

Chardonnay wines climate plasticity: A worldwide geographical approach / Plasticité des vins issus de cépage Chardonnay au climat : une approche géographique à l'échelle planétaire

Catinca Gavrilescu¹ et Benjamin Bois^{1,2}

¹ CRC – UMR Biogeosciences, Université Bourgogne Franche Comté / CNRS, 6 Bd. Gabriel, 21000 Dijon, France

² Institut Universitaire de la Vigne et du Vin, Université Bourgogne Franche Comté, rue Claude Ladrey, 21000 Dijon, France

Abstract. Chardonnay is the fifth most planted cultivar on Earth. This large spatial coverage suggests a strong flexibility of this wine grape variety to its environment, particularly when it comes to climate. To investigate the plasticity of Chardonnay for producing wine, we have built a geodatabase localizing the production areas (wine region, vineyard or plot, when possible) of 2029 wines awarded with either gold or bronze medals at the international wine competition “Chardonnay du Monde”, from 2000 to 2015. Wines were produced by 982 different wineries, covering 230 world wine regions within 41 countries. The climate of each production region was depicted with the WorldClim database. It consists of a set of high spatial resolution gridded (approximately 1 km) monthly rainfall accumulations and air temperature averaged on the 1950–2000 period. This data was updated to the 2000–2015 period by means of the delta method applied to the CRU TS 3.2 climate database at a lower resolution (0.5°). Ten agroclimatic indices were calculated and analyzed. Grape growing climate of Chardonnay wine regions are extremely diverse. Their average growing season temperature (April to October for the northern hemisphere and October to April for the southern hemisphere) ranges from 15.2 to 21.7°C (5% and 95% percentiles) for still Chardonnay wines, whereas it ranges from 14.7 to 20.3°C for sparkling Chardonnay wines. Average growing season rainfall ranges from 106 to 630 mm, with an average of 396 mm. This diversity indicates a considerable adaptation of Chardonnay for wine production. This plasticity probably offers an adaptive perspective to climate change, especially for cool climate regions such as Burgundy (the motherland of Chardonnay), where most of still and sparkling wines are produced with this variety.

Résumé. Le Chardonnay est le 5^e cépage le plus planté sur la planète. Cette couverture spatiale étendue suggère une importante flexibilité de cette variété de vigne à l'environnement, en particulier le climat. Pour étudier la plasticité du cépage Chardonnay pour la production de vin, nous avons élaboré une base de données localisant les zones de production (région viticole, vignoble ou parcelle, quand cela était possible) de 2029 vins médaillés d'or ou de bronze au concours international « Chardonnay du Monde », de 2000 à 2015. Les vins proviennent de 973 producteurs, répartis dans 230 régions vitivinicoles dans 41 pays. Le climat correspondant aux zones de production de ces lauréats a été caractérisé au moyen de la base de données WorldClim. Il s'agit de grilles de données à haute résolution spatiale (environ 1 km) de cumuls de précipitations et de températures mensuelles moyennées sur la période 1950–2000. Ces données ont été mise à jour pour la période 2000–2014 par la méthode dite du « delta », en utilisant la base de données climatiques CRU TS 3.23 de plus large résolution (0,5°). Huit indices agroclimatiques ont été calculés et analysés. Les climats viticoles des zones productrices de Chardonnay sont très variés. La température moyenne en saison de végétation (avril à octobre pour l'hémisphère nord et octobre à avril pour l'hémisphère sud) varie de 15,2 à 21,7°C pour les vins de Chardonnay tranquilles (5e et 95e percentile) alors qu'elle varie de 14,7°C à 20,3°C pour les vins effervescents. Les précipitations en saison de végétation varient de 97 à 675 mm pour les vins tranquilles et 335 à 607 mm pour les vins effervescents. Cette diversité traduit l'adaptation remarquable de ce cépage pour la production de vins. Cette plasticité offre probablement une perspective intéressante dans un contexte de changement climatique, en particulier pour les régions septentrionales telles que la Bourgogne (terre-mère du Chardonnay), dont la production de vins blancs tranquilles ou effervescents est essentiellement issue sur ce cépage.

1. Introduction

Le Chardonnay n'est pas qu'un cépage emblématique pour la Bourgogne, sa terre d'origine, il s'agit en réalité d'un cépage caractéristique de la viticulture mondialisée. Cette variété de *Vitis vinifera* a connu une forte expansion au cours des 50 dernières années, de

manière concomitante à un mouvement de standardisation mondiale de l'encépagement, où l'on estime que seuls 16 cépages couvrent 50 % des superficies viticoles aujourd'hui [1]. La superficie mondiale cultivée en Chardonnay est passée de 7300 ha à 190126 ha en 2010, ce qui en fait le cépage ayant la 5^{ème} plus large couverture spatiale au monde [1].

