

Evaluation du modèle climatique régional WRF appliqué à la Bourgogne viticole

Cyril Bonnefoy^{*1}, Thierry Castel^{*}, Malika Madelin^{}**

^{*} UMR 5210 Centre de Recherches de Climatologie, CNRS/Université de Bourgogne
6 boulevard Gabriel – 21000 Dijon, France
cyril.bonnefoy@uhb.fr, thierry.castel@u-bourgogne.fr

^{**} UMR 8586 PRODIG, CNRS/Université Denis Diderot Paris 7
75205 Paris, France
malika.madelin@univ-paris-diderot.fr

MOTS - CLÉS

Changement
climatique
Vigne
Modèle
Degrés-jours

RÉSUMÉ

Le changement climatique actuel a des répercussions sur les cultures et en particulier sur la vigne, en termes de précocité des stades phénologiques mais aussi de rendement. Les modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCGA) ne sont pas assez précis pour une étude d'impacts sur les vignobles. Il est nécessaire d'utiliser des modèles de circulation régionale de l'atmosphère (MCRA) pour descendre à des échelles opérationnelles pour ce type d'étude. Dans cet article, nous évaluons les capacités du modèle Weather Research and Forecasting à reproduire la variabilité climatique en Bourgogne durant des périodes clés pour la vigne. Le test est fait sur l'année 2003, année atypique mais qui pourrait être plus courante dans les prochaines décennies. Notre but est d'utiliser ce modèle afin de régionaliser l'indice agroclimatique des degrés-jours en date de maturité de 2003 et ainsi d'obtenir une première image simulée du possible zonage climatique viticole en Bourgogne dans les années à venir.

KEY WORDS

Global Change
Vine
Model
Growing degree days

ABSTRACT

Assessment of the WRF regional climatic model applied to the viticultural Burgundy

Global climate change affects not only common farm crops, but also vineyard yields, the effects of which are commonly observed in both the phenological stages of the vine and the features of the finished product. Vine production is strongly affected by local climate variation. Unfortunately, General Atmospheric Circulation Models are lacking to accurately reproduce useful local climate pattern. The use of Regional Atmosphere Circulation Models offers a great opportunity towards climate impact studies. In this paper, we assess the ability of the WRF (Weather Research and Forecasting) regional climate model to reproduce climate variability in the Burgundy region during the key development periods of the grape vine. This simulation was performed for the 2003 calendar year which is an "unusual" climate year. Indeed, the warmer weather pattern observed in spring and summer may foreshow for this latitude the effect of climate changes. Our goal is to use this model to assess at regional scale the growing degree days at the date of maturity in 2003 and thus be able to simulate and predict the possible viticultural climatic zoning for the Burgundy region in the future.

¹ Cyril Bonnefoy est actuellement membre du laboratoire UMR 6554 LETG, Equipe Costel (CNRS/universitéS de Rennes 2 et de Haute Bretagne)

1. Introduction

La vigne est très réactive à la variabilité des climats tempérés sous lesquels elle se trouve. En effet, cette variabilité inter- et intra-annuelle agit notamment sur le déroulement du cycle végétatif et donc sur la précocité ou le retard de certains stades phénologiques (débourrement, floraison, véraison, maturité). Cette variabilité est naturelle et explique les différentes caractéristiques des vins produits d'une année sur l'autre. Certaines périodes au cours de la saison végétative apparaissent alors comme particulièrement sensibles pour l'espèce. Des corrélations simples entre données climatiques et phénologiques permettent notamment de mettre en évidence certaines de ces périodes clés pour la vigne (Gerber et Remois, 1977).

Selon les scénarios moyens, la température en Europe est prévue d'augmenter entre 1,8°C et 4°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle (IPCC, 2007). De tels chiffres sont obtenus à partir de simulations de modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCGA). Cette modélisation climatique à échelle globale donne une idée du réchauffement climatique mais n'est pas assez précise pour une étude d'impact sur la vigne. Il est nécessaire de descendre à des échelles plus fines correspondant à des mésoclimats. De plus, l'impact du réchauffement climatique ne se traduit pas de manière homogène à l'échelle du globe ou d'un pays (Pielke *et al.*, 2002). L'utilisation de modèles de circulation régionale de l'atmosphère (MCRA) est alors nécessaire pour pouvoir désagréger le signal global. Par exemple une étude avec l'aide d'un MCRA a pu mettre en évidence la surface de terrain susceptible au 21^{ème} siècle d'accueillir de la vigne en Amérique du Nord (White *et al.*, 2006). D'autres études ont également montré grâce à un MCRA que la vigne souffrant de stress hydrique, notamment en Californie et en Australie, allait être amenée à migrer vers les côtes où l'air est plus frais (Lobell *et al.*, 2006 ; Webb *et al.*, 2007).

