

Température et dates de vendanges en France *Temperatures and grape harvest dates in France*

Valérie DAUX *¹, Pascal YIOU¹, Emmanuel LE ROY LADURIE², Olivier MESTRE³,
Jean-Michel CHEVET⁴ et l'équipe d'OPHELIE⁴

¹ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR CEA-CNRS
L'Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette, France

valerie.daux@lsce.ipsl.fr

* également Université Pierre et Marie Curie, Paris

² Institut de France, 23 quai Conti, 75006 Paris, France

em.ladurie@wanadoo.fr

³ Météo France, 42 avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse, France

⁴ INRA-CORELA, 65 boulevard de Brandebourg 94205 Ivry-sur-Seine cedex, France

chevet@ivry.inra.fr

Résumé

La vigne est une plante méditerranéenne, robuste et pérenne. Son cycle annuel de développement dépend du climat — particulièrement de la température. Les vendanges ont lieu quand les raisins sont parvenus à maturité. La date à laquelle se déroulent les vendanges, qui peut être influencée par le contexte socio-économique, n'est pas un paramètre exclusivement phénologique. Elle est néanmoins fortement liée aux températures printano-estivales.

Nous cherchons ici à quantifier les relations entre les dates des vendanges et les moyennes mensuelles des températures diurnes pour, *in fine*, utiliser le paramètre « dates de vendanges » comme marqueur de l'évolution climatique. Les séries de dates de vendanges dont nous disposons pour cette calibration proviennent des vignobles de Bourgogne, de Champagne, de Bordeaux, d'Alsace et de Touraine.

Les meilleures corrélations sont obtenues entre dates de vendanges et températures maximales moyennées sur la période avril-août. Le moment de la maturité dépend au premier ordre de la température ; il existe néanmoins des différences entre les dates de maturité des cépages. De fait, les meilleures corrélations (coefficients de corrélation les plus forts) sont obtenues quand on ne considère qu'une seule variété dans une régression (e.g. différentes variétés de cépages alsaciens/températures : $R^2=0.4$; Riesling/températures : $R^2=0.8$). Les pentes des différentes régressions testées sont proches de -0.1 : quels que soient la variété et le site, 1°C d'augmentation de température retarde de dix jours la date des vendanges. Le potentiel des dates de vendanges pour estimer les températures pendant la période de croissance est élevé. Toutefois, l'interprétation des longues séries de dates de vendanges en termes climatiques peut se révéler délicate. En effet, des causes non climatiques (amélioration des techniques de vinification, modifications politico-économiques) peuvent entraîner une « distorsion » des séries de dates de vendanges.

Abstract

Grapevine is a Mediterranean, hardy, perennial plant. Its development annual cycle strongly depends on climate — especially temperature. Grape harvest occurs when the grape has reached maturity. Though grape harvest date, which is influenced by the socio-economical context, is not a phenological parameter it is linked to the spring-summer mean temperature. We investigate the relations between grape harvest dates and regional monthly temperatures for vines from Burgundy, Champagne, Bordeaux, Alsace and Touraine areas.

The best correlations are obtained for April to August mean temperatures versus dates. The time of grape maturity depends not only on temperature but also on grape variety. Not surprisingly, the best correlations (highest correlation coefficients) are obtained for regressions involving single varieties (e.g. Alsace vines (several varieties)/temperature: $R^2=0.4$;

Riesling, a variety of Alsace vine/ temperature: $R^2=0.8$). The slopes of the different regressions tested are all close to -0.1: whatever the area and the grape variety, a 1°C increase in the April to August mean temperature results in 10 days delay for the grape harvest. The potential of grape harvest dates as a temperature proxy is high. However, non climatic effects (improvement of wine making methods, politico-economic changes, etc.) can distort the grape harvest series. Therefore, using the "grape harvest dates" parameter requires a case-by-case study of the evolution of viticultural practices.

* * *

Le quatrième rapport scientifique du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, février 2007) conclut qu'il est « *extrêmement invraisemblable* » que le changement climatique mondial des cinquante dernières années puisse être expliqué par les seules « causes naturelles ». Si ce rapport laisse peu de doute sur l'incidence des actions humaines sur le climat, il importe toutefois de poursuivre les efforts de caractérisation de la variabilité naturelle, pré-industrielle, du climat pour améliorer la compréhension du système climatique et de ses forçages ; et modéliser au mieux son évolution future.