La vigne étant une plante vivace, la variabilité climatique locale et globale, à court ou à long terme, impose les conditions d'adaptation de la culture de chaque cépage et gouverne la qualité des millésimes.

Composante du « terroir », le climat est un facteur clé dans la culture de la vigne [2–4], il participe à la maturation du raisin et par conséquent au façonnement du style des vins [5]. Actuellement, le changement climatique, et plus particulièrement le réchauffement qui l'accompagne, soulève déjà de nombreuses questions quant à l'évolution de la viticulture et la répartition spatiale des régions vitivinicoles [6,7]. La typicité des vins et leurs profils organoleptiques vont-ils évoluer de manière sensible ? La transmutation de l'encépagement mondial va-t-elle être accélérée par le changement climatique ? La culture de la vigne restera-t-elle viable dans certaines régions, opportune dans d'autres ?

Les variétés de *Vitis vinifera* ont des exigences climatiques variables [8], fait qui explique pourquoi le Riesling est un cépage bien accommodé aux régions telles que l'Alsace et le Grenache aux climats plus chauds comme dans le sud de la France ou l'Espagne. Etant donné que les régions viticoles sont caractérisées par des régimes de précipitations (cumul, fréquence, intensité), des températures et des taux d'évapotranspirations différents [9,10], un dérèglement au niveau de leur profil climatique pourrait se traduire par une migration géographique. Mais la prégnance de la notion de « terroir » en viticulture, et plus particulièrement les ancrages culturels, paysagers et les systèmes d'appellations qui façonnent la réputation des vins en lien avec leurs territoires d'origine, contribuent à la stabilité géographique des aires de production. En Bourgogne par exemple, on constate depuis les années 1970, un « décalage » climatique (si l'on ne considère que la seule température de l'air) d'environ 100 km vers le Nord et 200 m en altitude [11]. Pour autant, la géographie du vignoble de cette région viticole n'a pas sensiblement évolué durant ces 40 dernières années.

Plusieurs études ont déjà quantifiés l'impact du changement climatique sur la viticulture, principalement par rapport aux caractéristiques et l'aspect qualitatif des raisins et du vin [4,12,13], mais aussi via la description [10] et la comparaison climatique des régions vitivinicoles [14]. Finalement, peu de travaux ont été réalisés en essayant de comparer le comportement d'un même cépage et de tester sa plasticité par rapport au climat.

La présente étude adresse le sujet de l'adaptation de la viticulture en réponse à l'évolution du climat, en se focalisant sur l'analyse de la distribution climatique associée à la culture du Chardonnay et les éventuelles questions qu'elle soulève. Ceci permettra de mieux comprendre les risques potentiels du changement climatique pouvant influencer et modifier cette distribution, ainsi que d'évaluer la capacité de cette variété à produire du vin dans des conditions climatiques singulièrement différentes.

2. Matériels et méthodes

Pour la réalisation de cette étude, trois bases de données géographiques ont été créées. Elles combinent des aspects concernant la géolocalisation, les caractéristiques climatiques et les divers descripteurs qualitatifs de chaque entrée.

La première base de données (Chardo_Monde_DB) correspond à l'adaptation des informations issues du palmarès du concours « Chardonnay du Monde » sur une période de 16 ans ; la deuxième (WorldClim_DB) est constituée de d'indices agroclimatiques à haute résolution spatiale et la dernière (Vineyard_GeoDB) documente la plupart des régions vitivinicoles dans le monde.

2.1. La base de données des zones de production de Chardonnay

Cette base de données (Chardo_Monde_DB) a été construite à partir du palmarès 2000-2015 du concours international « Chardonnay du Monde » (<http://www.chardonnay-du-monde.com/>), organisé annuellement en France. Elle géolocalise les zones de production des vins médaillés et documente leurs caractéristiques (millésime, type de médaille, localisation, année du palmarès, type de vin etc.).

L'élaboration de cette base a fait l'objet de plusieurs étapes. La première étape a consisté en la collecte des données descriptives (le nom du domaine lauréat, le pays, l'adresse, la cuvée lauréate, le type de vin, le millésime lauréat, le caractère boisé ou non) disponibles sur le site officiel du concours « Chardonnay du Monde ». L'ensemble des lauréats de médailles de bronze et d'or ont été documentés pour 16 années de concours (2000–2015), soit un total de 2029 vins. Durant la deuxième étape, la localisation de l'origine des vins (parcelle, domaine et/ou région de production) a été réalisée (en utilisant notamment le système d'information géographique « Google Earth »). La précision de la localisation de la provenance des vins dépend des informations disponibles collectées en ligne et du mode d'élaboration du vin : pour certains, comme les 1^{er} crus de Bourgogne, on identifie précisément la parcelle dont le raisin a été élaboré pour produire le vin. Pour d'autres, seule une large région d'origine est renseignée par le producteur (par exemple, « Valle Central » au Chili). Dans ce cas, une parcelle située au centre géographique de la région a été choisie. La précision de la procédure de localisation est documentée dans la base de données.

