

Utilisation des sorties du modèle numérique ARPEGE-Climat pour la simulation d'un indice bioclimatique jusqu'à la fin du XXI^{ème} siècle dans le vignoble de Champagne

Elodie Briche*, **Gérard Beltrando***, **Claude Kergomard****, **Hervé QuénoI*****

*UMR 8586 PRODIG, CNRS/Université Paris-Diderot
C.C. 7001, 75205 Paris cedex 13, France
elodie.briche@univ-paris-diderot.fr
beltrando@univ-paris-diderot.fr

**Ecole Normale Supérieure, Département de Géographie
48, boulevard Jourdan 75014 Paris, France
claude.kergomard@ens.fr

***UMR 6554 LETG, Laboratoire COSTEL, CNRS/Université Rennes 2
Place du Recteur Henri le Moal 35043 Rennes Cedex, France
herv.quenol@uhb.fr

MOTS - CLÉS

Modèle ARPEGE-
Climat
Vignoble de
Champagne
Températures
Simulations
bioclimatiques

RÉSUMÉ

Les températures journalières minimales et maximales issues des sorties du modèle numérique ARPEGE-Climat, utilisé pour la prévision du climat futur, sont comparées à une station (Reims-Courcy) du vignoble de Champagne sur une période dite de « contrôle » de 1950 à 2000. Les simulations futures de la température pour trois scénarios A1B, A2, B1 permettent de calculer, jusqu'en 2100, l'indice bioclimatique de Huglin. Des hausses de températures annoncées par les scénarios du modèle pourraient entraîner un changement de type de climat au sein du vignoble, perturbateur pour l'économie viticole.

KEY WORDS

ARPEGE-Climate
model
Champagne vineyard
Temperatures
Bioclimatic
simulations

ABSTRACT

Use of outputs of ARPEGE-climat model for the simulation of a bioclimatic index until the end of the XXIst century in the Champagne vineyard

Daily minimum and maximum temperatures of ARPEGE-Climate model, used in future climate prevision, are compared to a synoptic station of Champagne vineyard (Reims-Courcy) on a "control" period (1950 to 2000). Temperatures simulations for three scenarios A1B, A2, B1 allow us to compute bioclimatic index of Huglin until 2100. Significant temperatures increase simulated by the model could lead to change the type of climate in the Champagne vineyard climate and could harm vineyard economy.

1. Introduction

Les nombreuses interrogations posées par le changement climatique engendrent une multitude de questions sur le fonctionnement futur des écosystèmes aux échelles spatio-temporelles fines car ce changement aura des répercussions locales sur certaines activités humaines telles que la viticulture. Dans ce contexte, les impacts possibles d'un changement climatique posent un certain nombre de questions ne serait-ce que pour anticiper l'adaptation de cette filière aux retombées majeures pour l'économie régionale. Dans ce contexte, des recherches agronomiques sont menées dans le but d'observer les impacts du changement climatique sur l'agriculture et notamment sur la viticulture (Seguin, 2004). Ainsi, ces recherches ont montré que les stades phénologiques sont plus précoces : par exemple, la date des vendanges est plus précoce de presque un mois en cinquante ans dans la région de Châteauneuf-du-Pape (Ganichot, 2002) et en Bourgogne (Chuine *et al.*, 2004). Ces premières constatations du changement climatique sont mises en relation avec d'autres études qui cherchent à évaluer les potentiels agroclimatiques présents et futurs de différentes régions viticoles. Jones (2005), Tonietto et Carbonneau (2004), ont tenté d'analyser les conséquences du changement climatique en évaluant le potentiel agroclimatique de différentes régions viticoles dans le monde à partir d'indices tels que les indices de sécheresse, indice de fraîcheur des nuits, bioclimatique de Huglin et en réalisant des simulations avec des données agronomiques et économiques (qualité des vins, rendements, taux de sucre...).

À l'heure actuelle, des modèles numériques à résolutions spatiale et temporelle variables, tels que le modèle ARPEGE-Climat de Météo-France permettent d'obtenir une simulation des températures futures avec une résolution d'environ 50km sur la France et cela pour différents scénarios d'évolution socio-économique (IPCC, 2007). Ces modèles permettent donc d'évaluer les modifications thermiques et bioclimatiques à l'échelle d'une région viticole telle que la Champagne et ces indications pourront aider la profession à prendre, si elle le juge utile, des mesures d'adaptation, inévitablement longues et coûteuses.