Le Centre de Recherches de Climatologie de Dijon oriente aussi une partie de ces recherches sur la climatologie locale, notamment à l'échelle de la Bourgogne et plus particulièrement dans le cadre d'étude d'impact sur la viticulture. Ainsi, certains résultats ont pu caractériser les nuances du changement climatique au sein de l'espace bourguignon et les effets déjà notables sur les vignobles (Madelin *et al.*, 2007). L'avancement des stades phénologiques est ainsi observée en Bourgogne et plus généralement dans l'ensemble de l'Europe de l'Ouest (Jones *et al.*, 2005). En Bourgogne, cette précocité sur 30 ans varie de 6 à 12

jours selon les stades (Chabin *et al.*, 2007). L'effet du réchauffement climatique sur les vignobles bourguignons est donc déjà visible et il peut alors s'avérer utile de prospecter sur l'évolution future du climat dans la région et ainsi sur les conséquences pour la vigne.

Cet article présente les résultats d'une première simulation du modèle régional WRF (*Weather Research and Forecasting*) dans le cadre d'une étude d'impact sur la vigne. Nous proposons d'évaluer les capacités du modèle WRF à reproduire la variabilité climatique en Bourgogne au sein de périodes clés pour la vigne. Pour ceci, nous étudions les simulations du modèle pour l'année 2003. Cette année a été marquée par un été particulièrement chaud, se répercutant sur l'avancée des stades phénologiques et les caractéristiques des vins produits. Des étés comme celui-là devraient devenir plus fréquents dans les décennies à venir (IPCC, 2007), d'où l'intérêt que nous lui portons dans cette étude. Ces anomalies positives de températures se sont répercutées sur certains indices agroclimatiques tel celui des degrés-jours qui ont été particulièrement élevés. Les conditions de maturation du raisin ont donc été très différentes de ce que l'on observe lors d'une année « classique » dans les vignobles bourguignons. Nous avons tenté de spatialiser cet indice agroclimatique des degrés-jours en date de maturité de 2003 à partir des simulations de WRF. Nous pouvons ainsi obtenir une image reflétant les possibles conditions climatiques futures en Bourgogne.

2. Région d'étude : La Bourgogne

2.1. Topographie et climatologie de la Bourgogne

La répartition des températures est très influencée par les disparités topographiques. Or, la région Bourgogne possède un relief contrasté entre les plaines du Val de Saône à l'est ou celles du prolongement du Bassin parisien au nord-ouest, avec un relief de plateaux et de collines plus accidenté au centre, le Morvan (figure 1). De plus, le positionnement de la Bourgogne à un carrefour climatique (Chabin, 1985) explique en grande partie les disparités climatiques observées dans la région. L'influence océanique domine dans l'ensemble de la région mais est rapidement dégradée par les influences continentales à l'est. Au centre le Morvan, connaît des températures plus fraîches du fait de ses altitudes plus élevées ainsi que des précipitations plus abondantes. Enfin, l'influence méditerranéenne explique les remontées douces et humides à l'automne dans le Val de Saône mais gratifie

également la côte viticole de conditions favorables à la culture de la vigne entre Mâcon et Dijon avec un léger stress hydrique en été, plutôt bénéfique à la plante (Bonnardot, 1996).

