vigne (figure 4A4), ou encore dans la haie d'arbres à mi-pente sur le versant opposé (figure 4B4). Certains arbres fruitiers sont encore en fleurs en 2016 sur la parcelle voisine à l'est (face à l'angle S.-E. de la parcelle de vigne : figure 4B3), indiquant qu'il s'agit probablement de cognassiers. Dans les régions de basse altitude du Val de Loire à la Rhénanie, la pleine floraison du cerisier se produit, en moyenne depuis la fin des années 1980, vers fin mars / début avril, suivie de celle du poirier, puis de celle du pommier durant la deuxième quinzaine d'avril, et enfin du cognassier en mai (ROSENBLATT & CHRISTANDL, 2003 ; LEGAVE *et al.*, 2008 ; CHMIELEWSKI *et al.*, 2010 ; MétéoSuisse (2) ; PhaenoNet ; RUESS, 2018). Ce décalage des stades phénologiques du cognassier par rapport aux autres arbres fruitiers présents sur le site d'étude se voit donc nettement en 2016 (arbres encore en fleurs). L'état d'avancement de la végétation en 2011 est tel que tous les arbres sont déjà uniformément couverts de feuilles.

Si certains arbres à feuilles caduques semblent indiquer, sur les photos prises à Alise-Sainte-Reine, une avance du développement de la végétation au début de mai 2016 par rapport à début mai 2017, la vigne et certains arbres fruitiers (cognassier) semblent avoir connu une croissance végétative proche de la moyenne en 2016. Or, la précocité de la vigne préalablement observée ailleurs en bourgogne en 2017 ne se voit pas au début du mois de mai à Alise-Sainte-Reine. Les multiples nuances observables sur l'ensemble des végétaux visibles sur les photos sont donc parfois contradictoires, et ainsi ne permettent pas de confirmer et préciser un degré de précocité entre les deux années. Certains événements survenus en avril ont donc vraisemblablement perturbé le développement de la végétation, à des degrés d'intensité divers selon les espèces.

4.2. Quatre débuts d'années aux conditions météorologiques et climatiques très variées

4.2.1. Combinaison mensuelle des éléments climatiques dans leur succession de janvier à avril

Le début des quatre années étudiées a été caractérisé par des conditions météorologiques et climatiques très diverses, tant par les types de temps observés que par les types de circulation atmosphérique d'échelle synoptique impliqués. Les principaux caractères

climatiques successifs de chaque mois montrent déjà à quel(s) point(s) le rapprochement apparent de 2011 et 2018 d'une part, 2016 et 2017 d'autre part, doit être fortement nuancé (figure 5, tableaux III et IV).

L'année 2011 (figure 5a ; tableaux III et IV) démarre « normalement », puis la température s'élève progressivement en devenant supérieure aux normales dès février, jusqu'à atteindre, en avril, la moyenne des maximales quotidiennes la plus anormalement élevée des quatre années étudiées avec environ 20 °C. Après avoir été déficitaire en janvier et février, l'ensoleillement devient fortement excédentaire en mars et avril. L'année 2018 (figure 5b ; tableaux III et IV) démarre avec un mois de janvier aux températures anormalement élevées, tant minimales que maximales. Puis, après une fin d'hiver et un début de printemps anormalement froids (surtout en février, mais mars est encore en-dessous des normales), les températures s'élèvent brusquement pour atteindre, en avril, des valeurs moyennes comparables à celles de 2011 (et sans gel). Cependant, mars et même avril enregistrent des valeurs d'ensoleillement sensiblement moins élevées qu'en 2011.

L'hiver 2016 (figure 5c ; tableaux III et IV), le plus doux en Bourgogne depuis 1900 (MATHIAUD & PATURAUD, 2016), est suivi par un début de printemps anormalement frais (incluant 16 jours de gel en mars), l'ensoleillement étant déficitaire sur l'ensemble des quatre premiers mois de l'année. Bien qu'avril étant anormalement frais, son faible ensoleillement n'a affecté que la moyenne des températures maximales, celle des minimales et du nombre de jours de gel étant conformes aux valeurs « normales ». L'année 2017 (figure 5d ; tableaux III et IV) commence avec un mois de janvier froid mais plus ensoleillé que la normale. La température s'élève ensuite d'abord rapidement, en février et mars dont les températures sont supérieures aux normales, puis avril est caractérisé par des minimales quotidiennes remarquablement basses (contrairement à la configuration moyenne d'avril 2016), avec le nombre de jours de gel le plus élevé des mois d'avril des quatre années, et plus du double de la valeur moyenne (9 jours). Pourtant, avec un ensoleillement fortement excédentaire, avril 2017 est le deuxième mois d'avril le plus ensoleillé des quatre années étudiées après 2011.