Ce vignoble, mondialement connu et réputé pour ses vins pétillants, est caractérisé par sa position très septentrionale par rapport à la plupart des autres vignobles français. Il bénéficie, pour le moment, du réchauffement constaté depuis une vingtaine d'années : la biomasse augmente, ainsi que la productivité et le rendement. Des modifications du climat sont observées non seulement sur les séries

de températures, comme par exemple pour la station synoptique Reims-Courcy, avec environ une tendance à la hausse des températures de 1,2°C depuis 1965, mais également sur la date des vendanges, plus précoce d'une vingtaine de jours sur la même période (figure 1).

Dans cette étude, les sorties numériques de la température du modèle ARPEGE-Climat (Retic) sont testées et comparées à une station synoptique implantée à proximité du vignoble (Reims-Courcy) afin d'évaluer leur validité. Elles sont ensuite utilisées pour analyser les conditions thermiques possibles au sein du vignoble marnais jusqu'à la fin du XXI^{ème} siècle, notamment en termes d'indices bioclimatiques de la vigne.

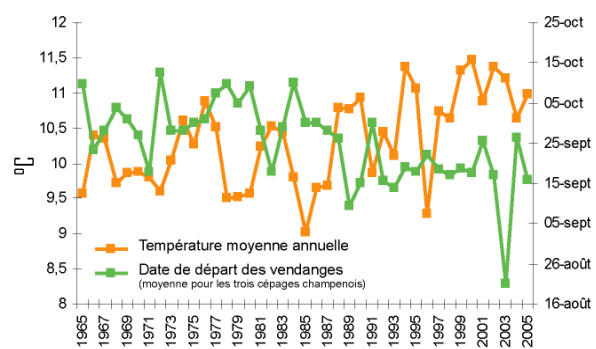


Figure 1. Dates de départ des vendanges et température moyenne annuelle de l'air sous abri à Reims-Courcy

(Données : Météo-France et Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne)

2. Données et méthodes

Nous étudions ici uniquement le vignoble marnais dans un souci d'homogénéité spatiale notamment en termes de topographie (vignoble implanté entre 90 m et 220 m d'altitude environ). Ce vignoble marnais représente 20 000 ha, soit deux tiers du vignoble de Champagne et s'étend pour l'essentiel sur la Côte des Blancs, la Montagne de Reims et la vallée de la Marne (figure 2).

2.1. Données thermiques des sorties du modèle ARPEGE-Climat (Retic) et de la station Reims-Courcy

Le modèle couplé ARPEGE-Climat est choisi pour sa capacité à reproduire de manière considérée comme acceptable les principales caractéristiques du climat européen (Déqué *et al.*, 1994 ; Déqué, 2007). Il est en effet utilisé pour des études d'impact (Garcia de Cortazar, 2006 ; Terray et Braconnot, 2007) et il s'agit d'un des modèles retenus par l'IPCC (2007)

dans le cadre des études sur la modélisation du climat futur. Sa résolution spatiale (environ 50 km sur la France) est compatible avec la taille d'une région viticole et ses données quotidiennes permettent l'étude des dates phénologiques et le calcul de l'indice bioclimatique de Huglin.

Nous utilisons les données thermiques journalières issues de la version 4 du modèle ARPEGE-Climat (scénarios Retic) de quatre points de grille (figure 2), représentant les conditions moyennes de températures des mailles choisies (résolution d'environ 50 km), englobant le vignoble marnais. Ce modèle tridimensionnel, incluant l'altitude pour les calculs des variables climatiques, permet d'obtenir les températures minimales et maximales quotidiennes, d'une part pour une série dite de « contrôle » ici de 1950 à 2000, d'autre part pour trois scénarios de simulations.

