



**HAL**  
open science

## Variabilité climatique dans la zone de production des vins de Bordeaux

Benjamin Bois, Cornelis van Leeuwen

► **To cite this version:**

Benjamin Bois, Cornelis van Leeuwen. Variabilité climatique dans la zone de production des vins de Bordeaux. Journée technique des terroirs viticoles, Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux (ENITAB). FRA., Dec 2008, Talence, France. 6 p. hal-02817769

**HAL Id: hal-02817769**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02817769>**

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

# Variabilité climatique dans la zone de production des vins de Bordeaux

Benjamin BOIS<sup>1\*</sup> et Cornelis VAN LEEUWEN<sup>2</sup>

1 : Centre de recherches de climatologie, UMR 5210 (CNRS - Université de Bourgogne), Faculté des sciences Gabriel, Université de Bourgogne, 6 bd Gabriel, 21000 Dijon, France

2 : ENITA de Bordeaux, ISVV, UMR EGFV, 1 cours du Général de Gaulle, CS 40201, 33175 Gradignan cedex, France

\*Pour correspondance : benjamin.bois@u-bourgogne.fr

**Résumé** : Parmi les composantes de l'environnement naturel de la vigne, le climat joue un rôle essentiel. Il détermine les conditions de développement et de maturation du raisin, la pression phytosanitaire et la mise en œuvre des travaux viticoles. Les différences climatiques entre les grandes régions viticoles sont bien connues, mais peu de travaux s'intéressent à la variabilité spatio-temporelle du climat au sein d'une même région. Des recherches visant à mieux caractériser les variations climatiques au sein de la zone de production des vins de Bordeaux ont été récemment menées. Les principales conclusions de ces travaux sont présentées ici. Elles soulignent notamment que le climat bordelais présente des écarts de température non-négligeables et récurrents entre les aires d'appellations de Gironde viticole, induisant potentiellement des différences de précocité de maturation pouvant excéder trois semaines pour un même cépage. En ce sens, le climat participe considérablement à la diversité des terroirs bordelais.

**Mots-clés** : climat, Bordeaux, terroir, zonage, changements climatiques

## Introduction

Le sol et le climat sont les principales composantes « physiques » du terroir, dont l'influence sur le développement de la vigne et la maturation du raisin a été largement démontrée (Buttrose, 1969 ; Seguin, 1970 ; Lebon *et al.*, 2004 ; Van Leeuwen *et al.*, 2004). Dans le Bordelais, des travaux visant à mieux appréhender l'impact de la diversité des sols sur la physiologie de la vigne et la maturation du raisin ont été menés depuis plusieurs décennies. Seguin (1970) a été l'un des premiers à mettre en évidence l'influence de l'alimentation en eau de la vigne sur la qualité du raisin, notamment en confrontant la nature des sols du Médoc et l'enracinement de la vigne. Des travaux plus approfondis, dans la région de Saint-Émilion (Van Leeuwen, 1991) et l'Entre-deux-Mers (Choné, 2001) ont permis de souligner notamment que la teneur en composé phénologiques et en sucres, la taille et le poids des baies dépendaient très fortement de l'état hydrique de la vigne, depuis la nouaison jusqu'aux vendanges. Un déficit hydrique modéré a des conséquences directes sur la vigne, en limitant par exemple la croissance végétative estivale au profit de la maturation du raisin, et des effets indirects, tels que la réduction de la vigueur, en induisant une diminution de l'alimentation azotée dans les sols particulièrement fertiles.

Fortes de ce constat, de nombreuses aires d'appellation se sont engagées dans des démarches de cartographies du sol à échelle fine (Christen *et al.*, 2006), qui permettent de mieux appréhender la diversité des terroirs au sein d'une même zone d'AOC, en vue d'une meilleure valorisation du potentiel de production viticole.