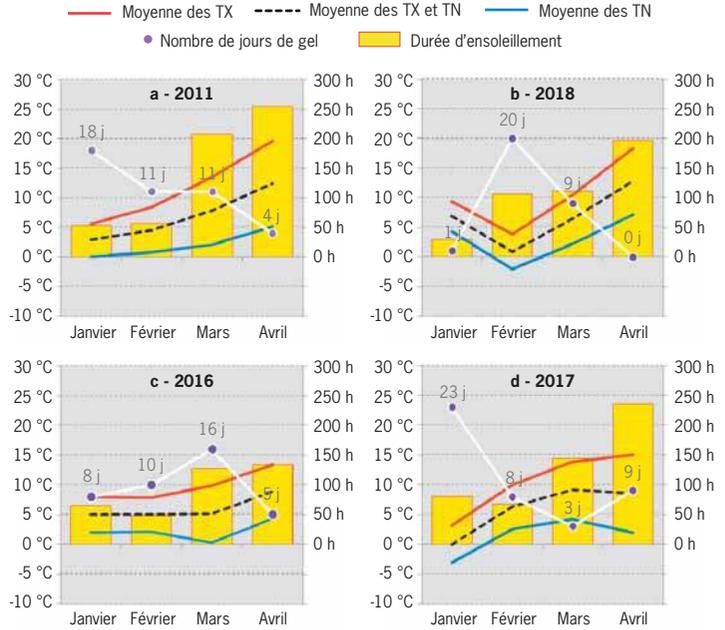


Figure 5. Températures moyennes et nombre de jours de gel à Semur-en-Auxois et ensoleillement à Châtillon-sur-Seine : valeurs mensuelles de janvier à avril, pour les quatre années étudiées (2011 et 2018, 2016 et 2017). a) janvier à avril 2011 ; b) janvier à avril 2018 ; c) janvier à avril 2016 ; d) janvier à avril 2017.

Tableau III. Anomalies de température à Semur-en-Auxois (en °C, période de référence : 1981-2010).

| Année | °C | Janvier | Février | Mars | Avril |
|-------|----|---------|---------|------|-------|
| 2011 | TX | -0,2 | +1,1 | +2,0 | +4,9 |
| | TN | +0,2 | +0,9 | -0,3 | +0,9 |
| 2018 | TX | +3,6 | -3,5 | -1,0 | +3,7 |
| | TN | +4,4 | -1,9 | -0,2 | +2,8 |
| 2016 | TX | +2,2 | +0,6 | -1,6 | -1,3 |
| | TN | +2,1 | +2,2 | -2,1 | 0,0 |
| 2017 | TX | -2,7 | +2,7 | +2,4 | +0,4 |
| | TN | -3,0 | +2,6 | +1,8 | -2,3 |

Tableau IV. Anomalies de durée d'ensoleillement à Châtillon-sur-Seine (en %, période de référence : 1981-2010)

| Année | Janvier | Février | Mars | Avril |
|-------|---------|---------|-------|-------|
| 2011 | -26,9 | -35,7 | +49,2 | +47,3 |
| 2018 | -59,0 | +20,1 | -20,8 | +14,3 |
| 2016 | -10,5 | -45,7 | -8,75 | -22,8 |
| 2017 | +10,0 | -23,6 | +3,5 | +36,6 |

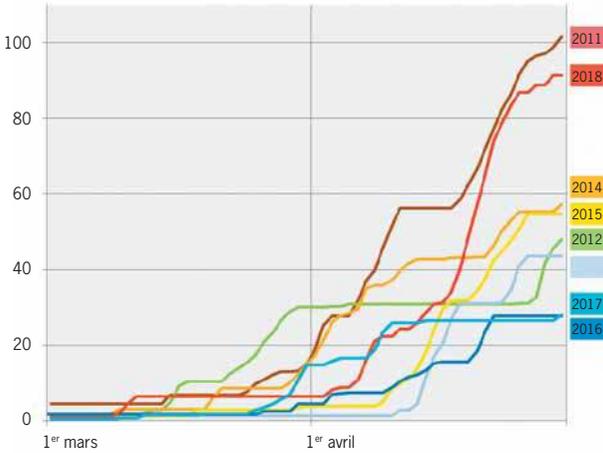


Figure 6. Sommes des températures moyennes quotidiennes $\geq 10^{\circ}\text{C}$ de janvier à avril 2011 à 2018 : zoom sur les mois de mars et avril.

Le calcul de la somme des températures moyennes supérieures ou égales à 10°C sur la période de janvier à avril de toutes les années de la période 2011-2018 confirme le bilan d'ensemble des quatre années étudiées tout en intégrant les nuances essentielles entre chacune des deux années apparemment voisines (figure 6).

Le zoom sur les deux derniers mois (mars et avril) fait ressortir, en premier lieu, la particularité des quatre années étudiées parmi l'ensemble des années de la période de 2011 à 2018. Ainsi, les années 2011 et 2018 enregistrent les sommes de températures de loin les plus élevées, tandis que les années 2016 et 2017 enregistrent les sommes les plus

basses. Plus précisément, la période de janvier à avril se termine par un léger avantage thermique de 2011 par rapport à 2018, grâce aux anomalies thermiques positives de février à avril 2011 (mais négatives en février et mars 2018), tandis que 2016 et 2017 se situent, en fin de période, au même niveau. Cependant, ce même niveau est atteint en 2017 nettement plus précocement qu'en 2016 (février et mars plus chauds en 2017). Ces résultats laissent ainsi entrevoir plus clairement le lien de cause à effet entre les conditions climatiques et les différences de l'état d'avancement du développement de la végétation notées dans le bilan photographique (4.1.).

4.2.2. L'apport de la climatologie dynamique d'échelle synoptique (types de circulation) dans la compréhension des types de temps des quatre débuts d'années étudiés

L'analyse de la fréquence d'apparition des types de circulation atmosphérique et de leurs manifestations en termes de types de temps sur la région, de janvier à avril, permet d'expliquer le fort décalage phénologique entre 2011-2018 et 2016-2017, ainsi que la précocité très marquée de 2011 (figure 7).