Les données instrumentales disponibles sont nombreuses, en Europe du moins, pour le XX^e siècle, beaucoup plus rares avant 1880. Dans le domaine continental (non glaciaire), seules les données dendroclimatologiques (épaisseur, densité et composition isotopique des cernes d'arbres) et de rares sources historiques offrent une résolution annuelle. Nous cherchons ici à explorer le potentiel des dates de vendanges pour *in fine* analyser la variabilité naturelle du climat en France aux époques pré-industrielles.

Le raisin atteint la maturité quand la vigne a « emmagasiné » une certaine quantité de chaleur. Les vendanges se produisant à maturité, il existe un lien entre les dates de vendanges et les températures printano-estivales (Chuine *et al.*, 2004). Les relations dates/températures n'ont pas la qualité de celles faisant intervenir des paramètres purement phénologiques puisque des causes non climatiques peuvent présider au choix des dates de vendanges.

I. Travaux antérieurs : modélisation de la phénologie de la vigne (modèle A)

La phénologie des espèces ligneuses peut être simulée par des modèles qui expriment la dépendance entre processus de maturation et températures diurnes. Les paramètres pris en compte dérivent de l'analyse de longues séries d'observations phénologiques. Un modèle est adapté à décrire la phénologie d'une espèce, d'une variété dans le cas de la vigne. Chuine *et al.* (2004) ont ainsi utilisé des observations phénologiques récentes du développement du pinot noir réalisées entre 1964 et 2001 à Colmar (France), par l'INRA, pour modéliser la phénologie de cette variété. La maturation de la vigne dépend principalement des conditions de température des mois précédents. Avant la maturation, deux étapes importantes jalonnent le développement : la floraison et la véraison (c'est-à-dire le changement de couleur du raisin du vert au rouge ou au blanc), qui se produisent respectivement deux mois et un mois avant la maturité. La corrélation entre les dates de floraison, de véraison et de vendange est très bonne (par exemple, $R^2= 0.85$ entre véraison et vendanges) : le climat agit sur les dates de vendanges par son effet, « en amont », sur le développement de la vigne avant la floraison et la véraison. Le temps qui sépare la véraison de la vendange est assez constant et ne dépend pas de la température mais de l'état phytosanitaire du vignoble et de l'importance des précipitations. Le modèle utilisé par Chuine *et al.* (2004) permet de calculer des dates de véraisons — et donc de vendanges — à partir des températures. L'inversion de ce modèle permet la démarche inverse, c'est-à-dire le calcul de la moyenne des

températures maximales diurnes d'avril à août, période qui correspond à la floraison-véraison de la vigne.

Le modèle inversé a été utilisé pour reconstruire la variation des températures printano-estivales en Bourgogne depuis le XIV^e siècle. Cette reconstruction a mis en évidence en particulier un refroidissement abrupt du climat au cours des années 1690, début d'une longue période fraîche qui durera jusqu'aux années 1970, et le caractère exceptionnellement chaud de l'été 2003.

Le modèle A n'a, à ce jour, été paramétrisé que pour la seule variété pinot noir. Un des objectifs poursuivis dans le cadre du programme OPHELIE est de l'adapter à d'autres variétés. Les données nécessaires à la caractérisation des stades de développement (une trentaine d'années d'observations phénologiques rigoureuses et de données météorologiques journalières) ne sont toutefois pas disponibles pour toutes les variétés. Pour valoriser, en termes climatiques, les séries de dates de vendanges dont nous disposons pour la plupart des vignobles français (voir par ex. Le Roy Ladurie, 1983), nous avons cherché à caractériser les relations « dates de vendanges / températures » d'un point de vue statistique, à défaut de pouvoir encore modéliser la phénologie de chaque variété.