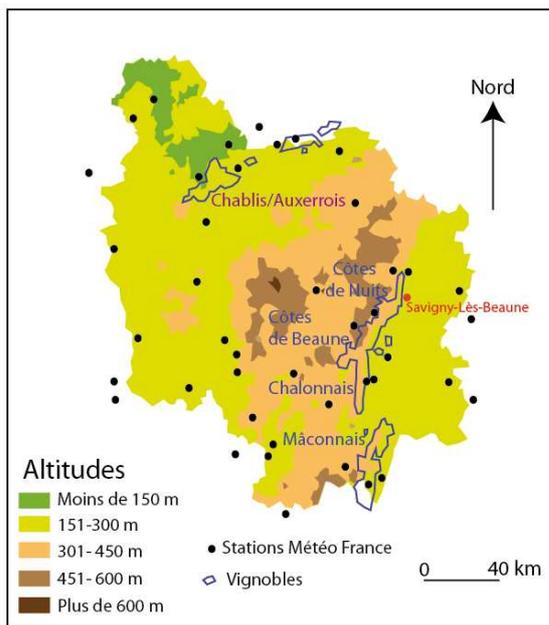


Figure 1. Topographie de la Bourgogne
Source: SRTM, Corine Land Cover, Météo France

2.2. La Bourgogne, région viticole

Les vignobles orientaux de la région se répartissent le long de la côte viticole entre Chalon-sur-Saône et Dijon avec les Côtes Chalonnaise, Mâconnaise et les Côtes de Beaune et de Nuits. Les vignobles les plus septentrionaux se situent dans la région d'Auxerre et de Chablis. La viticulture bourguignonne représente un volume de récolte de 1 500 000 hectolitres soit 203 millions de bouteilles (BIVB, 2007).

3. Le modèle WRF et les données nécessaires à l'étude

3.1. Présentation du modèle WRF et données d'entrée

Le modèle *Weather Research and Forecasting* est en fait le successeur de MM5 (Mésos-échelle, Micro-échelle) et est issu de la collaboration de la NOAA², du NCAR³ et du NCEP⁴. Il est utilisé dans 82 pays, notamment dans la prévision des cyclones, de la qualité de l'air ou encore dans la prévision climatique régionale. Dans notre étude, le modèle

WRF n'est pas utilisé en mode prévision qui s'appuie sur le noyau NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) mais avec le noyau ARW (Advanced Research WRF) et à une résolution de 9 km. L'intérêt du modèle est qu'il tient compte des propriétés de surface (relief, occupation du sol) tout en adaptant la description à la maille de la simulation. Les interactions sol/atmosphère expliquant une part importante du climat local, nous couplons WRF avec le modèle de surface NOAH (Chang *et al.*, 1996 ; Sridhar *et al.*, 2003). De plus, pour la topographie, l'altitude de chaque point de grille du modèle correspond à une moyenne sur le pixel de 9 km par 9 km et pour l'occupation du sol (végétation, sol...), l'information de chaque point de grille s'appuie sur une proportion des principaux types. La résolution choisie de 9 km est un compromis entre temps de calcul et représentativité de la variabilité du climat à l'échelle régionale. Les capacités de ce modèle à reproduire la variabilité climatique ont déjà été évaluées essentiellement en Amérique du Nord (Klemp *et al.*, 2006) et à des résolutions supérieures à 25 ou 30 km. Le modèle reproduit bien le climat à ces échelles mais ses capacités à appréhender la variabilité climatique aux échelles fines (< 9 km) sont encore mal connues. La simulation correspond ici à un emboîtement de trois domaines, le premier avec une résolution de 81 km, le second de 27 km et le troisième de 9 km. Tous les domaines interagissent entre eux. La diminution de la résolution entraîne par ailleurs une meilleure appréciation du couvert végétal, de l'hydrographie ou du relief (figure 2).

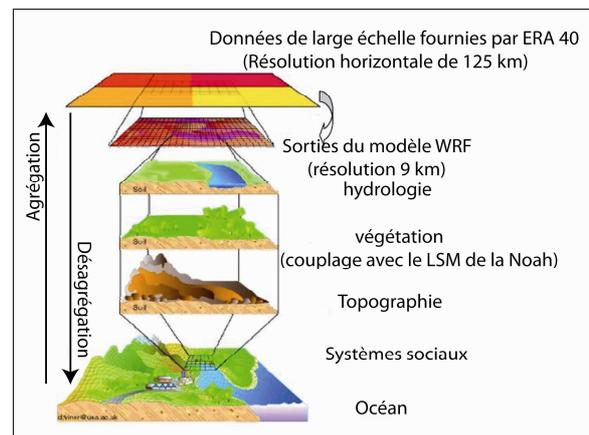


Figure 2. Schéma montrant l'imbrication des échelles en modélisation climatique régionale
Source : <http://www.cru.uea.ac.uk/> (Viner)