La fréquence des circulations de sud est plus élevée de janvier à avril 2011 (25 %) et 2018 (26,7 %) que durant la même période en 2016 (16,5 %) et 2017 (15,8 %), tandis que la fréquence des circulations de nord-ouest & nord est plus basse de janvier à avril 2011 (20 %) et 2018 (6,7 %) que durant la même période en 2016 (37,2 %) et 2017 (30 %). À lui seul, le mois d'avril 2017 a compté 20 jours avec des types de

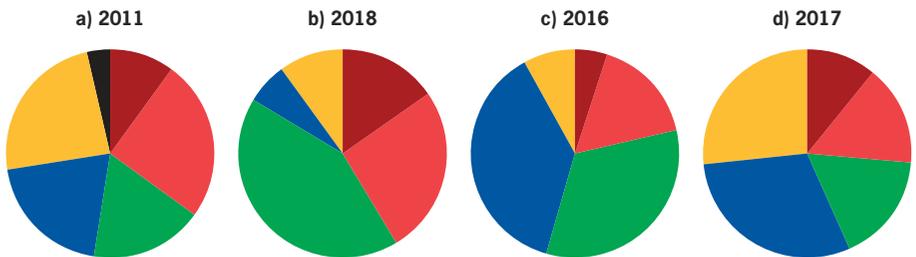


Figure 7. Fréquence des types de circulation atmosphérique (classification de Hess-Brezowsky) : a) période janvier-avril 2011 ; b) période janvier-avril 2018 ; c) période janvier-avril 2016 ; d) période janvier-avril 2017.

Légende des graphiques, codes de types de circulation :

- NE & E : circulations de Nord-Est et d'Est
- S : circulations de Sud
- W : circulations d'Ouest
- NW & N : circulations de Nord-Ouest et de Nord
- CE : situations à Centre d'action sur l'Europe centrale
- Indef. : types de circulation indéfinis / non classés

circulation de nord-ouest & nord et 5 jours avec circulations de nord-est & est (en avril 2016 : respectivement 13 et 0 jours), c'est-à-dire les types de circulation les plus favorables aux gelées nocturnes dans les régions du Bassin parisien et de l'Est de la France (PLANCHON *et al.*, 2009).

La fréquence des types de circulation avec centre d'action principal sur l'Europe centrale est plus élevée de janvier à avril 2011 (24,2 %) que durant la même période en 2018 (10 %), associés exclusivement à des situations anticycloniques, favorables, au printemps, aux types de temps ensoleillés et aux températures maximales élevées. La proportion de situations anticycloniques, tous types de circulation confondus, fait ressortir de loin la période de janvier à avril 2011 (71,7 % du total), suivie par 2017 (40,8 %), 2016 (28,9 %) et enfin 2018 (18,3 %). En 2011, les quatre premiers mois de l'année ont tous connu une occurrence élevée de journées anticycloniques (18 à 25 jours par mois). Si les configurations anticycloniques ne sont pas toujours favorables à un fort ensoleillement hivernal dans les régions du Centre et de l'Est de la France (brouillards ou nuages bas : KESSLER & CHAMBRAUD, 1986), il n'en est pas de même au printemps, ce qui explique, en 2011, le contraste saisissant entre janvier et février, d'une part, et mars et avril d'autre part (tableau IV). Toute la première partie de l'année 2011 est ainsi caractérisée comme étant à la fois « chaude et sèche » (PATURAUD, 2011).

La fréquence des types de circulation avec centre d'action principal sur l'Europe centrale est nettement plus élevée de janvier à avril 2017 (26,7 %) que durant la même période en 2016 (8,3 %), associée à un ensoleillement excédentaire en mars et avril 2017 (respectivement +3,5 et +36,6 %), et un ensoleillement déficitaire en mars et avril 2016 (respectivement -8,8 et -22,8 %). Comme en 2011, ces types de circulation sont exclusivement anticycloniques (HM ou BM), donc favorables aux journées ensoleillées au printemps. Associées aux autres journées anticycloniques, elles ont totalisé 10 jours en avril 2017 contre 5 jours en avril 2016, expliquant ainsi le fort contraste d'ensoleillement entre les deux mois d'avril, mais aussi l'amplitude thermique diurne moyenne plus forte en avril 2017. Entre masses d'air à dominante froide et types de temps ensoleillés, la végétation a donc été exposée, en avril 2017, à des influences météorologiques contradictoires pour son développement.