La période de contrôle permet de tester les séries simulées du modèle avec les données collectées de la station Reims-Courcy (figure 3). Les données de température de l'air sous abri de cette station sont utilisées pour la comparaison avec les sorties du modèle. Cette station dispose d'une longue série de données dont l'homogénéité a été testée au préalable (Pettitt) sur la période dite « de contrôle » 1950-2000. Une rupture est détectée en 1987 pour la station de Reims-Courcy (figure 3) sur les températures moyennes annuelles. Il s'agit d'une rupture statistiquement significative ($\alpha=5\%$) d'origine climatique car elle ne résulte pas d'un changement de capteur ou d'un déplacement de la station ; cette rupture de 1987-88 est d'ailleurs observée dans un grand nombre de stations

météorologiques françaises (Moisselin *et al.*, 2002). Le même test est réalisé sur les quatre séries de sorties de modèle : une rupture est détectée pour toutes les séries en 1984. Les courbes du modèle sont par ailleurs plus froides que celle de la station Reims-Courcy.

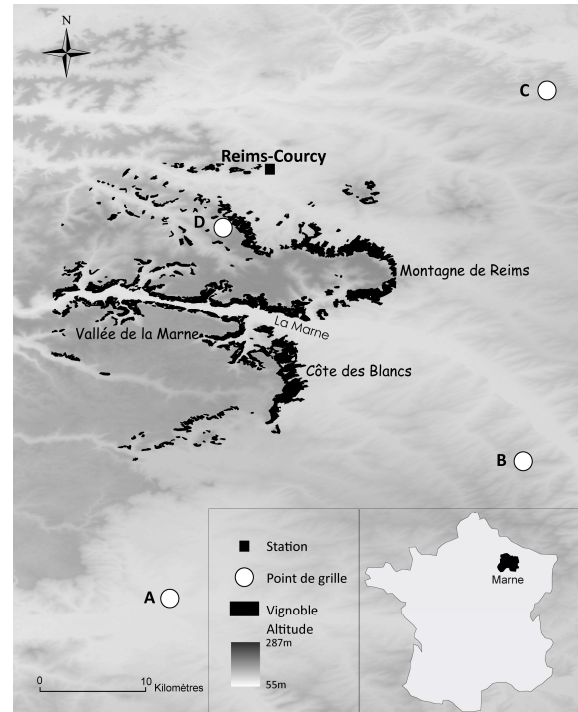


Figure 2. Localisation du vignoble de la Marne en Champagne, des points de grille du modèle ARPEGE-Climat et de la station Reims-Courcy
(Données : SRTM et BD Carto de l'IGN, projection en Lambert 2 Etendu)

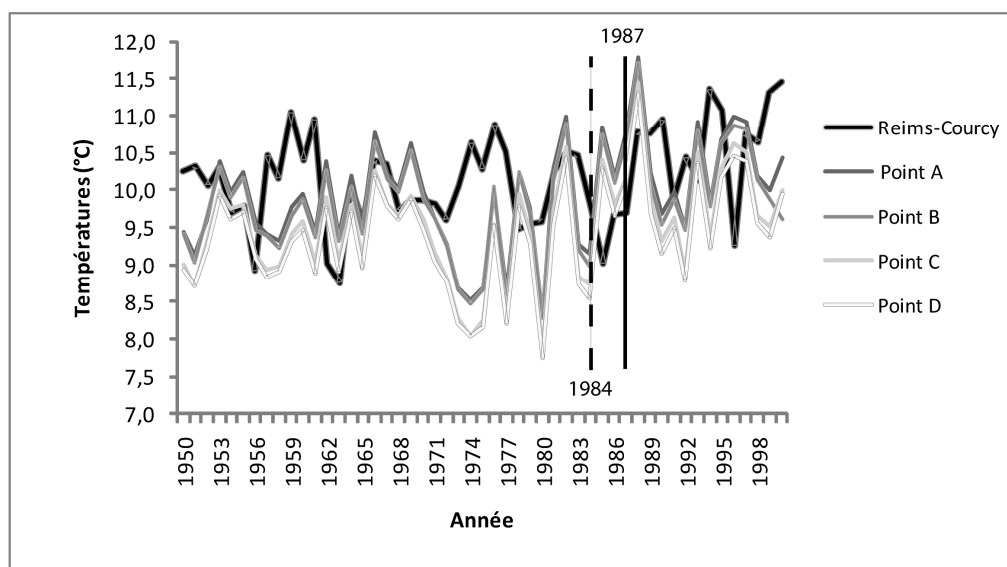


Figure 3. Températures moyennes annuelles de 1950 à 2000

Station de Reims-Courcy et quatre points de grille ARPEGE-Climat (scénarios Retic) et ruptures détectées par le Test de Pettitt (en trait noir pour la station, en pointillés pour le modèle) (Données : Météo-France / CNRM)

2.2. Simulations futures

Les scénarios de simulations futures retenus tiennent compte de l'évolution économique, sociale et environnementale du monde ainsi que des

émissions de gaz à effet de serre tels que le CO₂ jusqu'à la fin du XXI^{ème} siècle. Les trois scénarios les plus couramment utilisés dans les études d'impacts du changement climatique sont retenus : A1B, A2, B1, (tableau 1).