Le climat joue également un rôle essentiel dans le déterminisme de la qualité du raisin, comme en témoigne la différence, parfois très marquée, de la qualité d'un millésime à l'autre. La température contrôle, dans une très large mesure, la vitesse de développement végétatif de la vigne : élongation des rameaux (Buttrose, 1969), rythme d'apparition des feuilles (Lebon *et al.*, 2004), dates des stades phénologiques (Buttrose et Hale, 1973 ; Chuine *et al.*, 2004). Elle influence également la maturation du raisin : teneur en sucres, acidité, potentiel aromatique et teneur en anthocyanes (Buttrose *et al.*, 1971 ; Kliever, 1977 ; Mori *et al.*, 2005). Le rayonnement solaire est le moteur de l'activité photosynthétique et de l'évapotranspiration. Il joue également un rôle important durant la maturation, en permettant de contrôler certains arômes dans les baies et en favorisant la couleur des raisins, lorsque les températures ne sont pas trop élevées (Roujou de Boubée *et al.*, 2000 ; Spayd *et al.*, 2002). La pluie est le facteur climatique principal du bilan hydrique de la vigne, en alimentant le réservoir hydrique que constitue le sol. Les événements pluvieux favorisent la coulure en période de floraison et altèrent généralement la qualité du raisin à l'approche des vendanges.

Le viticulteur porte un intérêt tout particulier à l'évolution du climat et aux prévisions météorologiques durant la saison viticole, du fait que la pression phytosanitaire et l'organisation des travaux viticoles sont sous l'étroite dépendance des conditions climatiques.

Pourtant, le climat de la Gironde viticole n'a fait l'objet que d'un nombre réduit de travaux. Jones et Davis (2000) ont recherché à mettre en relation les situations météorologiques de l'ensemble du Bordelais avec la

phénologie de la vigne et la qualité du millésime. Mais cette approche globale fort intéressante ne visait pas à mettre en exergue la diversité spatiale des conditions climatiques. On ne compte guère que les travaux de Duteau et de ses collaborateurs (Duteau et Seguin, 1977 ; Duteau *et al.*, 1981) qui se sont focalisés sur des aires d'appellations particulières, telles que les vignobles de Bourg et de Saint-Émilion, ou encore les travaux sur le Médoc de Pijassou (1980). Deux analyses synthétiques portant sur l'ensemble du département de la Gironde ont été réalisées par l'INRA (Heynard, 1956) ou Météo-France (in Géographie Active, 1993), mais aucune d'entre elles ne porte une attention particulière aux vignobles bordelais.

Dans ce contexte, des travaux de recherche concernant la variabilité climatique en Gironde viticole, financés par le Conseil interprofessionnel du vin de Bordeaux (CIVB), ont été entrepris depuis 2004. Cet article présente les principaux résultats de ces récents travaux ainsi que des résultats d'études antérieures sur la variabilité spatiale et temporelle du climat bordelais.

## Le climat de la Gironde

### Un climat océanique tempéré assez doux

Le climat de la Gironde peut être qualifié de tempéré doux, sous forte influence océanique. Le climat de Bordeaux se distingue du climat méditerranéen par l'absence de période de sécheresse en été et par des températures légèrement plus fraîches, avec une plus faible amplitude thermique (figures 1A et 1B). À l'inverse d'un régime semi-continental, comme celui observé en Alsace (figure 1C), le climat de Bordeaux reçoit des précipitations plus abondantes en hiver qu'en été.

Cette saisonnalité des précipitations est due dans une très large mesure aux perturbations associées à des flux d'ouest et de nord-ouest de masses d'air majoritairement polaire, venant de l'Océan Atlantique (Jones et Davis, 2000 ; figure 2A). Cette situation, bien qu'amoindrie en début de saison de végétation, se poursuit jusqu'au mois de juin, ce qui induit un début de saison généralement favorable aux champignons parasites de la vigne, tels que le mildiou, dont le développement est favorisé par une humidité élevée et des températures douces.