II. Calibration (modèle B)

Notre démarche consiste à tester l'existence de corrélations entre les dates de vendanges relevées dans un vignoble (un à plusieurs sites peuvent contribuer à l'établissement d'une série) et des données thermométriques. Les séries de dates de vendanges présentées ici appartiennent à cinq régions vinicoles françaises : l'Alsace, la Bourgogne, la Champagne, la Touraine et la région bordelaise (tableau I, figure 1). Les dates sont exprimées sous la forme de retard par rapport au 31 août. Ainsi, le 1^{er} septembre prend la valeur 1, le 1^{er} octobre la valeur 31, le 25 août la valeur -6, etc. Les données météorologiques auxquelles les dates de vendanges ont été comparées proviennent de Colmar (Haut-Rhin), Dijon (Côte-d'Or), Courcy (Marne), Orléans (Loiret) et Bordeaux (Gironde). Ces séries météorologiques ont été choisies pour leur proximité avec les vignobles étudiés et parce qu'elles sont homogénéisées (Caussinus et Mestre, 2004).

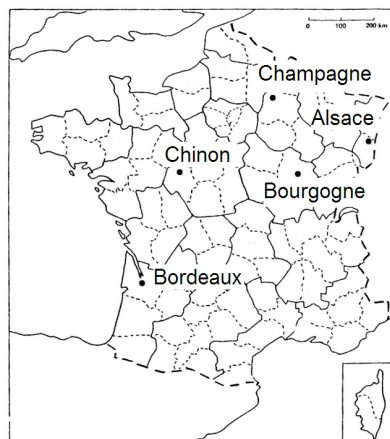


Figure 1. Situation des vignobles étudiés. Location of the vineyards.

Les séries de dates de vendanges et de températures présentent de nombreuses similitudes, aussi bien à l'échelle interannuelle que décennale ou pluri-décennale (figure 2). Les

meilleures corrélations (statistiquement significatives avec R max.) sont celles qui croisent les dates de vendanges avec les moyennes d'avril à août des températures maximales diurnes. Notons que cette période coïncide avec la période de croissance et de maturation de la vigne. Les valeurs des pentes (P) et des coefficients de corrélation (R²) des régressions températures/dates de vendanges sont données dans le tableau I.

Tableau I. Références des séries de dates de vendanges étudiées, sites météorologiques associés, pentes et coefficients de détermination des corrélations : températures moyennes (AMJJA) / dates de vendanges (jours après le 31 août)

References of the studied grape harvest dates, associated meteorological sites, slopes and correlation coefficients of the correlations: mean temperatures (AMJJA)/grape harvest dates (in days after August 1st)

Vignoble	Ref. Série	Site Météo	Pente	R ²
Alsace (Riesling)	Duchêne et Schneider (2005)	Colmar	-0,10	0,83
Champagne	Legrand (1978)	Courcy	-0,10	0,64
Bourgogne	Chuine <i>et al.</i> (2004)	Dijon	-0,11	0,65
Touraine	Legrand (1978)	Orléans	-0,10	0,56
Bordelais	Chevet et Soyer (2006)	Mérignac	-0,11	0,64