Scénario	Description
A1B	Le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. Le scénario A1B se caractérise par un équilibre entre les sources ce qui signifie que l'on ne s'appuie pas excessivement sur une source d'énergie particulière, en supposant que des taux d'amélioration similaires s'appliquent à toutes les technologies de l'approvisionnement énergétique et des utilisations finales.
A2	Le canevas et la famille de scénarios A2 décrivent un monde très hétérogène. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale.
B1	Le canevas et la famille de scénarios B1 décrivent un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite avec des changements rapides dans les structures économiques vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité des matériaux et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. L'accent est sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique, sociale et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

Tableau 1. Récapitulatif des scénarios de simulations futures utilisés dans le cadre de l'étude

(adapté du Rapport Spécial du GIEC, Scénario d'émissions, résumé à l'intention des décideurs, Nakicenovic et Swart, 2000).

2.3. Méthodes d'analyse

Le développement physiologique de la vigne (figure 3) est fortement influencé par plusieurs variables climatiques, en particulier par les sommes thermiques acquises (cumulées) lors du cycle végétatif d'avril à septembre (Huglin, 1986).

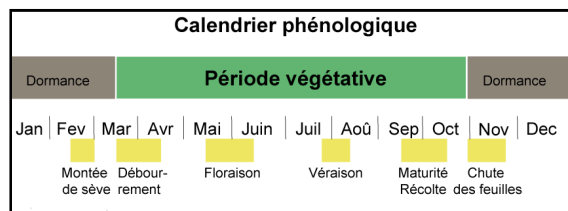


Figure 4. Calendrier des stades phénologiques pour le vignoble marnais (adapté de Huglin, 1986)

Afin de comparer les données thermiques du modèle ARPEGE-Climat avec la station synoptique située à proximité du vignoble, nous procédons en deux étapes :

Etape 1: Sur la période de contrôle 1950-2000 (avec les séries du modèle et de la station)

– Les données thermiques des quatre points de grille et de la station synoptique sont comparées statistiquement au moyen du Test de Student visant à comparer les températures moyennes annuelles de la série de référence Reims-Courcy et des sorties du modèle ARPEGE-Climat.

– Nous comparons ensuite entre les séries thermiques maximales du modèle et de la station au moyen de calendriers de probabilités. Ces calendriers mettent en évidence, durant la période végétative (avril à septembre), les probabilités d'occurrences de seuils de températures entre 20 et 30°C en été. Ces seuils sont optimaux durant la phase de maturité de la vigne.

– Des graphiques de distributions statistiques des variables thermiques étudiées (températures maximales et minimales) complètent ces calendriers et mettent en évidence les biais possibles du modèle.

Etape 2: Sur la période de simulation future 2001-2100 (avec les séries du modèle)

– L'indice bioclimatique de Huglin, utilisé ici, est obtenu à partir des données thermiques journalières simulées du modèle ARPEGE-Climat. Cet indice, exprimé en degrés-jours tient compte des températures maximales et inclut un coefficient de longueur de jour (Huglin, 1978) :

$$\sum_{01/04}^{30/09} \frac{(T_m - 10) + (T_x - 10)}{2} \cdot K$$

avec T_m la température moyenne journalière (en °C), T_x la température maximale journalière (en °C) et K le coefficient de longueur de jour (de 1,06 pour la latitude du vignoble marnais).

– Seules les températures « actives » efficaces supérieures à 10°C sont prises en compte dans le calcul de l'indice car elles contribuent au développement de la plante (Huglin, 1986).