2.2. La base de données climatique

Les moyennes mensuelles sur la période 1950–2000 de températures et de cumuls de précipitations ont été extraites de la base de données WorldClim [15] à résolution de 30 sec. d'arc (environ 1 km), à partir des coordonnées de l'origine de chaque vin. Ces données couvrant la période 1950–2000 ont été mise à jour pour la période 2000–2015 par la méthode dite du « delta », en utilisant la base de données climatiques CRU TS 3.23 de plus large résolution (0, 5°) et documentant, contrairement à WorldClim, le climat du XXI^e siècle. La méthode de mise à jour est détaillée dans [16].

Huit indices agroclimatiques ont été calculés. Trois de ces indices font partie de la classification climatique multicritères géo-viticole [10] : l'Indice de Huglin (IH), l'Indice de Fraîcheur des Nuits (IF) et l'Indice de Sècheresse (IS). L'indice héliothermique (IH) a été développé pour estimer la précocité potentielle en termes

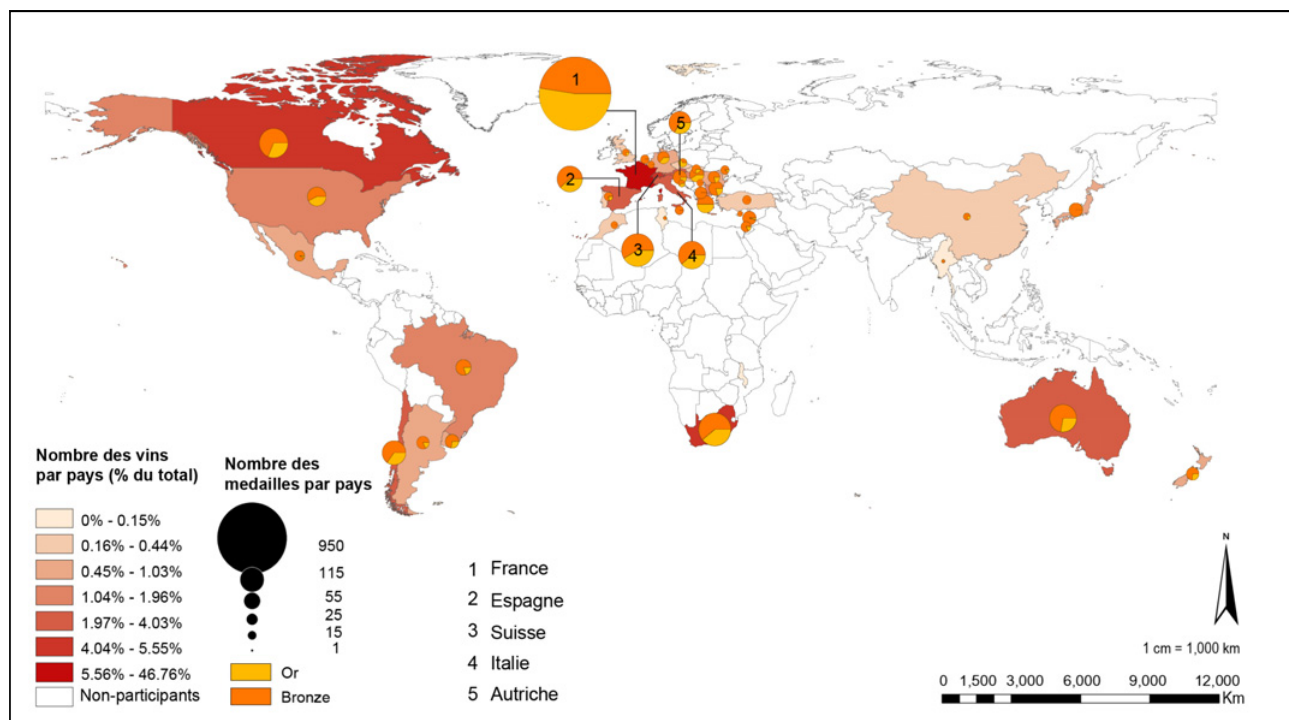


Figure 1. Représentation de la distribution des médailles (or ou bronze) et du nombre des vins (% du total) pour les 41 pays participantes au Chardonnay du Monde.

de maturation du raisin, offerte par les conditions climatiques en utilisant les températures maximales et moyennes journalières supérieures à 10°C et un coefficient latitudinal (k). L'indice de sécheresse (IS) est issu d'un modèle simplifié de bilan hydrique du vignoble et nous indique la disponibilité hydrique potentielle du sol en fonction du climat d'une région. L'indice de fraîcheur des nuits (IF) est la moyenne des minimas thermiques pendant le mois de maturation du raisin (septembre pour l'hémisphère nord et mars pour l'hémisphère sud sont retenus pour le calcul d'IF). Les températures moyennes (AvGST) et les cumuls de précipitations (AvGSR) pendant la saison de végétation (soit d'avril à octobre pour l'hémisphère nord et d'octobre à avril pour l'hémisphère sud) ont été également été calculés.