Les données d'entrée du modèle proviennent des données de larges échelles de ERA40 que WRF désagrège ensuite pour fournir dans notre étude des simulations à 9 km pour l'échelle la plus fine. Ces données sont issues de ré-analyses du Centre

² National Oceanic and Atmospheric Administration
³ National Center for Atmospheric Research
⁴ National Centers for Environmental Prediction

Européen de Prévision à Moyen Terme (ECMWF) mises à la disposition de la communauté scientifique. Elles proviennent des données issues du réseau d'observation en surface qui ont été au fil des années enrichies par des observations satellites. Leur résolution horizontale est de 125 km et leur résolution verticale de 60 niveaux.

3.2. Données climatiques observées

Les données climatiques utilisées dans le cadre de cette étude proviennent des 47 stations du réseau Météo-France Bourgogne et proche périphérie (figure 1). Chacune de ces stations nous fournit les données journalières de températures (minimales et maximales) essentielles à l'évaluation du modèle. Le réseau de stations disponible est bien fourni avec une bonne représentativité des différents départements, reliefs et milieux « naturels » ou urbains. Les données de températures sont moyennées par pentades (période de 5 jours), puisque les données mensuelles seraient trop grossières et que la vigne est très sensible à la variabilité du climat sur quelques jours.

4. Méthodologie

4.1. Calcul des degrés-jours

À partir des données d'observation du réseau de stations Météo France, nous calculons l'indice des degrés-jours pour la saison phénologique de 2003. Ce calcul se base sur la température seuil de 10°C. Il équivaut au cumul des températures moyennes journalières supérieures à ce seuil de 10°C :

$$\text{degrés-jours} = \sum_{T_j > 10} T_j - 10$$

Lorsque la température moyenne journalière est inférieure à ce seuil, aucun degré jour n'est cumulé pour cette journée. Par convention, ces degrés-jours journaliers sont additionnés sur l'ensemble de la saison phénologique de la vigne, c'est-à-dire du 1^{er} avril au 31 octobre.

4.2. Evaluation du modèle WRF

L'utilisation d'un modèle climatique dans le but d'une prévision à plus ou moins long terme nécessite tout d'abord de le valider (Déqué, 2006). Nous nous intéressons directement aux simulations à 9 km car la résolution à 27 km est trop grossière et ne permet pas une assez bonne prise en compte des caractéristiques topographiques et naturelles de la Bourgogne. L'ensemble du domaine étudié représente un

rectangle de 270 km d'ouest en est, sur 297 km du nord au sud, soit un peu plus de 80 000 km² ou 990 mailles de 9 km par 9 km. Chaque maille est renseignée par de nombreuses variables notamment les températures à l'échelle horaire du 1^{er} mars 2003, 12h au 30 septembre 2003, 12h. On calcule ensuite la température maximale entre 6h UTC le jour j et 6h UTC le jour $j+1$ et la température minimale entre 18h UTC le jour j et 18h UTC le jour $j+1$ (normes de l'Organisation Météorologique Mondiale) pour pouvoir comparer avec les données journalières des 47 stations Météo-France. De la même manière nous moyennons ces températures observées et simulées sur des pentades.

Dans un premier temps, nous effectuons une comparaison directe des sorties du modèle avec les observations des stations. Nous comparons donc une donnée ponctuelle, l'observation, avec une donnée moyennée par maille, la simulation. Nous verrons que la comparaison est loin d'être optimale puisque nous comparons des données à différentes échelles. Dans un second temps, nous cherchons donc à obtenir des données d'observation comparables aux simulations. Nous recherchons alors les pentades pour lesquelles une corrélation significative ($r^2 > 0,3$) entre les températures stationnelles mesurées et l'altitude est observée. Les corrélations entre les températures minimales et l'altitude ne sont pas significatives en raison de la complexité de la répartition spatiale des températures minimales notamment avec des phénomènes d'inversion thermique, assez fréquents en Bourgogne. Ainsi, pour les pentades retenues nous calculons la relation :