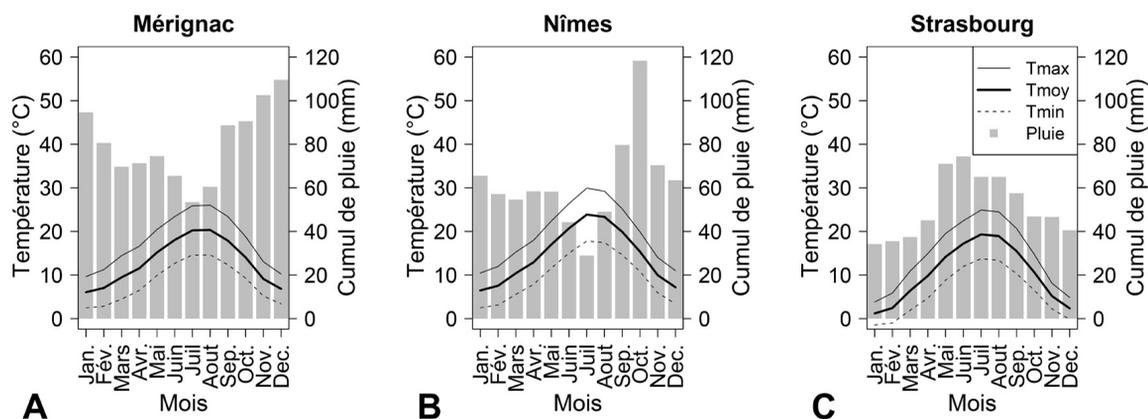


Figure 1 - Diagrammes ombrothermiques des normales climatiques sur cinquante ans (période 1952-2001) pour trois villes de France situées en zone viticole. **A** : Mérignac (Bordelais) ; **B** : Nîmes (Côtes du Rhône Méridionales / Languedoc) ; **C** : Strasbourg (Alsace). Données Météo-France.

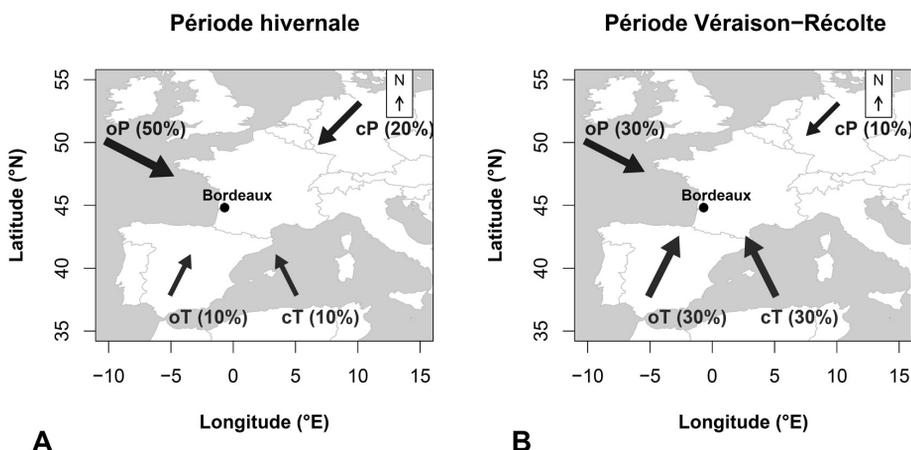


Figure 2 - Cartes simplifiées d'affluence des quatre principales masse d'air sur le Bordelais : air océanique polaire (oP), air continental polaire (cP), air océanique tropical (oT), air continental tropical (cT). **A** : période « hivernale » (approximativement octobre à mi-mars) ; **B** : véraison-récolte (approximativement mi-août à fin septembre). D'après Jones et Davis (2000).

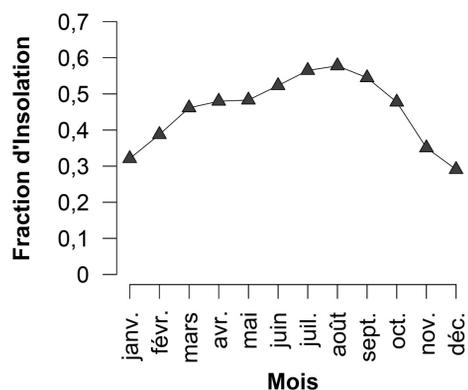


Figure 3 - Normales cinquantennaires (1952-2001) des fractions d'insolation mensuelles enregistrées à la station météorologique de Mérignac. La fraction d'insolation est le quotient de la durée d'insolation par la durée du jour, pour une période donnée (ici mensuelle). Données Météo-France.

En fin d'été, de l'air plus chaud arrive par flux de sud-est/sud-ouest (figure 2B), en association avec l'anticyclone des Açores. L'insolation est majoritaire de juin à septembre (figure 3), avec un maximum en août. Durant ce mois, le soleil brille en moyenne durant environ 60 % de la durée du jour, assurant de bonnes conditions pour la maturation du raisin.

### Potentialités agronomiques viticoles du climat bordelais

Température et précipitations sont deux facteurs du climat qui influencent considérablement la qualité du raisin.