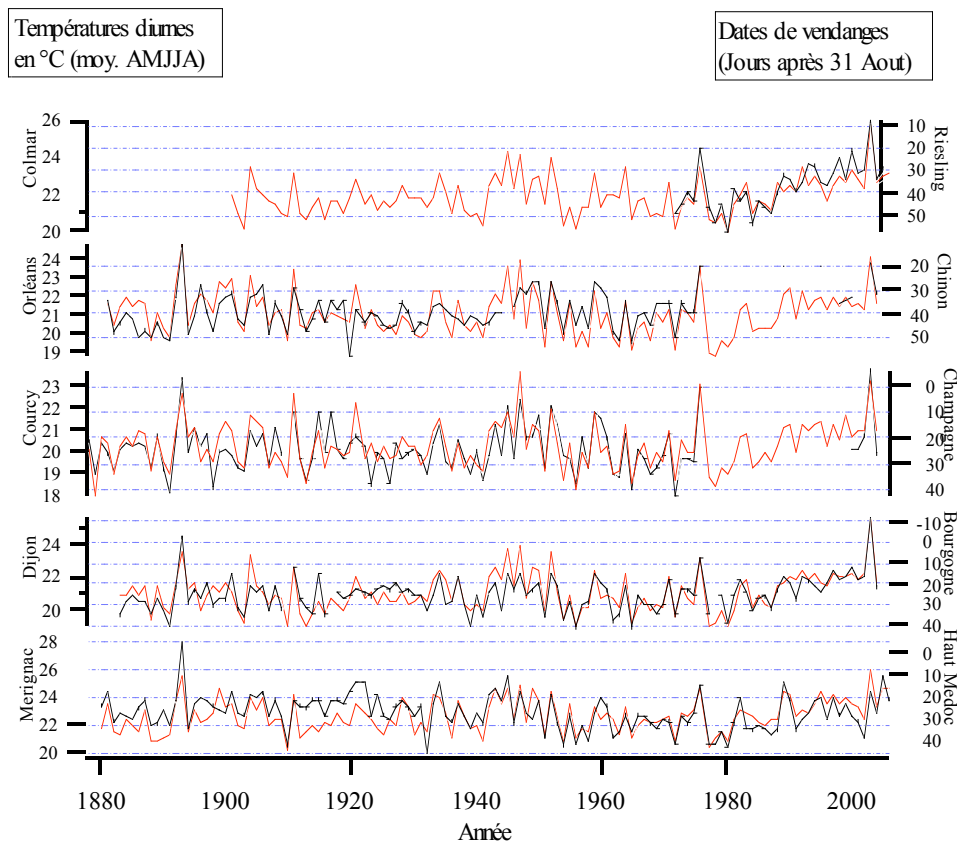


Figure 2. Séries de dates de vendanges (courbes noires, échelles de droites) et données météorologiques correspondantes (courbes rouges, échelles de gauche) en fonction du temps.

Grape Harvest dates series (black lines, right scale) and temperatures measured at the corresponding meteorological station (red line, left scale).

Les pentes des corrélations sont proches de -0.10 pour tous les vignobles (tableau I et figure 3). En d'autres termes, quelle que soit la précocité ou la tardivité des cépages et quelle que

soit la situation géographique (incluant sol, orientation et météorologie), **une variation de dix jours de la date des vendanges reflète une variation de 1°C de la température maximale diurne de la période de croissance (avril à août) : $\Delta T = -0.1 \times \Delta$ dates vendanges**. Cette valeur de pente est équivalente à celle déterminée pour les cépages américains de Californie et d'Oregon (G. Jones, comm. pers.).

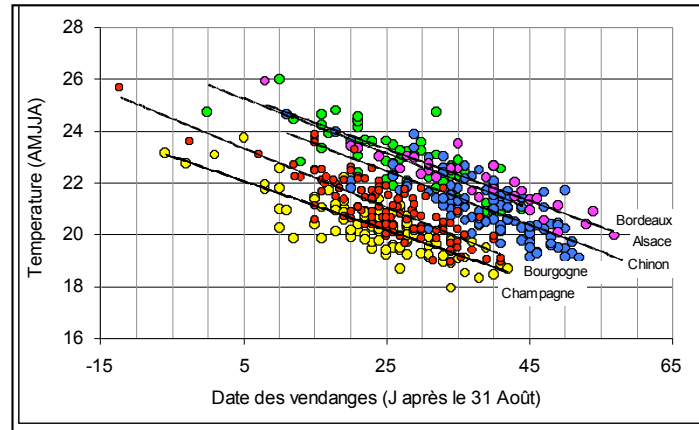


Figure 3. Corrélations entre dates de vendanges et moyennes des températures mensuelles diurnes sur la période avril à août pour des vignobles champenois, bourguignons, alsaciens, bordelais et tourangeaux. Pentes de régressions proches de $-0.1^\circ\text{C}/\text{jour}$.

Correlations between grape harvest dates et average April-August daily maximum temperatures for Champagne, Burgundy, Alsace, Bordeaux and Touraine (Chinon) vineyards. The slopes of the regressions are close to $-0.1^\circ\text{C}/\text{day}$.