3. Résultats observés pour la comparaison Modèle/Station sur la période 1950- 2000 et simulations issues du modèle de 2001 à 2100

3.1. Validité de la série de contrôle sur les quatre points de grille

Les quatre distributions statistiques des points de grille retenus sont comparées, testées et critiquées par rapport à Reims-Courcy.

Les paramètres statistiques des séries ont permis de constater que les moyennes sont proches : elle est égale à 14,6°C pour Reims-Courcy sur la période de contrôle alors qu'elle varie entre 13,6°C (point D) et 14,1°C (point A).

Les distributions sont testées sur les données thermiques annuelles avec le test de Student qui permet de démontrer que pour la plupart des séries des trois variables étudiées (températures minimales, maximales et moyennes), les moyennes sont, d'un point de vue statistique, significativement différentes sauf pour les températures minimales annuelles des points A et B et pour la température moyenne annuelle du point A.

Les distributions de températures du point D situé au cœur du vignoble (figure 2), ne sont pas les plus proches de la station Reims-Courcy. Cette station est implantée en plaine, dans des conditions environnementales différentes de celles d'un coteau viticole marnais. Les températures moyennes minimales y sont plus froides à cause des phénomènes d'inversion thermique lors des gelées printanières (Madelin, 2004) en situation météorologique stable par rapport aux autres stations du vignoble directement implantées sur les coteaux viticoles où l'air froid s'écoule.

Les calendriers de probabilités mettent en évidence les seuils, compris entre 20°C et 30°C, de températures optimales estivales nécessaires à la maturation des raisins. Ces calendriers, durant la période végétative (avril à septembre), de deux points de grille (A, à proximité du vignoble et D, au sein du vignoble), présentent des distributions de probabilités de températures chaudes maximales différentes. Le point D, au sein du vignoble, suit la distribution de Reims-Courcy, mais en termes de probabilités plus faibles tandis que le point A reflète assez bien les probabilités d'occurrences des températures de la station à proximité du vignoble (figures 4 et 5).

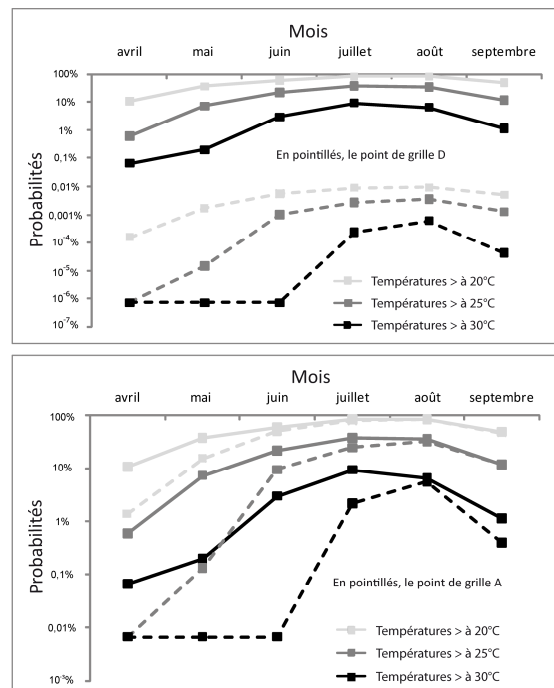


Figure 5. Calendriers de probabilités des températures maximales au delà de plusieurs seuils durant le cycle végétatif

Reims-Courcy (en trait plein) ; points de grille D (première figure) et A (seconde figure) au sein du vignoble marnais (en pointillés) de 1950 à 2000 (Données CIVC et Météo-France - CNRM)