4.3. Un bilan confirmant la complexité de l'influence du climat sur la phénologie végétale

Les conditions thermiques favorables des débuts d'année de 2011 et 2018 ont activé anormalement rapidement le développement de la végétation. Cependant, à des températures plus élevées en 2011 (dès février) s'est ajouté un ensoleillement plus fortement excédentaire (et de loin) durant les deux mois « clés » de mars et avril. Si le débourrement s'est déroulé très rapidement en 2011 et en 2018, il était, de plus, plus précoce en 2011. En 2017, après un mois de janvier anormalement froid, les anomalies thermiques positives de février et mars, plus fortes encore qu'en 2011, étaient favorables à un débourrement à la fois précoce et rapide, en accord avec les observations de D. ASSE *et al.* (2018). Puis l'ensoleillement excédentaire en mars et surtout en avril (dans une mesure toutefois moindre qu'en 2011) était favorable à une poursuite de cette croissance précoce de la végétation. Pourtant, malgré ces conditions climatiques relativement favorables en 2017, en accord avec l'*indice du printemps* de MétéoSuisse (1), le développement de la végétation apparaît nettement retardé par rapport à 2011 et à 2018, et même légèrement retardé, d'après l'état de certains arbres à feuilles caduques, par rapport à la même époque de l'année en 2016. Les gelées anormalement fréquentes en avril 2017 pourraient avoir eu un impact négatif sur la croissance printanière de la vigne et des autres végétaux, comme cela a été observé en même temps en Suisse et en Allemagne (VITASSE & REBETEZ, 2018). Ainsi, après un démarrage « normal » de la végétation, les gelées d'avril 2016 ont provoqué des dégâts sur les vignobles de Bourgogne du Nord, mais, en avril 2017, la répétitivité des basses températures minimales (avec un nombre de jours de gel quasiment deux fois plus élevé qu'en 2016) a contribué, malgré l'ensoleillement fortement excédentaire, à annuler, voire à inverser, l'avantage climatique de la fin d'hiver / début de printemps 2017 par rapport à 2016 sur la végétation dont le développement était pourtant plus précoce.

5. Conclusion et perspectives

Les campagnes photographiques effectuées à Alise-Sainte-Reine en mai 2011, 2016, 2017 et 2018 mettent en évidence deux groupes distincts d'années. En 2011 et 2018, la feuillaison était très en avance par rapport à 2016 et 2017, mai 2011 apparaissant le plus en avance. Si les conditions climatiques des quatre mois précédents (janvier à avril) expliquent bien les différences d'état de la végétation entre 2011 et 2018 ainsi que la précocité de 2011 par rapport à 2018, les conditions climatiques globalement plus favorables en 2017 qu'en 2016 ne se voient pas sur la végétation. Les gelées plus fréquentes en avril 2017 pourraient être une des explications possibles, ce qui implique une prise en compte des événements extrêmes, y compris les extrêmes « chauds » (voir travaux de J.F. SIEGMUND *et al.*, 2015). Les différences observées entre les végétaux devront être étudiées en tenant compte de chaque espèce et cépage (vigne). Les observations « photo-numériques » effectuées en été et en automne seront aussi étudiées, afin d'avoir une vue d'ensemble de la variabilité interannuelle en tenant compte des autres saisons.

La phénologie est une aide précieuse à l'étude des saisons (LIETH, 1974), et constitue un lien direct avec les « saisons naturelles » fondées sur les données de la climatologie dynamique d'échelle synoptique (LAMB, 1972 ; BARRY & PERRY, 1973 ; BARRY & CARLETON, 2001). Les stades phénologiques de certaines plantes ont permis d'établir des calendriers utilisés pour décrire le cycle annuel des saisons (AHAS & AASA, 2003). Ces calendriers, déclinés en fonction des variantes régionales ou locales des stades phénologiques des plantes de référence, permettent ainsi de développer des études de variabilité spatio-temporelle (MENZEL *et al.*, 2001 ; AHAS & AASA, 2003 ; BISSOLLI *et al.*, 2007). Une correspondance a été établie entre ces calendriers phénologiques et les saisons naturelles, assurant ainsi le lien avec la climatologie dynamique, tout en apportant des précisions supplémentaires au découpage saisonnier initial (ERASMI *et al.*, 2003 ; POLTE-RÜDOLF, 2003 ; BISSOLLI *et al.*, 2007). Ainsi, A. MENZEL *et al.* (2005) ont pu proposer, par exemple, une analyse composite de la date d'arrivée du *Spätfrühling* (fin de printemps ou début d'été) sur une grande partie de l'Europe, en années de type NAO+ et NAO-, sur la période 1879-1998. Le développement d'études combinant étroitement la variabilité climatique (notamment la dynamique atmosphérique) et la phénologie végétale ont déjà permis d'intégrer les problèmes de saisonnalité de façon plus approfondie, par exemple les glissements des saisons en lien avec le changement climatique actuel (CHENG & KALKSTEIN, 1997 ; CAYAN *et al.*, 2001 ; SCHEIFINGER *et al.*, 2002 ; WOLFE *et al.*, 2005).

Sur les sites étudiés dans l'Auxois, les campagnes « photo-numériques » devront donc être poursuivies, à moyen et long terme, sur les trois sites de référence (Alise-Sainte-Reine, Hauteroche et Villaines-les-Prévôtes) et avec les mêmes prises de vues. Des campagnes photographiques sont envisagées à d'autres dates, afin d'affiner certains aspects du développement et de l'évolution de la végétation (floraison, développement puis coloration et chute des feuilles, maturation des fruits). Un premier test a été effectué durant la fin de l'été et l'automne 2018 à Alise-Sainte-Reine. Pour un suivi régulier de l'avancement des stades phénologiques, nous envisageons également la pose, sur des points fixes, d'appareils photographiques automatiques (de type caméra de chasse Force10 de Spypoint), cadencés à une ou plusieurs images par jour.

Remerciements

Nous tenons à remercier Jacques et Marianne PLANCHON (21500 Montbard), grâce à qui nous avons eu connaissance des sites d'étude, et qui ont eu la gentillesse de nous y conduire pour y effectuer les campagnes de photographies.