Les risques thermiques ont été estimés à partir des trois indicateurs proposés par Bois et al. [17]. Il s'agit de la moyenne des minimas thermiques du mois de janvier (juillet) pour l'hémisphère nord (sud) et du mois d'avril (octobre pour l'hémisphère sud) pour estimer les risques de gel d'hiver (indice appelé WFR pour « winter freeze risk ») et de printemps (indice SFR pour « spring frost risk »), respectivement. La moyenne des températures maximales du mois de juillet dans hémisphère nord (janvier dans l'hémisphère sud) permet d'estimer les risques de stress thermique (indice HSI pour « heat stress index »). L'indice WFR évalue la fréquence des années présentant au moins un événement de gel d'hiver ou le nombre annuel de jours de gel d'hiver potentiellement dommageables pour la vigne (température minimale < -17°C). SFR informe sur le nombre de jours de gel au printemps (température minimale < -1°C), la fréquence d'années avec gel de printemps et la date de dernière gelée printanière. HSI renseigne sur le nombre de jours de forte chaleur (température maximale > 35°C) en période estivale [17].

2.3. La base de données des régions vitivinicoles du monde

Cette base de données géographique, ci-après dénommée VGDB (pour « vineyard geodatabase »), correspond à une cartographie numérique des régions vitivinicoles du monde. Elaborée depuis plusieurs années, elle permet notamment d'analyser et de comparer les caractéristiques climatiques de vignobles de la planète [16]. Plusieurs sources ont été utilisées (cartes, sites web, ouvrages), en particulier les 5^{ème} et 7^{ème} éditions de l'Atlas Mondial du Vin [18, 19]. Les limites des vignobles ont été affinées à l'aide de la base de données géographique d'occupation du sol CORINE Land Cover 2006 pour l'Europe [20] et à l'aide des vues aériennes du système d'information géographique « Google Earth ». La base de données est constituée d'un ensemble de polygones correspondant individuellement à une région viticole. Plus de 650 régions vitivinicoles sont recensées par la base VGDB.

3. Résultats

3.1. Le palmarès « Chardonnay du Monde »

La base de données Chardo_Monde_DB documente un total de 2029 vins lauréats correspondant à 41 pays sur les 16 concours annuels « Chardonnay du Monde » de 2000 à 2015 (Fig. 1). Parmi les lauréats, la France est la plus largement représentée (952 médailles), probablement en raison de plus nombreuses candidatures de vins français du fait de la localisation du concours et de la superficie dominante de vignoble de Chardonnay en France en comparaison aux autres pays [1]. Viennent ensuite la Suisse (113 médailles), l'Afrique du Sud (107), le Canada (92) et l'Australie (82).

Le concours prime des vins tranquilles (86,6 %) et effervescents (14,4 %). Les vins lauréats de médailles de

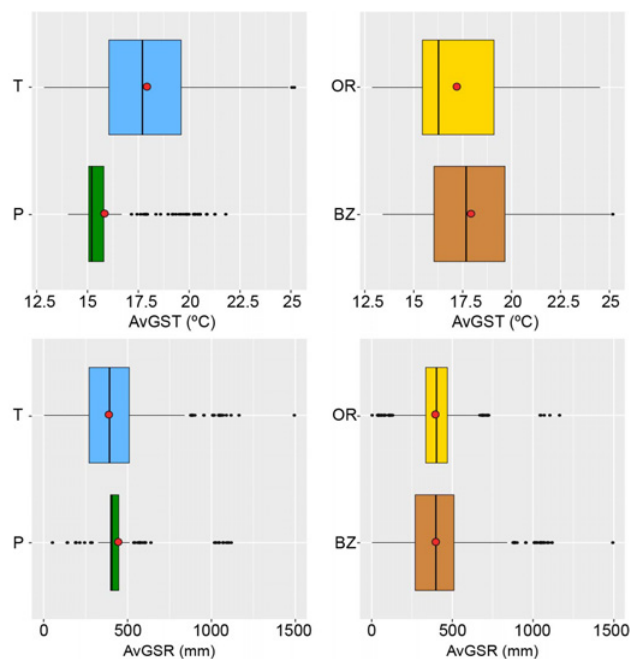


Figure 2. Distribution (boxplots) des températures moyennes (AvGST) et des cumuls de précipitations (AvGSR) durant la saison de végétation des zones de production des Chardonnay lauréats au concours, par types de vin (T- tranquilles, P – pétillants, à gauche) et par médailles (OR – or, BZ – bronze, à droite).

bronze sont légèrement plus représentés (58 %) que les vins lauréats de médailles d’or (42 %).