$$T_{max_j} = a_j \text{Altitude} + b_j$$

avec j est le jour de l'année, T_{max} la température maximale du jour, a et b des coefficients obtenus par régression linéaire. Ensuite nous rééchantillons par une méthode bi-linéaire le modèle numérique de terrain de l'IGN (50 m de résolution) à la maille du modèle soit 9 km. Enfin nous appliquons pour chaque pentade candidate à la comparaison la relation précédemment calculée. En résumé cela revient à faire du « up-scaling » des données observées à la station pour les pentades où le gradient altitudinal est en place. Le but est d'obtenir des échelles spatiales comparables entre les températures maximales issues du modèle et celles issues des observations. Cette méthode serait d'autant plus critiquable si celle-ci était appliquée pour tous les jours de l'année mais a finalement du sens pour les pentades où l'altitude est significativement corrélée avec les températures. Nous reconnaissons que d'autres méthodes d'interpolation auraient permis une interpolation plus fine et pour plus de jours dans l'année.

La capacité du modèle à appréhender l'indice agroclimatique des degrés-jours est également évaluée. Nous effectuons une comparaison ponctuelle sur le cumul de l'indice au cours de la saison phénologique pour la station viticole de Savigny-Lès-Beaune. En effet, en première approximation et par souci de simplicité nous avons considéré que l'intégration temporelle d'un tel indice permet de gommer le biais résultant de l'échelle de comparaison. L'étape finale est d'obtenir une carte d'anomalies, par rapport à cette station, des degrés-jours en Bourgogne pour la date de maturité de 2003.

5. Résultats des simulations du modèle

Nous analysons les sorties de WRF lors des pentades importantes pour la vigne. Quatre pentades répondent à ces critères mais nous ne présentons ici que les résultats pour la 6^{ème} pentade de mai et la 2^{ème} pentade d'août.

5.1. Comparaison des températures maximales simulées par WRF et interpolées à partir des observations

Les premières comparaisons entre les données brutes ponctuelles et les sorties de WRF donnent de mauvais résultats avec des coefficients de détermination ne dépassant pas 0,44. Nous spatialisons alors les données observées afin d'obtenir une résolution des observations comparables aux simulations du modèle. L'échantillon passe alors de 47 à 599 valeurs

(correspondant *stricto sensu* aux mailles situées à l'intérieur des limites administratives de la Bourgogne) et ces données interpolées sont confrontées aux simulations (figure 3).

Les corrélations ainsi obtenues pour les quatre pentades sont considérablement améliorées, en particulier pour les deux moins bonnes obtenues en confrontation directe (6^{ème} pentade de mai et 2^{ème} pentade d'août). Le coefficient de détermination pour ces deux périodes passe respectivement de 0,18 à 0,67 et de 0,13 à 0,63 mais ce n'est pas tant l'amélioration du r^2 que celle de la pente qui est encourageant. Les pentes des droites de régressions se rapprochant de 1, nous indiquent que le modèle reproduit correctement (sans dérive) à la maille de 9 km les structures spatiales des T_{max} . Il existe pourtant un biais certain entre observations et simulations. Le modèle sous-estime les températures maximales de 2 à 3°C sur la pentade d'août alors qu'il les surestime sur celle de mai (+1 à +2°C). Ces différents biais ne remettent pas en cause la capacité du modèle à reproduire la variabilité spatiale des températures en Bourgogne. Quelques hypothèses sur l'origine de ces biais peuvent toutefois être avancées. Ces erreurs d'estimation en valeur absolue peuvent être dues à une mauvaise paramétrisation lors de l'étape d'initialisation ou à une dérive interne du modèle (Lo *et al.*, 2007). L'année 2003, ayant aussi connu des conditions de sécheresse importantes très tôt dans la saison, et le modèle intégrant les échanges sol/atmosphère, il est possible que le caractère exceptionnel de cette sécheresse ait été mal pris en compte par le modèle, d'où des erreurs d'estimation de ces échanges et donc des températures.