Bibliographie

- ABRIL L. 1988. Le vin de l'Auxois, histoire d'un vignoble. Éditions de l'Armançon, Précy-sous-Thil, 92 p.
- AHAS R., AASA A., MENZEL A., FEDOTOVA V.G. & SCHEIFINGER H. 2002. Changes in European spring phenology. *International Journal of Climatology* 22: 1727-1738.
- AHAS R. & AASA A. 2003. Developing comparative phenological calendars. In : SCHWARTZ M.D. Phenology: an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London: Chapter 4.6, 301-318.
- ANO Y. & KAZUI K. 2008. Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology* 28(7): 905-914.
- ASSE D., CHUINE I., VITASSE Y., YOCOZ N.G., DELPIERRE N., BADEAU V., DELESTRADÉ A. & RANDIN C.F. 2018. Warmer winters reduce the advance of tree spring phenology induced by warmer springs in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology* 252: 220-230.
- Atlas Départemental, 1983. Librairie Larousse, Paris, 314 p.
- AUGSPURGER C.K. 2013. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing. *Ecology* 94: 41-50.
- AUGUSTIN J. & ERASMI S. 2008. Klimawandel – Apfelblüte macht das Regional-klima sichtbar. *NAD aktuell* 5, Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig: 3 p. + 3 graphiques et 4 cartes.
- BARDET O. 2010. Flore et habitats remarquables de l'Auxois. *Conservatoire des Sites Naturels Bourguignons - Territoires Naturels de Bourgogne* 3: 17-22.
- BÁRDOSY A. & CASPARY H.J. 1990. Detection of climate change in Europe by analysing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989. *Theoretical and Applied Climatology* 42: 155-167.
- BARRY R.G. & CARLETON A.M. 2001. Synoptic and dynamic climatology. Routledge, New York, 620 p.
- BARRY R.G. & PERRY A.H. 1973. Synoptic climatology – Methods and Applications. Methuen & Co Ltd, London, 555 p.
- BEHR H.D. (sous la direction de) 2007. *Phänologie*. Deutscher Wetterdienst: *Promet*, 33. Jahrgang, Heft 1/2, 80 p.
- BIGLER C. & BUGMANN H. 2018. Climate-induced shifts in leaf unfolding and frost risk of European trees and shrubs. *Scientific Reports* 8(9865): 10 p.
- BISACULT L. 1992. Le vin en 1991 : une année marquée par le gel. *INSEE PREMIÈRE* 199, 4 p. <http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/9956/3/ip199.pdf>
- BISSOLLI P., MÜLLER-WESTERMEIER G. & POLTE-RUDOLF C. 2007. Aufbereitung und Darstellung phänologischer Daten. In : BEHR, H.D. (ed.) *Phänologie*. Deutscher Wetterdienst, *Promet*, 33. Jahrgang, Heft ½: 14-19.
- BISSOLLI P. & SCHÖNWIENE C.D. 1987. Singularitäten in der Bundesrepublik Deutschland 1946-1986. Vorläufige Ergebnisse einer statistischen Analyse anhand ausgewählter Stationen. *Meteor. Rundsch.* 40: 147-155.
- BLOESCH B. & VIRET O. 2008. Stades phénologiques repères de la vigne. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 40(6): I-IV.
- BOCK A., SPARKS T.H., ESTRELLA N. & MENZEL A. 2011. Changes in the phenology and composition of Franconian wine (Germany). *Climate Research* 50: 69-81.
- BONNARDOT V. 1996. Le climat et la vigne en Bourgogne orientale. Thèse de doctorat de géographie, Université de Bourgogne, Dijon, 236 p.
- BRICHE É., QUÉNOL H. & BELTRANDO G. 2011. Changement climatique dans le vignoble champenois - L'année 2003, préfigure-t-elle les prévisions des modèles numériques pour le XXI^e siècle ? *L'Espace géographique* 2011(2/40): 164-175.
- BRUNET R. & CLAVAL F. 1973. Bourgogne, Franche-Comté. Librairie Larousse, Paris, 80 p.