III. Comparaison des reconstructions de températures en Bourgogne par les méthodes A et B

Le modèle B permet d'exprimer des différences de températures par rapport à une période de référence en fonction des différences de dates de vendanges ($\Delta t : -0.1 \Delta$ date). Par la suite (sauf cas contraire précisé), la période de référence est 1960-1989. La figure 4 présente les reconstructions des anomalies de températures printano-estivales (AMJJA) en Bourgogne depuis 1370, obtenues avec l'inversion du modèle phénologique (A) et en appliquant le coefficient de proportionnalité simple (B) ($-0.1^\circ\text{C}/\text{jour}$). Les reconstructions présentent de très fortes similitudes à toutes les échelles de temps. La reconstruction (B) tend à minimiser les valeurs extrêmes de températures. Par exemple, en 2003, la température est de plus 5°C au-dessus de la température moyenne de 1960-1989 d'après la reconstruction A ; elle est de 4°C au-dessus en B. La démarche statistique (B) ne nous apprend rien sur les mécanismes qui gouvernent la croissance de la plante ; elle n'apporte aucune information sur l'incidence du climat sur le développement du végétal. Toutefois, elle permet d'effectuer des reconstructions rapides qui restituent bien les tendances mais semblent sous-estimer les fortes températures.

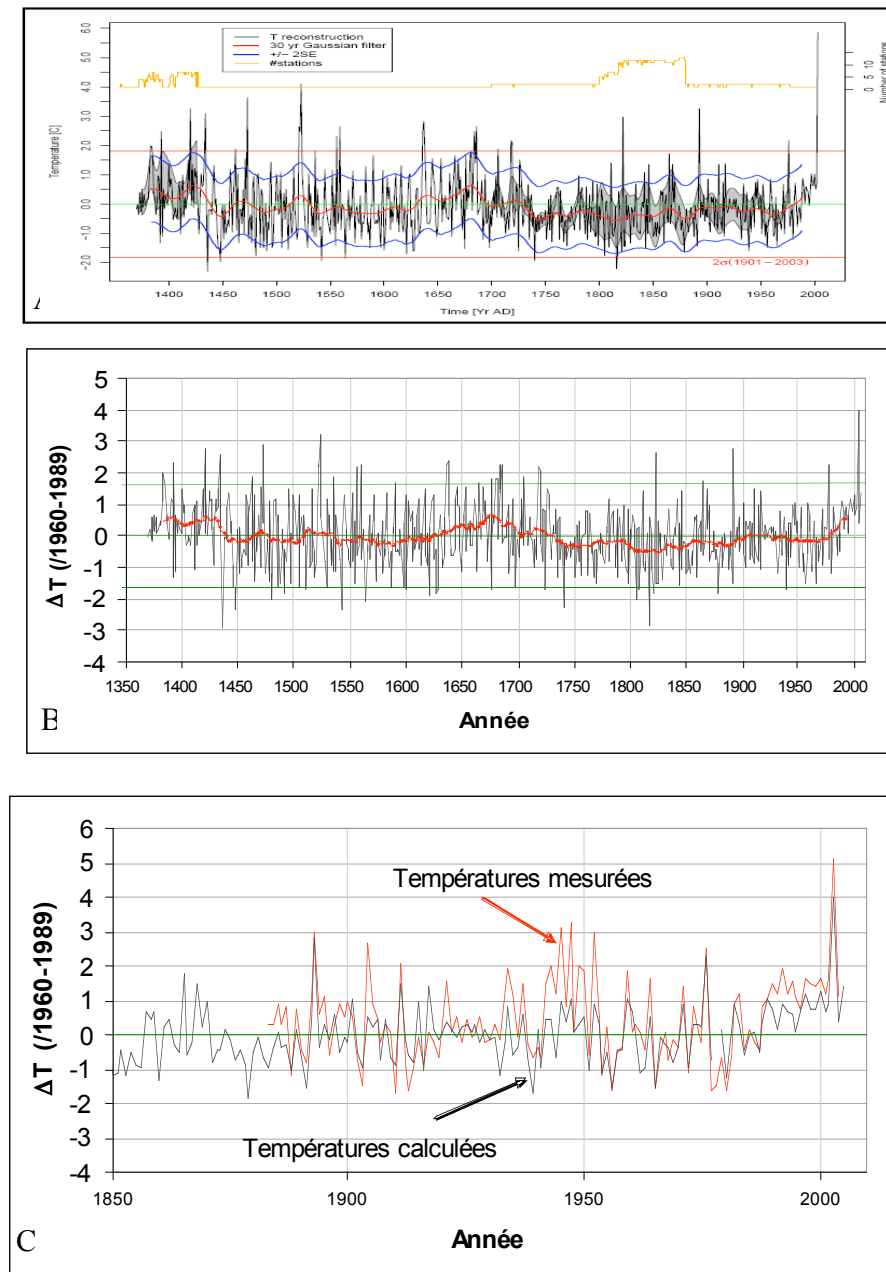


Figure 4. Variation au cours du temps des anomalies de températures, A) calculées à l'aide du modèle phénologique de Chuine et al. (2004), B) en utilisant le coefficient de régression déduit de la calibration ($\Delta T = -0.1 \times \Delta$ dates vendanges). C) Comparaison entre les anomalies de températures mesurées à Dijon et calculées à partir des dates de vendanges. Evolution through time of temperature anomalies, A) calculated with Chuine *et al.* (2004) phenological model, B) with a regression coefficient deduced from calibration ($\Delta T = -0.1 \times \Delta$ harvest dates). C) Comparison of the temperature anomalies measured at Dijon (Burgundy) and calculated from the grape harvest dates.