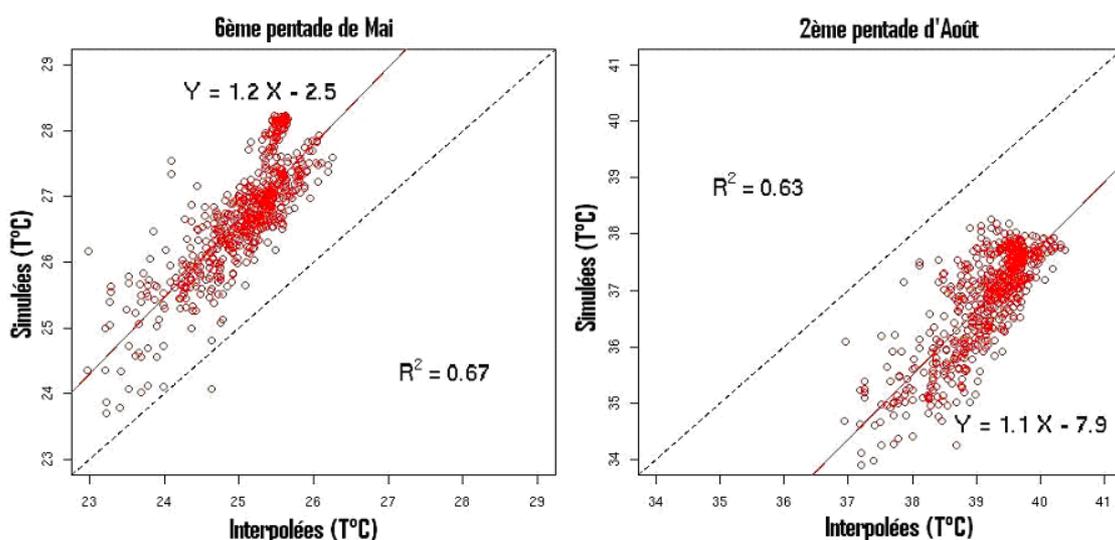


Figure 3. Données simulées et observées en Bourgogne pour deux pentades de 2003

Données Météo France interpolées, Sorties du modèle WRF

5.2. Spatialisation des degrés-jours cumulés

Le modèle reproduit correctement la variabilité spatiale des températures au sein de la Bourgogne pour les jours où la relation avec l'altitude est significative mais, dans le cadre d'une étude climat/vigne, il semble intéressant d'analyser les sorties concernant un indicateur plus pertinent pour la vigne : les degrés-jours. Cet indice, souvent utilisé, aide à bien reproduire la chronologie de la saison phénologique et nous pouvons imaginer, si le modèle simule bien cet indice, de l'utiliser pour une prévision de la floraison, de la véraison ou de la maturité.

La comparaison entre les degrés-jours simulés et observés ponctuellement dans les différentes stations montre que le modèle a besoin d'un certain temps pour s'équilibrer et fournir alors des estimations correctes. Le coefficient de détermination qui décrit l'intensité de la relation ne devient supérieur à 0,45 qu'à partir du 20 mai puis à 0,5

après le 28 août. Ces valeurs peuvent sembler faibles mais, rappelons que nous comparons des données ponctuelles avec des moyennes par maille. Ces résultats sur les degrés-jours sont toutefois meilleurs que ceux pour les températures maximales observées ponctuellement.

Après avoir comparé de manière régionale l'observation et la simulation, nous analysons les corrélations pour une seule commune viticole : Savigny-Lès-Beaune. Les résultats montrent un coefficient de détermination de 0,99 et une pente de 1,02 pour la droite de régression (figure 4). Le coefficient de détermination n'est pas étonnant puisque nous comparons un indice intégré dans le temps qui ne peut qu'augmenter dans les deux cas. Ce qui est plus intéressant c'est que la pente de la corrélation est proche de 1 indiquant pour la maille de Savigny qu'il n'y a pas de dérive systématique (à la hausse ou à la baisse) des T_{max} produites par le modèle. Ceci suggère que le modèle serait un outil utile pour analyser la variabilité spatiale de l'indice notamment pour la projection dans le cadre des scénarios du GIEC.