- BRUNS E. 2007. Phänologische Beobachtungsnetze heute und gestern. In : BEHR, H.D. (ed.) : *Phänologie*. Deutscher Wetterdienst, *Promet*, 33. Jahrgang, Heft 1/2, 2-6.
- CAMPY M. 2017. La variété des sols viticoles de France, à l'origine de la (bio)diversité des cépages actuels ? *Revue scientifique Bourgogne-Nature* 25: 115-129.
- CAVEROT D. 2010. Présentation du paysage agricole de l'Auxois. *Conservatoire des Sites Naturels Bourguignons - Territoires Naturels de Bourgogne* 3: 13-14.
- CAYAN D.R., KAMMERDIENER S.A., DETTINGER M.D., CAPRIO J.M. & PETERSON D.H. 2001. Changes in the onset of spring in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82(3): 399-415.
- CHABIN J.-P. 2014. La vigne face au changement climatique : éléments de réflexion dans l'optique de la biodiversité. *Revue scientifique Bourgogne-Nature* 19: 127-141.
- CHABIN J.-P., MADELIN M. & BONNEFOY C. 2007. Les vignobles beunois face au réchauffement climatique. Actes du colloque « Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? », Chaire Unesco « Culture et Traditions du Vin », Dijon & Beaune: 28-30 mars 2007, 13 p.
- CHAPUIS C. 2010. Renaissance de vignobles bourguignons. *Pays de Bourgogne* 224: 3-17.
- CHARRIER G., NGAO J., SAUDREAU M. & AMEGLIO T. 2015. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science* 6: 259.
- CHEN X. 2003. East Asia. In : SCHWARTZ, M.D. Phenology: an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London: Chapter 2.1, 11-25.
- CHENG S. & KALKSTEIN L.S. 1997. Determination of climatological seasons for the east coast of the U.S. using an air mass-based classification. *Climate Research* 8: 107-116.
- CHMIELEWSKI F.-M. 2007. Phänologie – ein Indikator zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre. In : BEHR, H.D. (ed.) *Phänologie*. Deutscher Wetterdienst, *Promet*, 33. Jahrgang, Heft 1/2, 28-35.
- CHMIELEWSKI F.-M. 2016. Einfluss des Klimawandels auf die Phänologie von Pflanzen und Tieren. In : LOZAN J.L., BRECKLE S.-W., MÜLLER R. & RACHOR E. (eds.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*, 158-163.
- CHMIELEWSKI F.-M., BLÜMEL K. & HENNINGES Y. 2010. Climate Change and Possible Late Frost Damages to Apple Trees in Germany. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* 20: 50-56.
- CHMIELEWSKI F.-M. & RÖTZER T. 2002. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Climate Research* 19: 257-264.
- CHUINE I., YIOU P., VIOUV N., SEGUIN B., DAUX V. & LE ROY LADURIE E. 2004. Historical phenology: Grape ripening as a past climate indicator. *Nature* 432: 289-290.
- CUCCIA C., BOIS B., RICHARD Y., PARKER A.K., GARCIA de CORTAZAR-ATAURI I., van LEEUWEN C. & CASTEL T. 2014. Phenological model performance to warmer conditions : application to pinot noir in Burgundy. *Journal international des sciences de la vigne et du vin* 48: 169-178.
- DEUTSCHER WETTERDIENST : Großwetterlage. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/grosswetterlage/grosswetterlage.html>
- DOMRÖS M. & GONGBING P. 1988. The climate of China. Springer-Verlag, Berlin, 360 p.
- ERASMI S., FEIDEN K. & KAPPAS M. 2003. Wild- und Kulturpflanzen als Indikatoren für das Regional-klima. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig.
- ESCOURROU G. 1982. Le climat de la France. *Que sais-je ?* N° 1967, P.U.F., Paris, 128 p.
- FLOHN H. & HESS P. 1949. Großwetter-Singularitäten im jährlichen Witterungsverlauf Mitteleuropas (Statistisch-synoptische Untersuchungen 2). *Meteorol. Rdsch.* 2: 258-263.