On constate une tendance générale à la diminution du nombre de vins médaillés (or et bronze) tout au long des années, passant de 170 en 2000 à 79 en 2015.

3.2. Caractéristiques agroclimatiques des zones de productions des lauréats « Chardonnay du Monde »

Les vins effervescents ont été produits dans des régions dont la température moyenne en saison de végétation est majoritairement comprise entre 14,7 et 20,5°C (5^e et 95^e percentiles) et avec un cumul de précipitations variant de 335 à 607 mm (5^e et 95^e percentiles). La distribution climatique des vins tranquilles est plus large (Fig. 2), variant pour les précipitations de 97 à 675 mm pour 90 % des cas, et présente des températures moyennes plus élevées (AvGST de 15,2 à 21,7°C).

La Fig. 3 présente la distribution des trois indices agroclimatiques de la classification multicritères (présentée précédemment) des sites de production des vins lauréats au concours « Chardonnay du Monde » par type de vin (colonne de gauche) et médaille (colonne de droite).

On constate que les exigences climatiques des vins effervescents diffèrent de celles des vins tranquilles. Les vins effervescents sont caractérisés par un climat « frais » (75 % des vins affichant un IH entre 1500 et 1800°C.J), à « nuits très fraîches » (inférieur à 12°C dans 89 % des cas) et « sub-humide » (IS compris entre 50 et 150 mm dans 85 % des cas). Au contraire, les vins tranquilles ne semblent pas avoir une niche climatique spécifique. Les zones de production des vins tranquilles lauréats au

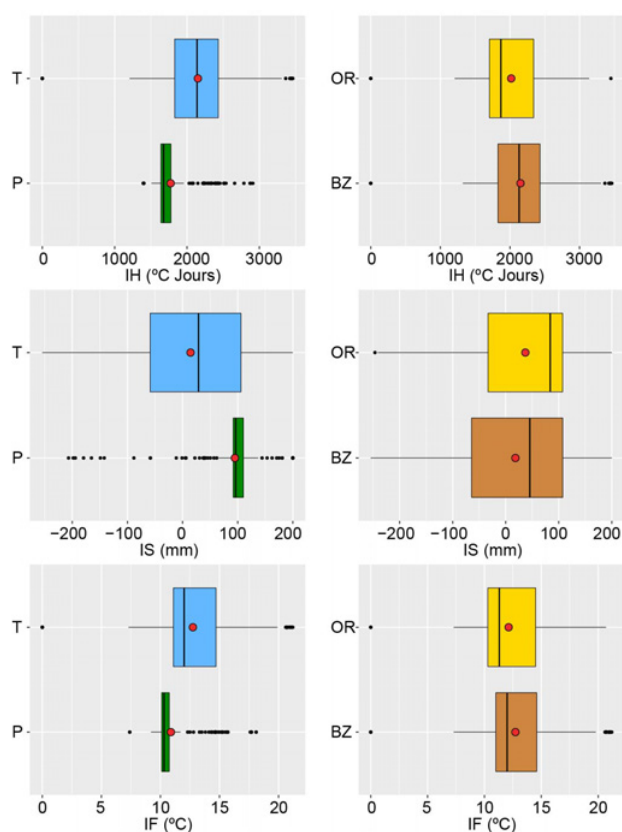


Figure 3. Distribution (boxplots) des indices d’Huglin (IH), de sécheresse (IS) et de fraîcheur des nuits (IF) des zones de production des Chardonnay lauréats au concours, par types de vin (T- tranquilles, P – pétillants, à gauche) et par médailles (OR – or, BZ – bronze, à droite).

concours possèdent des climats « frais » à « chaud » au regard de la classification de Tonietto et Carbonneau [10] dans une proportion assez équilibrée, au léger bénéfice de la classe « climat tempéré » (IH entre 1800 et 2100°C.J, 26 % des lauréats). Les climats à « nuits très fraîches » correspondent à la moitié des zones de production des Chardonnay tranquilles ; 33 % d’entre elles affichent des « nuits tempérées ». L’indice de sécheresse est remarquablement ample : 18 % des vins tranquilles lauréats ont des climats « très secs » (IS < -100 mm), 36 % des climats « secs » (-100 < IS < 50 mm) et 38 % des climats « sub-humides ».

Bien que les écarts climatiques soient moins nets entre type de médaille qu’entre type de vins (effervescent vs. tranquille), on note que les vins lauréats d’une médaille d’or sont en général issus de climats plus frais, plus humides et à nuits plus fraîches que les vins primés par une médaille de bronze.

3.3. Comparaison avec l’ensemble des régions vitivinicoles

La Fig. 4 compare les distributions des indices agroclimatiques correspondant aux zones de production des lauréats du concours « Chardonnay du Monde » (représentés en jaune, tous lauréats et type de vins confondus) aux distributions des indices correspondant à l’ensemble des régions vitivinicoles mondiales décrites par la base de données VGDB (représentés en marron).