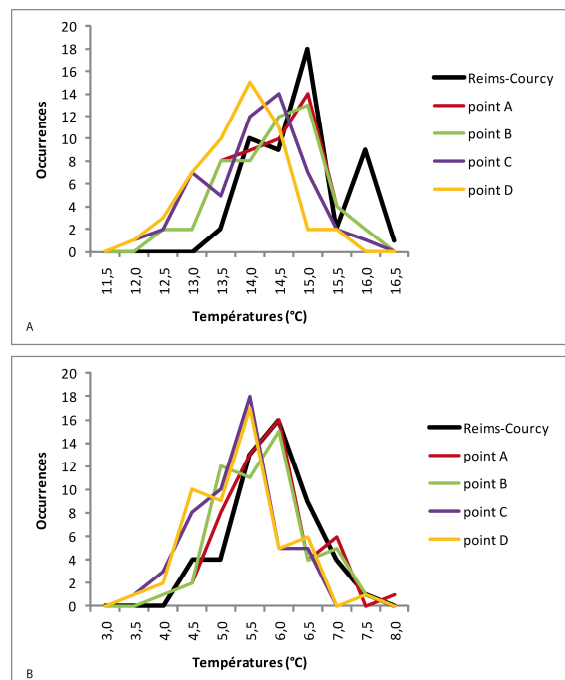


Figure 6. Occurrences des températures maximales et minimales moyennes annuelles

Station Reims-Courcy et points de grille sur la période de contrôle de 1950 à 2000 (Données CIVC et Météo-France - CNRM)

Le modèle ARPEGE-Climat simule assez bien l'allure de la distribution de la station synoptique Reims-Courcy même s'il comporte un biais froid évident (figure 6) : les courbes de Reims-Courcy pour les deux graphiques (températures maximales et minimales) sont décalées vers les températures les plus chaudes.

3.2. Conditions bioclimatiques futures probables au sein du vignoble

Le calcul de l'indice bioclimatique de Huglin jusqu'en 2100 à partir des valeurs quotidiennes moyennes et maximales supérieures à 10°C d'avril à septembre permet d'envisager les conditions bioclimatiques futures au sein du vignoble. Des sommes thermiques comptabilisant les températures supérieures 10°C (ou degrés-jours) servent de bornes pour définir des types de climat (figure 7).

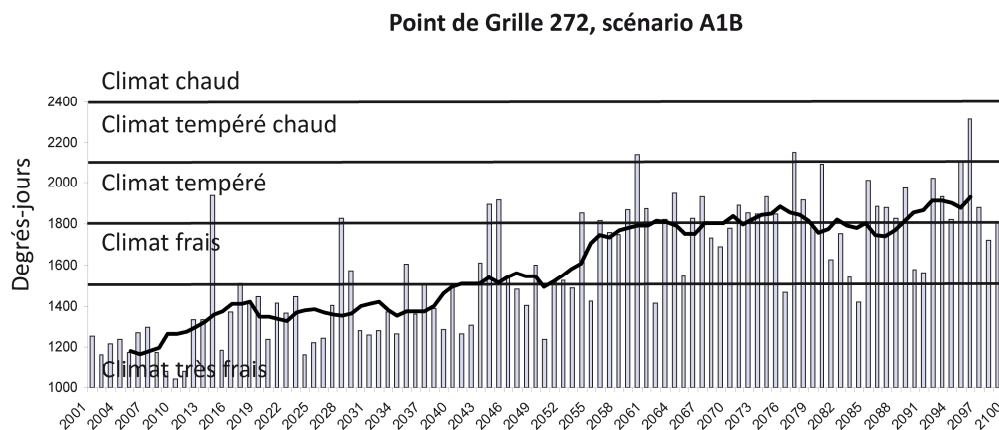


Figure 7 : Indice de Huglin de 2001 à 2100 pour le point D, situé au sein du vignoble, scénario A1B et moyenne mobile sur dix ans

(Graphes adaptés des types de climat définis par Tonietto et Carbonneau (2004), Données Météo-France – CNRM)

L'exemple de la moyenne mobile du scénario A1B (figure 7), montre que la tendance générale est à la hausse de l'indice de Huglin et que le type de climat au sein du vignoble champenois passera du type « climat très frais » vers le type « climat tempéré chaud », d'où les interrogations et les inquiétudes sur la possible adaptation des viticulteurs en terme de cépages. En effet, Huglin définit l'optimum du Chardonnay (28 % du vignoble) à 1700 degrés-jours ; or, dans un contexte de réchauffement, les conditions climatiques du vignoble marnais ne seront plus optimales pour ce cépage. Pour le scénario A2, le type de climat tend en 2100 vers le type « tempéré » et, pour le scénario B1, le plus pessimiste, vers le type « chaud » (non montré).