L'indice héliothermique d'Huglin, basé sur le cumul des températures moyennes et maximales supérieures à 10 °C, est fortement corrélé avec la teneur en sucres des raisins à maturité (Huglin, 1978). Son évolution, depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, traduit une période plus fraîche au cours des années 1970, suivie d'une augmentation significative de la température durant les années 1980 (figure 4A). L'indice héliothermique dépasse aujourd'hui

fréquemment les 2 000 °C.J, valeur semblable à celle obtenue dans les années 1970 en Côtes du Rhône méridionales. Cette augmentation de température, associée à une amélioration des techniques viticoles, a permis de réduire considérablement la chaptalisation depuis une vingtaine d'années.

L'indice de fraîcheur des nuits, proposé par Tonietto et Carbonneau (2004), correspond à la moyenne des températures minimales du mois qui précède généralement la récolte. Cet indice vise à traduire l'effet positif des nuits fraîches sur la teneur en anthocyanes et le potentiel aromatique du raisin. La région de Bordeaux est classée comme zone viticole à « nuits fraîches ». Toutefois l'indice de fraîcheur des nuits a gagné plus d'un degré et demi depuis les années 1970 (figure 5), ce qui rapproche aujourd'hui Bordeaux de la classe « nuits tempérées », où l'on retrouve actuellement les vignobles français méridionaux (Montpellier, Bastia).

Il est important de souligner que ces changements climatiques concernent essentiellement la température, et qu'en dépit des sécheresses estivales prévues par les rapports du Groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC, 2007), l'évolution récente des précipitations en été ne traduit à long terme aucune tendance particulière : à Bordeaux, une période d'étés plutôt secs depuis l'an 2000 fait suite à une décennie 1990 d'étés globalement plus humides, laquelle succède à de fréquentes sécheresses estivales dans les années 1980 ! Notons de surcroît que les orages estivaux accentuent ce caractère très fluctuant des précipitations estivales. L'évolution temporelle des régimes de pluie en été diffère entre les différentes régions viticoles françaises : alors que les étés des années 1990 furent marqués par des cumuls en moyenne élevés à Bordeaux, on observe pour la même période des cumuls estivaux assez faibles à Strasbourg (figure 4B).

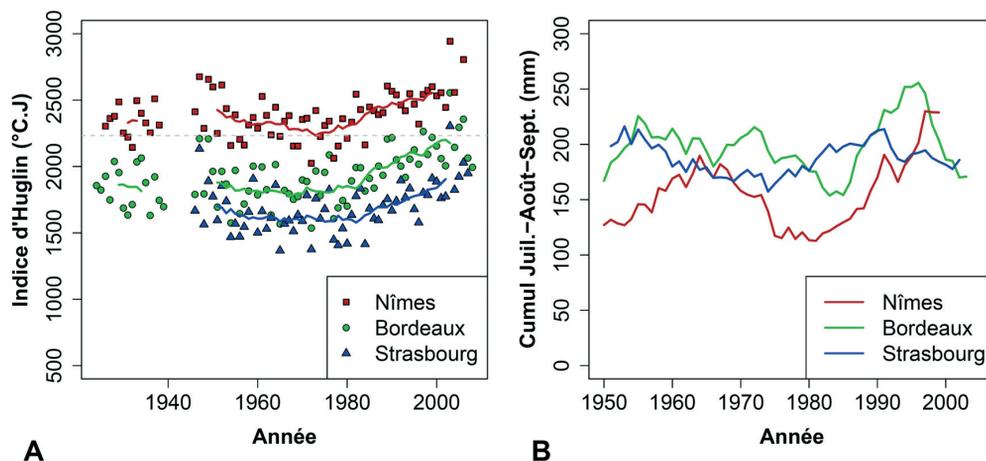


Figure 4 - Évolution de l'indice héliothermique d'Huglin (A) et des cumuls estivaux moyens de précipitations (B) depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, pour trois villes situées en zone viticole. Sur chaque figure, les courbes épaisses représentent les moyennes glissantes sur 11 ans (c'est-à-dire la moyenne de la période allant des cinq années qui précèdent aux cinq années qui suivent chaque un millésime). NB : Par souci de lisibilité, les cumuls de pluies estivales pour chaque année n'apparaissent pas ici (seules les moyennes glissantes sur 11 ans sont représentées). Données Météo-France.