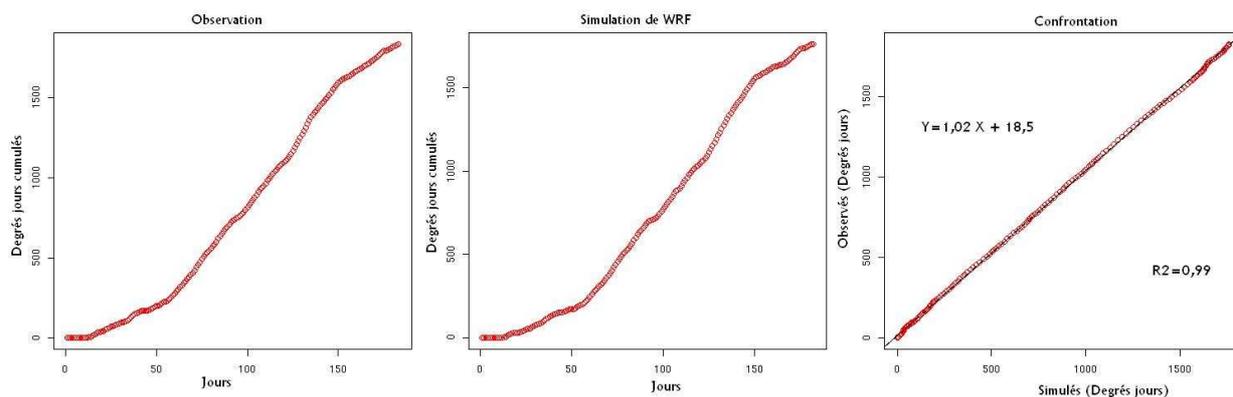


Figure 4. Cumuls des degrés-jours à Savigny-Lès-Beaune observés et simulés par WRF pour l'année 2003

Données : Station automatique de Savigny-Lès-Beaune, Sorties du modèle WRF

Le modèle fournissant de bons résultats pour la prévision des degrés-jours, nous tentons une spatialisation de cet indice en date de floraison et de maturité en Bourgogne durant l'année 2003. Plus spécifiquement, afin de faire ressortir le caractère atypique de l'année 2003, nous spatialisons les anomalies de degrés-jours en date de maturité (figure 5). Ces anomalies sont calculées par rapport à la normale des degrés-jours cumulés en date de maturité sur la période 1973-2006 à Savigny-Lès-Beaune (1227 degrés-jours). L'excédent thermique est important avec des valeurs supérieures de 170 à 220°J à la normale de la Côte de Nuits au Chalonnais. Dans le Mâconnais, l'excédent atteint quasiment les 260°J par rapport à la normale de Savigny-Lès-Beaune situé plus au nord. Les

conditions de maturation de la Côte ont migré plus en altitude et même au-delà des Hautes Côtes (400 mètres environ). Ces résultats corroborent ceux d'autres études qui ont déjà pu montrer cette migration altitudinale des conditions de culture de la Côte vers les Hautes Côtes (Chabin et *al.*, 2007). De même, cette année chaude a vu les conditions de la Côte de Beaune migrer vers le nord de la région.

Les vignobles les plus septentrionaux (Chablis /Auxerrois) ont cumulé en date de maturité 60 à 100°J de plus qu'en année normale à Savigny-Lès-Beaune. En conclusion, les conditions de maturation du raisin, cette année-là, dans ces vignobles, ont été nettement plus chaudes que lors d'une année moyenne à Savigny-Lès-Beaune. Cette carte

d'anomalies des degrés-jours pour 2003 nous aide donc à imaginer les possibles effets du réchauffement climatique sur les futures conditions de culture du raisin en Bourgogne.

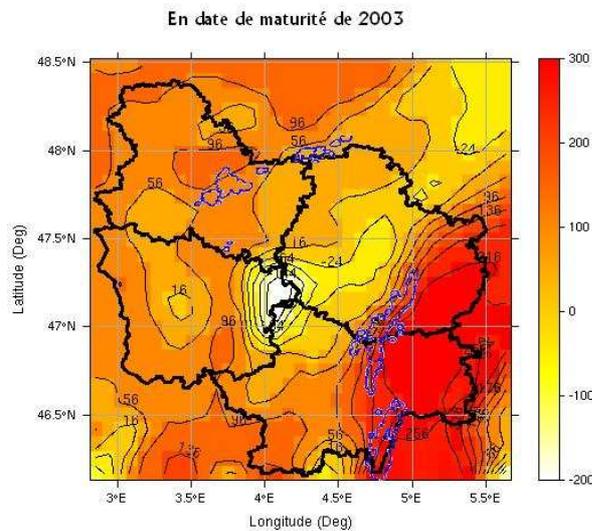


Figure 5. Anomalies de degrés-jours cumulés par rapport à la normale de Savigny-Lès-Beaune en date de maturité (19/08/2003) en Bourgogne
Données : sorties de WRF, Corine Land Cover