- FULLERINGER J. 2016. 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-gelées-d-avril-ont-touché-1-300-hectares-de-vignes-dans-l-yonne_11901326.html#fresh
- GARCÍA de CORTÁZAR-ATAURI I., DUCHÈNE E., DESTRAC-IRVINE A., BARBEAU G., de RESSÉQUIER L., LACOMBE T., PARKER A.K., SAURIN N. & VAN LEEGWEN C. 2017. Grapevine phenology in France : from past observations to future evolutions in the context of climate change. *OENO One* 51(2): 115-126.
- GIORGIS S., ARNAL A., LACAILLE D., JARMASSON J., VASTRA Y. & BARNAUD G. 2010. Atlas des Paysages de la Côte-d'Or. Direction Départementale des Territoires (DDT) de la Côte-d'Or, DREAL - Direction Régionale de l'Écologie, de l'Aménagement et du Logement de Bourgogne, 345 p.
- GE Q., WANG H., ZHENG J., RUTISHAUSER T. & DAI J. 2014. A 170-year spring phenology index of plants in eastern China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 119: 301-311.
- GE Q., ZHENG J., FANG X., MAI Z., ZHANG X., ZHANG P. & WANG W.-C. 2003. Winter half-year temperature reconstruction for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China, during the past 2000 years. *The Holocene* 13(6): 933-940.
- GONG G.F., ZHANG P.Y. & ZHANG J.R. 1984. The variation of phenodate in Beijing district. *Kexue Tongbao* 12: 1650-1652.
- GU L., HANSON P.J., MAC POST W., KAISER D.P., YANG B., NEMANI R., PALLARDY S.G. & MEYERS T. 2008. The 2007 eastern US spring freeze: Increased cold damage in a warming world? *BioScience* 58: 253-262.
- HAMEED S. & GONG G. 1994. Variation of spring climate in lower-middle Yangtze River Valley and its relation with solar-cycle length. *Geophysical Research Letters* 21(24): 2693-2696.
- HÄNNINEN H. 1991. Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees. *Plant, Cell & Environment* 14: 449-454.
- HESS P. & BREZOWSKY H. 1952. Katalog der Grosswetterlagen Europas. Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, 33, 39 p.
- HUFKENS K., FRIEDL M.A., KEENAN T.F., SONNENTAG O., BAILEY A., O'KEEFE J. & RICHARDSON A.D. 2012. Ecological impacts of a widespread frost event following early spring leaf-out. *Global Change Biology* 18: 2365-2377.
- JOLY D., BROSSARD T., CARDOT H., CAVALHES J., HILAL M. & WYVRESKY P. 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo*: <http://cybergeo.revues.org/23155>.
- KESSLER J. & CHAMBRAUD A. 1986. La Météo de la France. J.C. Lattès, 312 p.
- KLAUS D. 1993. Zirkulations- und Persistenzänderungen des Europäischen Wettergeschehens im Spiegel der Grosswetterlagenstatistik. *Erdkunde* 47: 85-104.
- KYSELÝ J. & HÜTH R. 2006. Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods. *Theoretical and Applied Climatology* 85: 19-36.
- LAMB H.H. 1964. The English Climate. English Universities Press, London, 212 p.
- LAMB H.H. 1972. Climate: Present, Past and Future. Volume 1 - Fundamentals and climate now. Methuen & Co LTD, London, 613 p.
- LEGAVE J.M., FARRERA I., ALMERAS T. & CALLEJA M. 2008. Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 83(1): 76-84.
- LE ROY LADURIE E. 1967. Histoire du climat depuis l'an mil. Flammarion, Paris, 376 p.
- LIETH H. 1974. Phenology and Seasonality Modeling. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 444 p.
- LIU Q., PIAO S., JANSSENS I.A., FU Y., PENG S., LIAN X., CHAIS P., MYNENI R.B., PEÑUELAS J. & WANG T. 2018. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nature Communications* 9(426): 8 p.
- MA Q., HUANG J.-G., HÄNNINEN H. & BERNINGER F. 2018. Reduced geographical variability in spring phenology of temperate trees with recent warming. *Agricultural and Forest Meteorology* 256-257: 526-533.
- MARTIN M., GAVAZOV K., KÖRNER C., HÄTTENSCHWILER S. & RIXEN C. 2010. Reduced early growing season freezing resistance in alpine treeline plants under elevated atmospheric CO₂. *Global Change Biology* 16: 1057-1070.
- MASSON J. 2014. Carte géologique simplifiée de la Bourgogne. Lithothèque Bourgogne, Académie de Dijon, d'après carte 1/1000000 du BRGM (1996) et maquette de P. RAT.
- MATHIAUD C. 2018. En Bourgogne, une climatologie 2018 tout en contraste. Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 12 novembre 2011, 3-6.
- MATHIAUD C. & PATURAUD M. 2016. Climatologie 2016 en Bourgogne : d'un extrême à l'autre. Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 20 novembre 2016, 3-6.
- MAURER C., HAMMERL C., KOCH E., HAMMERL T. & POKORNY E. 2011. Extreme grape harvest data of Austria, Switzerland and France from A.D. 1523 to 2007 compared to corresponding instrumental / reconstructed temperature data and various documentary sources. *Theoretical and Applied Climatology* 106(1-2): 55-68.
- MENZEL A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology* 44(2): 76-81.
- MENZEL A. 2003. Europe. In : SCHWARTZ, M.D. Phenology : an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London: Chapter 2.3, 45-56.
- MENZEL A., ESTRELLA N. & FABIAN P. 2001. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology* 7: 657-666.
- MENZEL A. & FABIAN P. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659.
- MENZEL A., SPARKS T.H., ESTRELLA N. & ECKHARDT, S. 2005. 'SSW to NNE' - North Atlantic Oscillation affects the progress of seasons across Europe. *Global Change Biology* 11(6): 909-918.
- MENZEL A., SPARKS T.H., ESTRELLA N., KOCH E., AASA A., AHAS R., ALM-KÜBLER K., BISSOLLI P., BRASLAVSKÁ O., BRIEDE A., CHMIELEWSKI F.M., CREPINSEK Z., CURNEL Y., DAHL Å, DEPILA C., DONNELLY A., FILELLA Y., JATCZAK K., MÄGE F., MESTRE A., NORDLI Ø, PEÑUELAS J., PIRINEN P., REMÍŠOVÁ V., SCHEIFINGER H., STRIZ M., SUSNIK A., VAN VLIET A.J.H., WIELGOLASKI F.-E., ZACH S. & ZHUST A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12: 1969-1976.
- Météo-France : Bibliothèque, espace de commande de données publiques. <https://publitheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWebPubli/index.jsp>
- MétéoSuisse : Développement de la végétation. 1) Indice du printemps : <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/developpement-de-la-vegetation/indice-du-printemps.html> 2) Longues séries d'observations phénologiques : <https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/developpement-de-la-vegetation/longues-series-d-observations-phenologiques.html>
- MORIN X. & CHUINE I. 2014. Will tree species experience increased frost damage due to climate change because of changes in leaf phenology? *Canadian Journal of Forest Research* 44: 1555-1565.
- 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): 16 p.
- MOŽNÝ M., BRÁZDL R., DOBROVOLNÝ P. & TRNKA M. 2016. April-August temperatures in the Czech Lands, 1499-2015, reconstructed from grape-harvest dates. *Climate of the Past* 12: 1421-1434.
- PAGNEY P. 1988. Climats et cours d'eau de France. Masson, Paris, 248 p.
- PARMESAN C. & YOHE G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- PATURAUD M. 2011. Climatologie 2011 : une année sans comparaison ! Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 15 novembre 2011, 2-4.