## Climat et terroirs bordelais

Les nombreuses études pédologiques depuis les années 1970 ont permis de mettre en évidence la grande diversité de type de sols en Gironde viticole (Seguin, 1970 ; Van Leeuwen, 1991 ; Choné, 2001 ; Christen *et al.*, 2006). Les mêmes auteurs ont montré que ces sols participaient dans une très large proportion à définir la typicité des vins de Bordeaux, notamment par l'impact qu'ont ces derniers sur le régime hydrique de la vigne.

De récents travaux (Bois, 2007) établissent que le climat est également un facteur majeur de la diversité des terroirs bordelais. Les températures mesurées dans les différentes aires d'appellation de Gironde viticole traduisent des écarts pouvant excéder 1 °C en moyenne, durant la saison de végétation de la vigne.

La variabilité spatiale des températures est associée à différents facteurs environnementaux. Les vignobles situés à proximité de l'océan Atlantique sont marqués par une faible amplitude thermique. L'estuaire de la Gironde joue également un rôle de régulateur thermique et adoucit, sur une courte distance (environ 15 km), les températures minimales. Enfin, les vignobles de la Communauté urbaine de Bordeaux, bénéficiant certainement de l'influence d'un îlot de chaleur urbain, affichent

une plus grande précocité associée à des températures plus élevées.

Ainsi, la variabilité spatiale des régimes thermiques de la Gironde, sous l'influence du relief et de l'occupation du sol, se maintient d'un millésime à l'autre : il existe des vignobles systématiquement plus chauds que d'au-

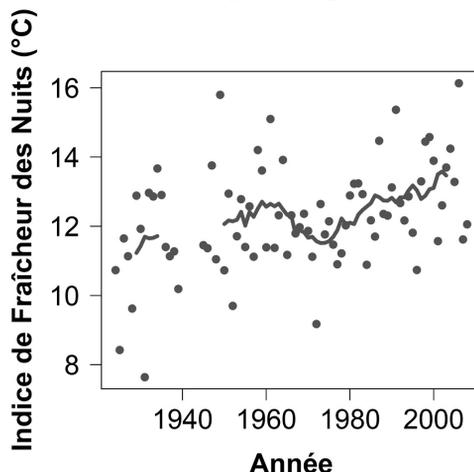


Figure 5 - Evolution de l'indice de fraîcheur des nuits (moyennes des températures minimales du mois de septembre) depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, à la station météorologique de Mérignac. La courbe épaisse correspond à la moyenne glissante sur 11 ans. Données Météo-France.