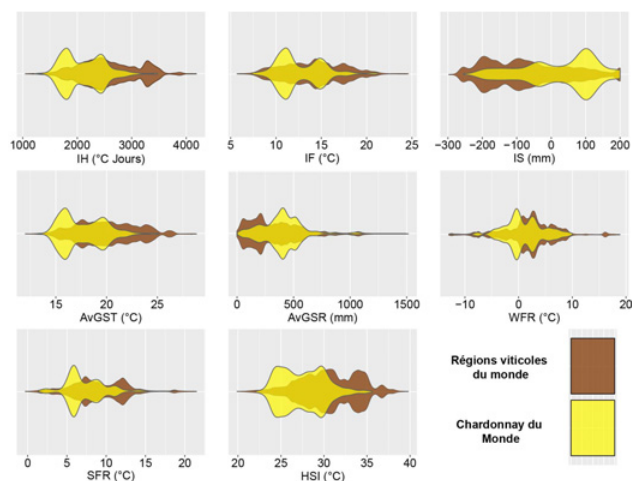


Figure 4. Analyse comparative entre la distribution de valeurs des 8 indices agroclimatiques pour les zones de production de Chardonnay lauréats au concours et les régions viticoles mondiales.

Les zones de production de Chardonnay (telles que décrites par les lauréats du concours) affichent une large diversité de conditions climatiques. Au regard de la classification climatique multicritères [10], elles couvrent des climats « frais » ($1500 < IH < 1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{J}$, 26 % des cas) à « chauds » ($2400 \text{ à } 3000^{\circ}\text{C}\cdot\text{J}$, 24 % des cas) pour des températures moyennes en saison de végétation (AvGST) variant de 15 à $21,4^{\circ}\text{C}$ (5^e et 95^e percentiles). En comparaison à la distribution des conditions thermiques en saison végétative de l'ensemble des régions vitivinciales du monde (recensées par la base VGDB), le Chardonnay est implanté dans des aires viticoles plutôt fraîches (Fig. 4).

L'indice de sécheresse des zones de production de Chardonnay présente une remarquable diversité: il varie de -185 mm à 175 mm (5^e et 95^e percentiles). Toutefois, on note que la plupart (45 %) des lauréats sont issus de climats « sub-humides » (IS compris entre 50 et 150 mm) alors que les régions vitivinciales mondiales (VGDB) sont en majorité de climats « secs » ($-100 \text{ mm} < IS < 50 \text{ mm}$, 36 % des cas) à « très secs » ($IS < -100 \text{ mm}$; 46 % des cas). Les cumuls de précipitations en saison de végétation (AvGSR) sont en fréquence plus élevés dans les zones de production de Chardonnay que dans l'ensemble des superficies vitivinciales mondiales.

L'indice de fraîcheur des nuits varie largement entre zones de productions des vins primés au concours ($9,4^{\circ}\text{C} < IF < 16,7^{\circ}\text{C}$ dans 90 % des cas), indiquant essentiellement des climats « à nuits tempérées » (IF compris entre 14 et 18°C pour 30 % des lauréats) à « très fraîches » ($IF < 12^{\circ}\text{C}$ pour 56 % des lauréats).

Au regard des seuils proposés par Bois et al [17] relatifs aux risques thermiques, seules 0,2 % des zones de production de Chardonnay primés au concours sont fortement exposées aux risques de gelées hivernales ($WFR < -11^{\circ}\text{C}$). A l'inverse, pour la plupart (82 %) des zones de production le risque d'occurrence d'un évènement de gel hivernal n'est pas nul (WFR reste inférieur au seuil d'absence de risque de 4°C).

97 % des aires de production de vins lauréats présentent un indice de risque de gel de printemps (SFR)

compris entre 0°C (seuil en deçà duquel on observe chaque année des gelées après le 1^{er} avril / 1^{er} octobre dans l'hémisphère nord/sud) et 12°C (seuil au-delà duquel aucune gelée printanière n'est observée, au regard des données analysées par Bois et al. [17]). Relativement aux conditions climatiques de l'ensemble des superficies vitivinciales mondiales documentées par VGDB, les zones de production de Chardonnay analysées ici affichent des risques de gelées hivernales ou printanières plutôt élevés.

Enfin, l'exposition aux journées à forte chaleur (température maximale $> 35^{\circ}\text{C}$) semble modérée au regard de l'indice de stress thermique, pour les zones de production de Chardonnay : pour 22 % d'entre elles, HSI est inférieur à 25°C suggérant l'absence totale de jours de stress thermiques (température maximale $> 35^{\circ}\text{C}$). Dans 16 % des cas, on observe un risque de stress thermique élevé ($HSI > 30^{\circ}$, [17]). En comparaison, 58 % des superficies viticoles recensées par VGDB affichent un risque de stress thermique élevé. Il est absent dans seules 4,5 % des régions vitivinciales de la planète.