6. Conclusion

Les résultats des simulations du modèle WRF lors de périodes clés pour la vigne en 2003, montrent que le modèle appréhende correctement la variabilité des températures en Bourgogne au cours de la saison phénologique. Le modèle semble cependant meilleur dans l'appréhension d'un indice agroclimatique tel les degrés-jours. Les résultats concernant la station climatique de Savigny-Lès-Beaune sont encourageants. Avec la spatialisation des anomalies des degrés-jours en date de maturité de 2003, le caractère atypique de cette année a pu être mis en évidence. Cette année montre des migrations altitudinales et latitudinales des conditions de cultures de la Côte de Beaune.

L'apport du modèle WRF dans ce thème d'étude des relations entre climat et vigne semble donc important puisqu'il reproduit bien la variabilité climatique au sein des périodes clés pour la vigne. La modélisation pour l'année 2003 a ainsi permis d'avoir les premières images simulées d'un zonage climatique des vignobles. D'autres simulations sur le futur pourraient nous fournir des cartes pour dans 30, 50 ou 100 ans et nous permettent de nous rendre compte des évolutions à venir du zonage climatique des vignobles. Il est également nécessaire de descendre à des échelles encore plus fines (3 km) pour mieux appréhender les nuances locales de ce réchauffement.

7. Références bibliographiques

- Bonnardot V., 1996, Le climat et la vigne en Bourgogne Orientale, Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Bourgogne, Dijon.
- Chabin J. P., 1985, Atlas de Bourgogne - cartes climatiques et commentaires, Université de Bourgogne.
- Chabin J. P., Madelin M., Bonnefoy, C., 2007, Les vignobles Beaunois face au réchauffement climatique, in : Peyrard J., Fontaine B. (dir.), *Actes du colloque « Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? »*, Dijon, 2007.
- Chang S., Ek M., 1996, Sensitivity Study of the CAPS Model Land-Surface Scheme using the 1987 cabauw/PILPS data set. Elsevier, *Physics Chemical Earth*, 21(3), 205-210.
- Déqué M., 2006, Climat ce qui va changer : les prévisions pour la France, *La Recherche*, 399, 30-85.
- Gerbier N., Remois P., 1977, *Influence du climat sur la qualité et la production du vin de Champagne*, Monographie n°106 de la Météorologie Nationale.
- IPCC, 2007, Rapport du groupe de travail I du GIEC : Bilan 2007 des changements climatiques les bases scientifiques physiques.
- Jones G., Duchene E., Tomasi D., Yuste J., Braslavska O., Schultz H., Martinez C., Boso S., Langellier F., Perruchot C., Guimberteau G., 2005, Changes in 53 european winegrape phenology and relationships with climate, *GESCO 2005*, 1, 55-62.
- Klemp J., 2006, *Research-Community priorities for WRF-System development*, National Center for Atmospheric Research, WRF Research Applications Board.
- Lobell D.-L., Field C.-B., Cahill K.-N., Bonfils C., 2006, Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties, *Agricultural and Forest Meteorology* 141, 208-218.
- Madelin M., Perard J., Chabin J.-P., 2007. Les conséquences du réchauffement climatique sur les vignobles de Côte-d'Or, *Revue des Œnologues*, 125 HS, 12-13.
- Pielke S. R., Stohlgren T., Schell L., Parton W., Doesken N., Redmond K., Money J., Mckee T., Kittel T.G.F., 2002, Problems in evaluating regional and local trends in temperature: an example from the Eastern Colorado, USA, *International Journal of Climatology*, 22, 421-434.

- Sridhar V., Elliott R. L., Chen F., 2003, Scaling effects on modelled surface energy-balance components using the NOAA-OSU Land Surface Model, *Journal of Hydrology*, 280, 105-123.
- Webb L. B., Whetton P. H., Barlow (Snow), E. W. R., 2007, Future Climate Change Impacts on Australian Viticulture, in : Peyrard J., Fontaine B. (dir.), *Actes du colloque « Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? »*, Dijon, 2007.
- White M. A., Diffenbaugh N. S., Jones G. V., Pal J. S., Giorgi F., 2006, Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century, *Environmental Sciences*, 103(30), 11217-11222.