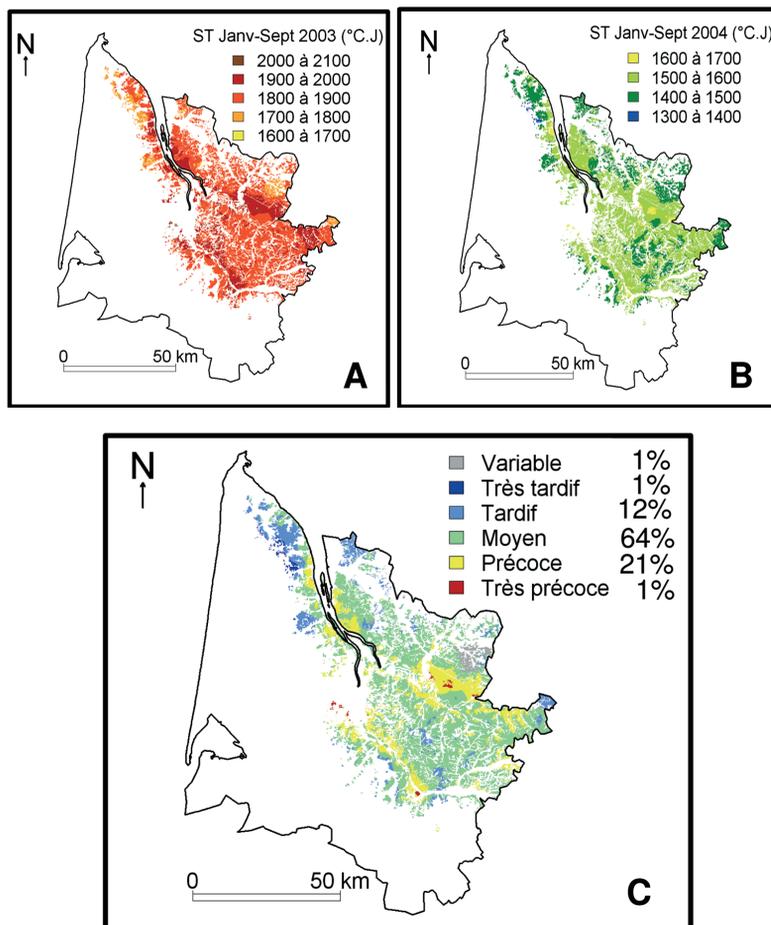


Figure 6 - Cartes des sommes des températures supérieures à 10 °C du 1<sup>er</sup> janvier au 30 septembre (A et B) et zonage thermique de la Gironde viticole (C). **A** : sommes des températures en 2003 ; **B** : sommes des températures en 2004 ; **C** : zonage, basé sur les cartes de sommes des températures de 2001 à 2005. La classe « variable » correspond aux zones pour lesquelles le classement (en terme de régime thermique) varie excessivement d'une année à l'autre. Données sources : Météo-France, INRA, DE.MET.E.R. Cartographie : B. Bois et D. Joly.

tres, associés à une plus grande précocité du développement de la vigne et de la maturation du raisin pour un même cépage.

Les cartes de sommes de températures supérieures à 10 °C, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 septembre, traduisent bien les différences des régimes thermiques entre les aires d'appellation du Bordelais (figure 6A et 6B). En 2003 (année particulièrement précoce, du fait notamment de la canicule du mois d'août), comme en 2004 (année plutôt tardive), on retrouve les mêmes zones « chaudes » et les mêmes zones « fraîches ».

L'assez bonne cohérence entre ces cartes et les observations phénologiques a permis d'établir un zonage thermique de la Gironde viticole (figure 6C). Cinq classes renseignent sur la précocité relative des différents vignobles de Gironde, en réponse à la température. L'intervalle inter-classe correspond à des écarts de 42 à 79 degrés.jours, ce qui potentiellement peut traduire une différence de date de maturité de 6 à 11 jours pour un même cépage. Les vignobles apparaissant quasi systématiquement comme les plus frais sont ceux situés à proximité de la forêt des Landes dans le Médoc, dans le nord du Blayais et dans l'extrême est de l'Entre-deux-Mers. À l'inverse, le Sauternais, le Médoc en bordure d'estuaire, le Bourgeais, le plateau de Saint-Émilion et l'AOC Pessac-Léognan affichent les sommes de températures les plus élevées.

On remarque que l'encépagement bordelais n'est pas forcément en accord avec ce zonage : il semble par exemple que la partie occidentale du Médoc, plus fraîche, pourrait potentiellement tirer profit de cépages précoces comme le Merlot, et qu'au contraire, il existe un bon potentiel thermique pour la maturation du Cabernet-Sauvignon dans certaines zones du Bourgeais, ou encore à Saint-Émilion. Bien entendu, le choix du cépage repose également sur d'autres facteurs (typicité des vins recherchée, sols, etc.).

Si les écarts relatifs de température entre les différents vignobles du Bordelais se maintiennent d'une année sur l'autre, ce n'est pas le cas des précipitations. Bien qu'en moyenne pour la période 1994-2005, on constate sur l'année (figure 7A) comme sur la saison végétative, un gradient de l'ouest vers l'est de cumuls décroissants, les cartes de précipitations estivales changent considérablement d'une année à l'autre : tantôt l'Entre-deux-Mers oriental est la région la plus humide, tantôt c'est le Médoc. Les cartes de fréquences de classements relatifs des régimes de pluie d'été sur la période 1994-2005 (figures 7B et 7C) mettent en évidence cette variabilité inter-annuelle. Presque aucune zone du Bordelais est classée comme ayant un régime de pluies estivales « plutôt sec » ou « plutôt humide » dans plus de 60 % des cas. On peut simplement dire que la zone de Pessac-Léognan est rarement classée comme une zone à étés relativement secs, et que l'est de l'Entre-deux-Mers a rarement des étés humides.