4. Discussion et conclusion

La présente étude documente les conditions climatiques dans lesquelles sont produits des vins de Chardonnay dont les propriétés organoleptiques ont conduit des jurys à distinguer ces vins. Elle montre que les climats viticoles des aires de productions dont ces vins sont issus recouvrent en large partie les conditions climatiques des régions vitivinciales de la planète. On peut donc conclure que le Chardonnay possède une grande plasticité vis-à-vis des climats vitivinciales pour la production de vins de « qualité ». Il est néanmoins nécessaire d'ajouter à ces conclusions quelques remarques et réserves. Le choix de documenter les zones de productions des vins de Chardonnay via le concours « Chardonnay du Monde » est motivé par la taille conséquente de l'échantillon offert : la base élaborée à partir des distinctions « bronze » et « or », pour la période 2000–2015, réunit 973 producteurs distincts parmi 41 pays. Par ailleurs, l'organisation du concours suit des règles qui nous ont semblées raisonnables (formation préalable des jurés, exigence de production d'analyses chimiques sur les vins proposés, dégustation des vins selon le degré de teneur en sucres croissant...) pour assurer des distinctions non-aléatoires entre vins candidats. Dans la présente étude, seuls les lauréats, et non l'ensemble des vins candidats, ont été considérés. Cette démarche a été privilégiée afin de focaliser l'étude sur des vins de Chardonnay dont la reconnaissance par un panel de dégustateurs était garantie, en vue de qualifier la capacité du cépage Chardonnay à produire de vins de qualité reconnue sous différentes conditions climatiques. L'échantillon retenu restreint néanmoins la géographie actuelle du Chardonnay. La représentativité des pays dont les vins sont lauréats diffère substantiellement des superficies nationales de vignobles de Chardonnay recensées par Anderson et Aryal [1]. Aussi, les distributions statistiques des variables agroclimatiques analysées ne sont probablement pas fidèles à celles concernant l'ensemble des régions productrices de Chardonnay. Par ailleurs, la moyenne des erreurs de géolocalisation est estimée à 6 km, et pouvant atteindre, dans un unique cas, 400 km (cas extrême de la « Valle Central », au Chili). Restreindre l'analyse

aux seuls lauréats présentant une localisation très précise aurait considérablement limité la couverture spatiale de l'échantillon, et le choix a été fait ici de privilégier le nombre d'individus, au risque d'intégrer (en proportion modérée) des données climatiques ne correspondant pas rigoureusement à celles rencontrées sur la ou les parcelles d'origine du vin.

Les indicateurs agroclimatiques ont été calculés à partir des grilles de données à haute résolution spatiale de la base WorldClim [15]. Issues de l'interpolation spatiale de moyennes mensuelles sur la période 1950–2000, ces données climatiques, entachées d'erreurs modérées, sont largement utilisées pour décrire, analyser ou comparer des conditions ou projections climatiques [par exemple 21]. Cette base à résolution kilométrique a été mise à jour, c'est-à-dire ajustée pour tenir compte du changement climatique depuis 1950 afin produire des données correspondant à la période 2000–2014. Cet ajustement a été réalisé au moyen de grilles de données mensuelles issues de la base CRU TS3.23, de résolution plus lâche et introduisant deux sources d'erreurs : tout d'abord, l'usage de données de plus basse résolution (environ 50 km) suppose que le changement climatique récent s'est opéré à une échelle plus large, ce qui n'est pas nécessairement le cas. Par ailleurs, la base CRU, si elle constitue un jeu de données de référence en climatologie [22], n'est pas exempte d'erreurs d'interpolation, ce qui peut engendrer des biais cumulatifs dans la base WorldClim ajustée à la période 2000–2014, utilisée dans cette étude. En revanche, l'étendue de la distribution des indicateurs analysés ici permet de considérer la grande diversité de conditions climatiques « actuelles » dans lesquelles on produit des vins de Chardonnay.

Le changement climatique constitue une pression forte qui affecte notamment l'appréciation des consommateurs, journalistes et autres destinataires finaux du marché [13] suggérant une plus forte vulnérabilité des régions viticoles présentant un faible degré de diversité variétale. La présente étude souligne néanmoins l'étendue remarquable de climats viticoles au sein desquels un même cépage peut produire des vins d'une qualité jugée acceptable, invitant à considérer à l'avenir ce type d'approche, idéalement supportée par des données analytiques objectives (caractères agronomiques, analyses physico-chimiques du raisin et du vin) pour mieux documenter la résilience de la vitiviniculture au changement climatique.