IV. Comparaisons des reconstructions obtenues dans plusieurs vignobles français

Des reconstructions d'anomalies de températures ont été réalisées pour différents vignobles. La figure 5 présente une comparaison entre le vignoble de Toul (Meurthe-et-Moselle, Lorraine ; données de L. Bonardi, ce volume) et la Bourgogne (Chuine *et al.*, 2004). En l'absence

de données récentes pour le vignoble de Toul, nous avons opté pour une période de référence d'une trentaine d'années couverte par les deux séries, arbitrairement la période 1752-1782. Les deux courbes sont presque superposables. Les données lorraines et bourguignonnes sont totalement indépendantes ; il n'y a ni continuité géographique ni connexion historique entre les deux vignobles. Ces vignobles sont situés dans le nord-est de la France. La région de Dijon est un peu plus chaude que celle de Toul. Par exemple, la moyenne des températures maximales d'avril à août sur la période 1883-2004 est de 21,1 à Dijon et 19,7 à Nancy (Meurthe-et-Moselle, Lorraine ; données Météo France). La similitude des courbes d'anomalies de températures de la figure 5 montre 1) qu'il existe une forte connexion climatique entre les deux régions, 2) que les variations des dates de vendanges sont bien liées à la variabilité des températures printano-estivales (pendant la période d'enregistrement commune aux deux vignobles au moins).

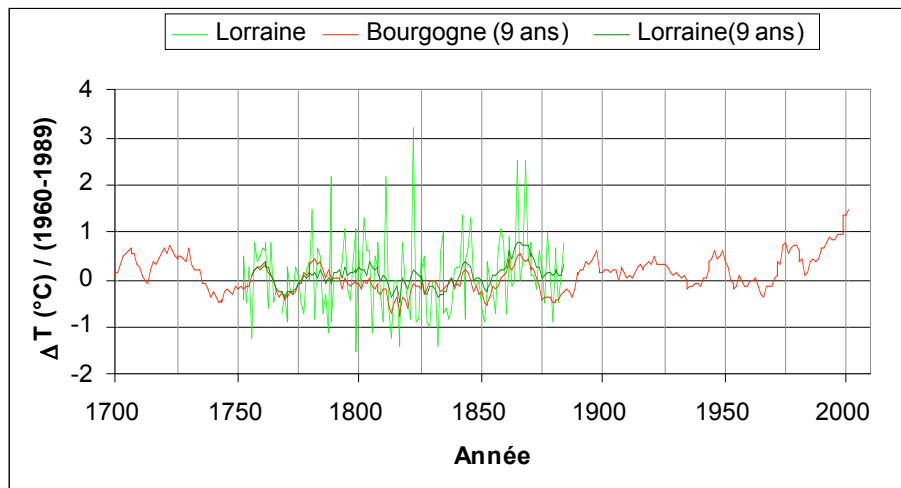


Figure 5. Variation des anomalies de températures (ΔT) en Lorraine de 1752 à 1884 et en Bourgogne depuis 1700. La période de référence est 1752-1782. Les courbes épaisses sont des courbes lissées avec une bande de neuf ans. Variation of the temperature anomalies in Lorraine from 1752 to 1884 and in Burgundy from 1700. The reference time is 1752-1782. Bold lines correspond to data averaged over 9 years.