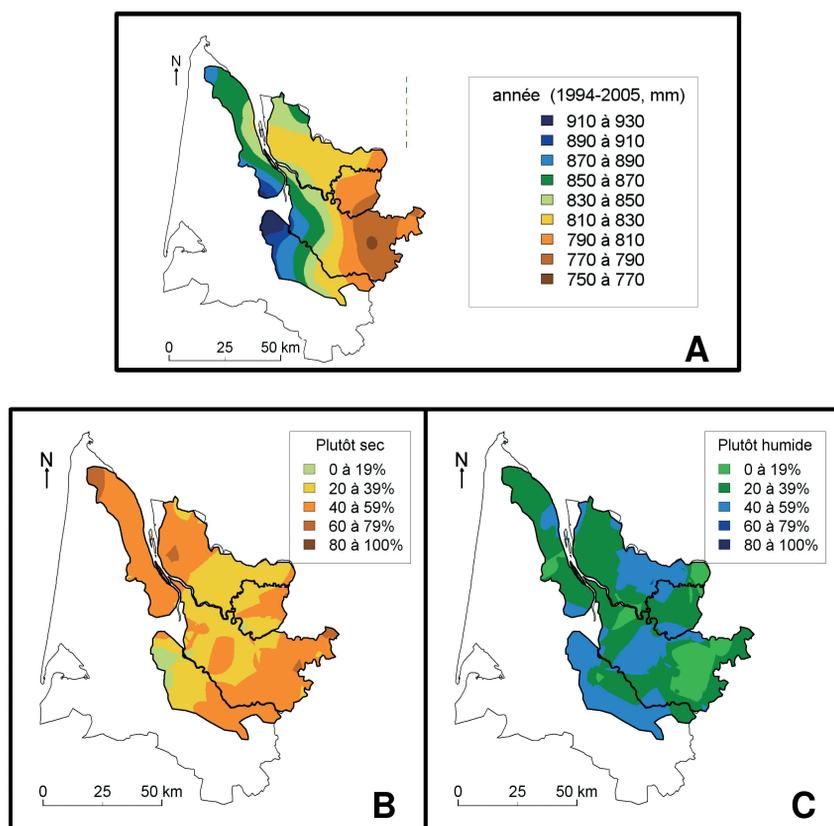


Figure 7 - Carte de la moyenne des cumuls annuels de précipitations (période 1994-2005 ; A) et cartes des fréquences estivales (de juillet à septembre) de classifications relatives des zones viticoles comme « sèches » (B) ou « humides » (C), en Bordelais. Ces deux dernières cartes renseignent sur la possibilité qu'une zone viticole soit systématiquement moins arrosée ou plus arrosée en été, que les autres zones de Gironde viticole. Données sources : Météo-France, INRA, DE.MET.E.R. Cartographie : B. Bois.

Notons toutefois que ces résultats ont été obtenus sur une période assez courte (12 ans), et qu'il est possible que des caractéristiques spatiales émergent sur une plus longue période.

Au vu de ce dernier zonage, il semble donc que c'est davantage la nature des sols que le climat qui caractérise les écarts de régime hydrique de la vigne entre les différentes aires d'appellation des vins de Bordeaux.

## Conclusion

Avec environ 120 000 ha, le Bordelais dispose de la surface d'appellation d'origine la plus étendue de France. Sur une telle superficie, le milieu naturel offre une grande diversité de sols et d'ambiances climatiques. Si la répartition spatiale des sols reste la même d'une année sur l'autre, le climat est marqué par une forte variabilité inter-annuelle. Il implique inévitablement une modification de la pression phytosanitaire, du développement de la vigne et de la maturation du raisin, et ce tant d'une année sur l'autre, que sur le long terme.

Les changements climatiques participent aujourd'hui et participeront demain à l'évolution de la typicité des vins bordelais. Il paraît donc important de raisonner le choix des techniques de production au vignoble et du matériel végétal en accord avec les changements probables des potentialités climatiques. Mais outre la prise en considération de l'évolution future du climat, il est avant tout essentiel de tenir compte des différences notables de températures qu'il existe au sein même de la Gironde viticole. Ces dernières peuvent induire des écarts de maturation de presque un mois entre deux vignobles du Bordelais, pour un même cépage. Même si le climat tend à poursuivre son réchauffement à l'avenir, il est fort probable que ces écarts relatifs entre aires d'appellation se maintiennent, car les facteurs environnementaux qui influencent la température (relief, masses d'eau, urbanisation) n'évolueront que très lentement dans le futur. Il convient donc de choisir le matériel végétal (cépage, porte-greffe) le mieux adapté aux conditions climatiques locales, pour permettre de tirer le meilleur des millésimes à venir.