Les auteurs remercient la fondation Boisseaux pour son soutien financier ainsi que MM. Henri-Laurent Arnould (Forum Œnologie) et Jordi Ballester (Université de Bourgogne) pour les précieuses informations fournies concernant le concours « Chardonnay du Monde ».

Références

- [1] K. Anderson, et N. R. Aryal. *Which Winegrape Varieties are Grown Where?: A Global Empirical Picture*. University of Adelaide Press (2013)
- [2] R. S. Jackson. *Wine Science: Principles, Practice, Perception*. Academic, London (2008)
- [3] M. Madelin. *L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne : Modélisation spatiale aux échelles fines des températures minimales et*

- des écoulements de l'air*. Thèse de doctorat de l'Université Paris VII. p. 35–50 (2004)
- [4] C. V. Leeuwen, P. Friant, X. Chone, O. Tregoat, S. Koundouras, et D. Dubourdieu. *Influence of climate, soil, and cultivar on terroir*. *American Journal of Enology and Viticulture*. **55** (3): 207–17 (2004)
- [5] G.V. Jones. *Climate, Terroir and Wine: What Matters Most in Producing a Great Wine?*. *Earth*. **59**(1): 36–43 (2014)
- [6] L. Hannah, P. R. Roehrdanz, M. Ikegami, A. V. Shepard, M. R. Shaw, G. Tabor, L. Zhi, P. A. Marquet, et R. J. Hijmans. *Climate Change, Wine, and Conservation*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **110** (17): 6907–12 (2013)
- [7] C. V. Leeuwen, H. R. Schultz, I. G. de Cortazar-Atauri, E. Duchêne, N. Ollat, P. Pieri, B. Bois, et al. *Why Climate Change Will Not Dramatically Decrease Viticultural Suitability in Main Wine-Producing Areas by 2050*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **110** (33): E3051–52 (2013)
- [8] A. Parker, I. Garcia de Cortázar-Atauri, I. Chuine, G. Barbeau, B. Bois, J.-M. Boursiquot, J.-Y. Cahurel, et al. *Classification of varieties for their timing of flowering and veraison using a modelling approach: A case study for the grapevine species *Vitis vinifera* L.* *Agricultural and Forest Meteorology*. **180**: 249–64
- [9] J. Tonietto. *Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France: méthodologie de caractérisation*. Thèse Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier (1999)
- [10] J. Tonietto, A. Carbonneau. *A multicriteria climatic classification system for grape growing regions worldwide*. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam. **124**: 81–97 (2004)
- [11] C. Cuccia. *Impact du changement climatique sur la phénologie du pinot noire en Bourgogne*. Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne (2013)
- [12] E. Duchêne, and C. Schneider. *Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace*. *Agronomy for Sustainable Development*. **25**(1): 93–99 (2005)
- [13] G.V. Jones, A. Michael, White, C. R. Owen, et K. Storchmann. *Climate Change and Global Wine Quality*. *Climatic Change*. **73** (3): 319–43 (2005)
- [14] H. Quénel, O. Planchon, et L. Wahl. *Méthodes d'identification des climats viticoles*. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*. **51**: 127–137 (2008)
- [15] R. J. Hijmans, S. E. Cameron, J. L. Parra, P. J. Jones, A. Jarvis. *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. *International Journal of Climatology*. **25**, **15**. 1965–1978 (2005)
- [16] B. Bois, C. Gavrilescu, M. Moriondo, et G. V. Jones. *Wine growing regions global climate analysis*. In *Proceedings of the 11th International Terroir Congress*, édité par Gregory Van Jones et Nicole Doran, 9–14. McMinnville, Oregon, USA: Southern Oregon University (2016)
- [17] B. Bois, M. Moriondo et G. V. Jones. *Thermal risk assessment for viticulture using monthly temperature data*. In *Proceedings of the 10th International Terroir*

- Congress. Tokaj (Hungary): Corvinus University of Budapest. 2.: **2**: 30–35 (2014)
- [18] H. Johnson, et R. Jancis. *Atlas mondial du vin*. Édition : 5e. Paris: Flammarion. p. 352 (2003)
- [19] H. Johnson, et R. Jancis. *Atlas mondial du vin*. Édition : 7e. Paris: Flammarion. p. 400 (2014)
- [20] European Environment Agency. *CLC2006 technical guidelines*. EEA technical report 17/2007. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities (2007)
- [21] H. Fraga, A. C. Malheiro, J. Moutinho-Pereira, G. V. Jones, F. Alves, J. G. Pinto, et J. A. Santos. *Very High Resolution Bioclimatic Zoning of Portuguese Wine Regions: Present and Future Scenarios*. *Regional Environmental Change*. **14** (1): 295–306 (2013)
- [22] Harris, I., P.d. Jones, T.j. Osborn, et D.h. Lister. *Updated High-Resolution Grids of Monthly Climatic Observations – the CRU TS3.10 Dataset*. *International Journal of Climatology* **34** (3): 623–42