La figure 6 présente une comparaison entre les vignobles de Bourgogne, de Chinon (Touraine) et du Haut-Médoc (Bordeaux ; données Chevet et Soyer, 2006). Ici encore, il y a des similitudes frappantes entre les trois courbes. En particulier, les variations pluri-décennales (50-100 ans) sont synchrones et d'amplitudes comparables. Toutefois, la courbe du Haut-Médoc est décalée vers des températures plus chaudes au cours du XIX^e et au début du XX^e siècle. Si l'on interprète cette courbe directement (sans questionnement sur la validité des dates de vendanges), on conclut que, dans cette région, les températures étaient plus élevées au cours des années 1775 à 1950 qu'actuellement. Cependant, la comparaison des anomalies de températures mesurées et calculées sur les cent vingt dernières années (figure 7) invalide cette conclusion. En effet, de 1880 à 2006, les températures mesurées ont, en effet, augmenté de 1°C quand les températures calculées à partir des dates de vendanges présentent une tendance à la baisse de 0.6°C.

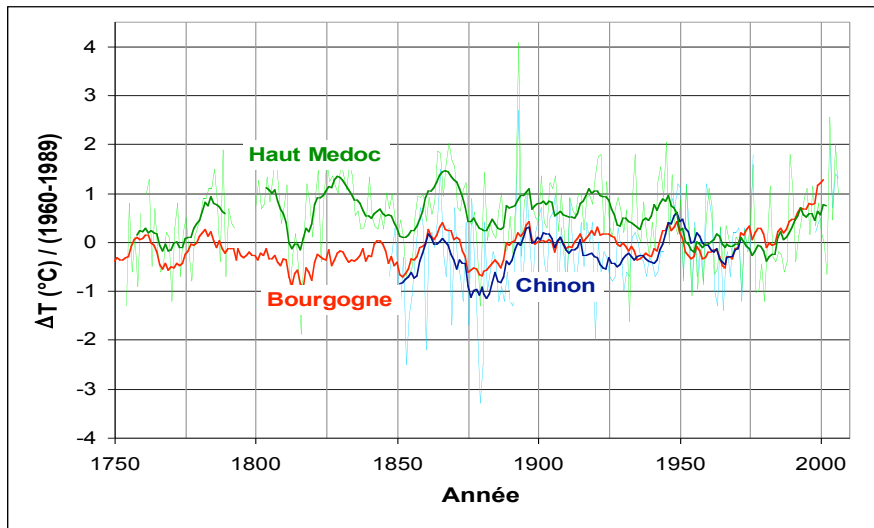


Figure 6. Variation au cours du temps des anomalies de température calculées à partir des dates de vendanges des vignobles bourguignons, de Chinon (Touraine) et du Haut-Médoc (Bordeaux).
Evolution with time of temperature anomalies calculated from the grape harvest dates from Burgundy, Chinon (Touraine) and Haut-Médoc (Bordeaux) vineyards.

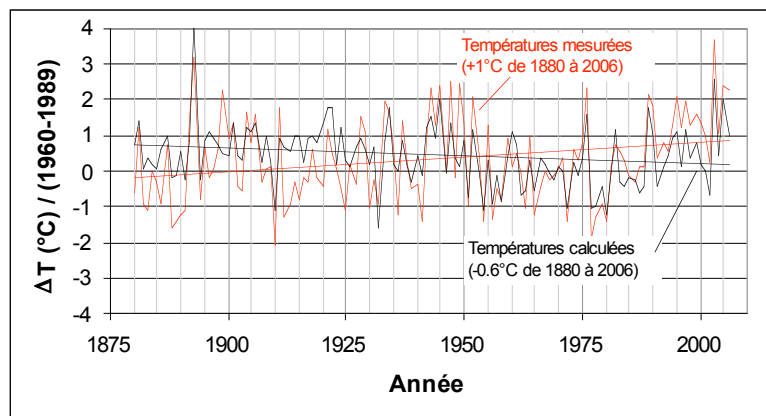


Figure 7. Variation des anomalies de températures mesurées (en rouge) et calculée (en noir) à partir des dates de vendange en Haut-Médoc (Bordeaux).
Variation of the temperature anomalies measured (red lines) and calculated from grape harvest dates (black lines).