**Remerciements** : Les travaux présentés ici ont été réalisés grâce au soutien du CIVB. Merci à MM. Philippe Chéry et Étienne Saur (ENITA de Bordeaux), Philippe Pieri et Jean-Pierre Gaudillère (INRA), Daniel Joly (CNRS), Didier Grimal et Jean Congnard (Météo-France), Régis Lavielle (DE.MET.E.R) pour leur participation à ces travaux.

## Références bibliographiques

BOIS B., 2007. Cartographie agroclimatique à méso-échelle : méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en Gironde viticole. Conséquences pour le développement de la vigne et la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat*, Université de Bordeaux II.

BUTTROSE M. S., 1969. Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, **8**, 280-285.

BUTTROSE M. S. and HALE C. R., 1973. Effect of temperature on development of the grapevine inflorescence after bud burst. *American Journal of Enology and Viticulture*, **24**, 14-16.

BUTTROSE M. S., HALE C. R. and KLEWER W. M., 1971. Effect of the temperature on the composition of Cabernet-Sauvignon berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, **22**, 71-75.

CHONÉ X., 2001. Contribution à l'étude des terroirs bordelais : Étude de l'influence des déficits hydriques modérés et de l'alimentation en azote

sur le potentiel aromatique des raisins de *Vitis Vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon blanc. *Thèse de Doctorat*, Université Bordeaux II.

CHRISTEN M., CHERY P., MONIMEAU A., LARCHÉ J. F., LEE A. et COMAGNAC L., 2006. *Appellation d'Origine Contrôlée Côtes de Bourg, Cartographie des sols au 1:25000 : Typologie des sols viticoles, unités de terroirs, préconisations viticoles*. École Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux, Bordeaux. 56 p.

CHUINE I., YIOU P., VIOVY N., SEGUIN B., DAUX V. and LE ROY LADURIE E., 2004. Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, **432**, 289-290.

DUTEAU J., GUILLOUX M. et SEGUIN G., 1981. Influence des facteurs naturels sur la maturation du raisin, en 1979, à Pomerol et Saint-Émilion. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, **15**, 1-27.

DUTEAU J. et SEGUIN G., 1977. Le vignoble des Côtes de Bourg : les sols, le climat. Influence sur la croissance des sarments et sur la maturation du raisin. *Connaissance de la Vigne et du Vin*, **11**, 1-50.

GÉOGRAPHIE ACTIVE, 1993. *Atlas de la Gironde*. Ed. Association Géographie Active.

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève. 103 p.

HEYNARD F., 1956. Contribution à l'étude du climat bordelais. *La Météorologie*, **4**, 1-12.

HUGLIN P., 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.-R. de l'Académie de l'Agriculture de France*, **64**, 1117-1126.

JONES G. V. and DAVIS R. E., 2000. Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *International Journal of Climatology*, **20**, 813-837.

KLEWER W. M., 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, **28**, 96-103.

LEBON E., PELLEGRINO A., TARDIEU F. and LECOEUR J., 2004. Shoot development in grapevine (*Vitis vinifera*) is affected by the modular branching pattern of the stem and intra- and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*, **93**, 263-274.

MORI K., SAITO H., GOTO-YAMAMOTO N., KOBAYASHI S., KITAYAMA M., SUGAYA S., GEMMA H. et HASHIZUME K., 2005. Effects of abscisic acid treatment and night temperatures on anthocyanin composition in Pinot noir grapes. *Vitis*, **44**, 161-165.

PIJASSOU R., 1980. *Un grand vignoble de qualité : Le Médoc*. Éd. Jules Tallandier, Paris.

ROUJOU DE BOUBÉE D., VAN LEEUWEN C. and DUBOURDIEU, D., 2000. Organoleptic impact of 2-methoxy-3-isobutylpyrazine on red Bordeaux and Loire wines. Effect of environmental conditions on concentrations in grapes during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48**, 4830-4834.

SEGUIN G., 1970. Les sols du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat*, Université de Bordeaux II.

SPAYD S. E., TARARA J. M., MEE D. L. and FERGUSON J. C., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, **53**, 171-182.

TONIETTO J. and CARBONNEAU A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, **124**, 81-97.

VAN LEEUWEN C., 1991. Le vignoble de Saint-Émilion : Répartition des sols et fonctionnement hydrique. Incidences sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin. *Thèse de Doctorat*, Université Bordeaux II.

VAN LEEUWEN C., FRIANT P., CHONÉ X., TRÉGOAT O., KOUNDOURAS S. and DUBOURDIEU D., 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, **55**, 207-217. ■