- PATURAUD M. 2017. En Bourgogne, une climatologie 2017 tout en contrastes. Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne (BIVB), Communiqué de presse, 19 novembre 2017, 3-6.
- PÉDELABORDE P. 1957. Le climat du bassin Parisien – Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique. Génin, Paris, 539 p.
- PEÑUELAS J., RUTISHAUSER T. & FILELLA I. 2009. Phenology Feedbacks on Climate Change. *Science* 324: 887-888.
- PhaenoNet : Un réseau d'observateurs de la nature et des saisons. <https://phaenonet.ch/fr/>
- PLANCHON O. & BONNARDOT V. 2012. L'évolution des types de circulation atmosphérique sur la France de l'Ouest et leur impact climatique. In : MÉROT, Ph., DUBREUIL, V., DELAHAYE, D., DESNOS, Ph. (sous la direction de) Changement climatique dans l'Ouest ' Evaluation, impacts, perceptions. Presses Universitaires de Rennes, Collection « Espace et territoires »: chap. 2, 31-41.
- PLANCHON O. & ENDLICHER W. 2014. Dynamique spatio-temporelle du climat de l'Europe centrale : analyse et impacts dans les régions viticoles. In : QUÉNOL, H. (sous la direction de) Changement climatique et terroirs viticoles. Editions Lavoisier Tec&Doc: Chap. 4, 115-146.
- PLANCHON O., QUÉNOL H., IRIMIA L.M. & PATRICHE Cr.V. 2015. European cold wave during February 2012 and impacts in wine growing regions of Moldavia (Romania). *Theoretical and Applied Climatology* 120(3): 469-478.
- PLANCHON O., QUÉNOL H., WAHL L., CANTAT O. & BONNEFOY C. 2009. 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 (22^e colloque de l'AIC, Cluj, 1-5 septembre 2009), Cluj University Press: 371-376.
- POLTE-RÜDOLF Ch. 2003. Die historische phänologische Datenbank des Deutschen Wetterdienstes. DWD – Klimastatusbericht 2003: 68-70.
- QUÉNOL H., PLANCHON O. & WAHL L. 2008. Méthodes d'identification des climats viticoles. *Bulletin de la Société Géographique de Liège* 51: 127-137.
- ROSENBLATT L. & CHRISTANDL F. (trad. Philippe REBETZ) 2003. Coings : Le retour d'un fruit oublié. Viridis, Delémont, 96 p.
- RÖTZER T. & CHMIELEWSKI F.-M. 2001. Phenological maps of Europe. *Climate Research* 18: 249-257.
- RUESS F. 2018. 50 Jahre Phänologie – Kernobst im Klimatrend. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg, 13 p.
- RUTISHAUSER T., LUTERBACHER J., DEFILA C., FRANK D. & WANNER H. 2008. Swiss spring plant phenology 2007: Extremes, a multi-century perspective, and changes in temperature sensitivity. *Geophysical Research Letters* 35: L05703, 5 p.
- SCHEIFINGER H., MENZEL A., KOCH E. & PETER Ch. 2003. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 74: 41-51.
- SCHEIFINGER H., MENZEL A., KOCH E., PETER Ch. & AHAS R. 2002. Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological phases in Central Europe. *International Journal of Climatology* 22: 1739-1755.
- SCHWARTZ M.D., AHAS R. & AASA A. 2006. Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology* 12: 343-351.
- SEKIGUCHI T. 1969. The historical dates of Japanese cherry festival since the 8th century and her climatic changes in Tokyo. *Geographical Papers* 13:175-190.
- SGUBIN G., SWINGEDOUW D., DAYON G., GARCÍA de CORTÁZAR-ATAURI I., OLLAT N., PAGÉ C. & van LEEUWEN C.. 2018. The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 250-251: 226-242.
- SIEGMUND J.F., WIEDERMANN M., DONGES J.F. & DONNER R.V. 2015. Impact of climate extremes on wildlife plant flowering over Germany. *Biogeosciences Discussions* 12: 18389-18423.
- SPARKS T. & MENZEL A. 2013. Plant Phenology Changes and Climate Change. In : LEVIN S.A. (ed.) Encyclopedia of Biodiversity. Academic Press, Waltham, MA: Vol. 6, 103-108.
- TUPINIER C. & GAUDILLÈRE, T. 2017. Gel : l'Yonne à nouveau en première ligne ! Bourgogne Aujourd'hui, 20 avril 2017. http://www.bourgogneaujourd'hui.com/fr/actualites/gel-l-yonne-a-nouveau-en-premiere-ligne-_624.4.htm
- UNGERSBÖCK M., JURKOVIC A., KOCH E., LIPA W., SCHEIFINGER H. & ZACHERMANN S. 2013. Trend of earlier spring in central Europe continued. *Geophysical Research Abstracts* 15: EGU2013-4063, 1 p.
- ÜRHAUSEN S., BRIENEN S., KAPALA A. & SIMMER C. 2011. Climatic conditions and their impact on viticulture in the Upper Moselle region. *Climatic Change* 109(3-4): 349-373.
- 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>
- VITASSE Y. & Rebetez M. 2018. Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Climatic Change* 149: 233-246.
- VITASSE Y., SCHNEIDER L., RIXEN C., CHRISTEN D. & REBETEZ M. 2018. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 60-69.
- VITASSE Y., LENZ A. & KÖRNER C. 2014. The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. *Frontiers in Plant Science* 5: 541.
- WOLFE D.W., SCHWARTZ M.D., LAKSO A.N., OTSUKI Y., POOL R.M. & SHAGLIS N.J. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *International Journal of Biometeorology* 49: 303-309.
- XU Y., CASTEL T., RICHARD Y., CUCCIA C. & BOIS B. 2012. Burgundy regional climate change and its potential impact on grapevines. *Climate Dynamics* 39: 1613-1626.
- ZHU K. 1973. A preliminary study on the climate fluctuation during the last 5000 years in China. *Scientia Sinica* 16: 226-256.