Les pratiques viticoles dans la région bordelaise ont évolué depuis 1960 (qui est par coïncidence le début de la période de référence). En particulier, les viticulteurs cherchent, depuis cette période, à retarder les dates de vendanges pour améliorer les caractères organoleptiques du vin. Il est vraisemblable qu'elles ont ainsi été repoussées de cinq à dix jours par rapport aux dates qui auraient été choisies avant 1960¹. Si les vendanges ont été ainsi retardées, les dates avant et après 1960 ne sont pas directement comparables et la normalisation à la période 1960-1989 a pour effet de faire paraître plus chauds les temps qui ont précédé. En d'autres termes, la courbe des anomalies de températures du Haut-Médoc se trouve artificiellement décalée vers les températures plus chaudes avant 1960. Un retard de cinq à dix jours produit un décalage de 0.5 à

¹ Discussions avec des membres de la profession exerçant dans le vignoble bordelais

1°C, ce qui correspond bien à la différence observée entre Haut-Médoc et Bourgogne. Cet exemple du Haut-Médoc souligne la nécessaire prise en compte des spécificités et de l'histoire de chaque vignoble pour interpréter les reconstructions de températures effectuées à partir des dates de vendanges.

Conclusion et perspectives

Les dates de vendanges sont des estimateurs exceptionnels, à résolution annuelle, des températures printano-estivales. Pour tous les cépages testés (riesling d'Alsace, pinot noir de Bourgogne) et régions viticoles (Pessac-Léognan, Chinon, Champagne) :

- la corrélation entre les dates de vendanges et les moyennes des températures maximales d'avril à août est forte ($R^2 \geq 0.6$) ;
- la relation qui lie les températures et les dates de vendanges est : $\Delta t = -0.1 \Delta$ dates de vendanges.

Pour effectuer des reconstructions de températures, il faudrait, idéalement, utiliser des dates de vendanges correspondant à un seul cépage. Cette condition ne peut pas toujours être remplie. En effet, quand il s'agit de dates de vendange historiques, les cépages sont rarement identifiés dans les registres. Par ailleurs, les changements de pratiques vendémiologiques au cours du temps introduisent dans les séries de dates de vendanges des ruptures (brutales ou progressives) dont l'origine n'est pas climatique. Quand de tels changements affectent les séries de dates de vendanges, l'interprétation de ces dernières en termes climatiques peut être totalement erronée. Des travaux sont en cours visant à détecter ces ruptures dans les séries de dates de vendanges (programme OPHELIE).

Remerciements

Tous nos remerciements à Luca Bonardi pour sa série de dates de vendanges de Toul.

Références bibliographiques

Chevet J.-M. et Soyer J.-P. (2006), Phénologie et climat dans le Haut-Médoc (1800-2005), *Vine phenology and climate in Bordeaux, since the beginning of the XIXth Century*, *VI^e Congrès international des Terroirs Viticoles*.

Chuine I., Yiou P., Viovy N., Seguin B., Daux V. et Le Roy Ladurie E. (2004), Grape harvest dates and temperature variations in France since 1370, *Nature*, 289-290, doi:10.1038/nature432289a.

Duchêne E. et Schneider C. (2005), Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agron. Sustain. Dev.* 25: 93-99.

Legrand J.-P. (1978), Fluctuations météorologiques, vendanges et activité solaire. *La Météorologie*, VI, 12.

Muller C. (1991), *Chronique de la viticulture alsacienne au XIX^e siècle*, Reber J.D. (éd.), Riquewihr, 263 p.

Muller C. (1995), *Chronique de la viticulture alsacienne au XX^e siècle*, Reber J.D. (éd.), Riquewihr, 256 p.