4. Conclusions et perspectives

Cette étude comparative des sorties du modèle ARPEGE-Climat avec le scénario de contrôle et les trois scénarios de simulation, au carrefour de l'agronomie et des sciences de la modélisation numérique, apporte des précisions quant à la crédibilité à donner aux données thermiques du modèle ainsi qu'aux simulations du futur. En effet, l'écart entre les températures des points de grille et celles observées à Reims-Courcy résulte des

marges d'incertitude inhérentes aux différences entre des données simulées représentatives de mailles de 50 km de côté et des données collectées au sein d'une station synoptique : les sorties de modèle ARPEGE-Climat présentent un biais froid (Briche *et al.*, 2009). Les données thermiques du modèle sont cependant relativement proches de celles de Reims-Courcy sur la période de contrôle (1950-2000). Sans négliger les incertitudes liées au zoom du modèle ARPEGE-Climat sur la France, aux biais des scénarios futurs, les simulations jusqu'à la fin du XXI^{ème} siècle permettent d'envisager les conditions thermiques futures possibles au sein de ce vignoble. Cette étude présente les tendances générales possibles à l'échelle du vignoble et donne une vision prospective qui ne peut fournir des températures à l'échelle du terroir viticole, mais qui peut en revanche donner un aperçu des conditions bioclimatiques futures. Pour le moment, le vignoble champenois bénéficie de cette augmentation des températures avec une productivité accrue en termes de biomasse et de qualité des raisins. Des changements thermiques trop importants (de l'ordre de 2 à 6°C jusqu'en 2100) pourraient cependant nécessiter, sur le long terme, une remise en question de l'encépagement actuel.

Remerciements

Les auteurs remercient D. Moncomble et F. Langellier (Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne) pour

l'obtention des données météorologiques, S. Somot (Météo-France) pour les sorties de modèle ARPEGE-Climat (RETICS) et l'ANR TERVICLIM coordonnée par H. Quenol.

5. Références bibliographiques

- Briche E., Madelin M., Beltrando G., Kergomard C., 2009, Analyse diagnostique des températures extrêmes de 1950 à 2000 issues du modèle ARPEGE-Climat : Intérêt pour l'activité viticole champenoise, *Actes du XXII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 91-96.
- Chuine I., Yioutsou P., Viovy N., Seguin B., Daux V., Le Roy Ladurie E., 2004, Grape ripening as past a climate indicator, *Nature*, 432, 289-290.
- Déqué M., 2007, Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values, *Global and Planetary Change*, 57, 16-26.
- Déqué M., Drevet C., Braun A., Cariolle D., 1994, The ARPEGE-IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modeling, *Climate Dynamics*, 10, 249-266.
- Ganichot B., 2002, Evolution de la date des vendanges dans les Côtes-du-Rhône méridionales, *6^{èmes} Rencontres Rhodaniennes*, Institut Rhodanien éditeur, 38-41.
- Garcia de Cortazar I., 2006, Adaptation du modèle STICS à la vigne (*Vitis vinifera L.*). Utilisation dans le cadre d'une étude du changement climatique à l'échelle de la France, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report, Edited by Rajendra K. Pachauri, IPCC Chairman, Andy Resinger, Head of Technical Support Unit, The Core Writing Team, IPCC, Geneva.
- Huglin P., 1978, Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole, *C.R. Acad. Agric.*, 1117-1126.
- Huglin P., 1986, *Biologie et écologie de la vigne*, Éditions Payot - Tec et Doc, Lausanne - Paris.
- Jones G.V., Duchêne E., Tomasi D., Yuste J., Braslavská O., Schulz H., Martinez C., Boso S., Langellier F., Perruchot C., Guimberteau G., 2005, Changes in European winegrape phenology and relationships with climate, *GESCO*, 55-62.
- Madelin M., 2004, 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, Université Paris 7.
- Moisselin J-M., Schneider M., Canellas C., Mestre O., 2002, Les changements climatiques en France au XXe siècle. Étude des longues séries de données homogénéisées françaises de précipitations et températures, *La Météorologie*, 38, 45-46.
- Nakicenovic N., Swart R., 2000, Rapport spécial du GIEC, Scénarios d'émissions, Résumé à l'intention des décideurs.
- Péguy C.-P., 1976, Une nouvelle expression graphique de la variabilité interannuelle des climats. Les calendriers de probabilités, *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 431-432, 5-16.
- Tonietto J., Carbonneau A., 2004, A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide, *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 81-97.
- Terray L., Braconnot P., 2007, Livre blanc ESCRIME, Etude des simulations climatiques.