



**HAL**  
open science

## Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011)

Yves Richard, Thierry Castel, Benjamin Bois, Cédric Cuccia, Romain  
Marteau, Aurélien Rossi, Denis Thevenin, Hélène Toussaint

► **To cite this version:**

Yves Richard, Thierry Castel, Benjamin Bois, Cédric Cuccia, Romain Marteau, et al.. Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011). *Bourgogne Nature*, 2014, 19, pp.110-117. hal-02153152

**HAL Id: hal-02153152**

**<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-02153152v1>**

Submitted on 12 Jun 2019

**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.

# Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011)

Yves RICHARD\*, Thierry CASTEL\*, Benjamin BOIS\*, Cédric CUCCIA\*, Romain MARTEAU\*, Aurélien ROSSI\*, Denis THÉVENIN\*\* & Hélène TOUSSAINT\*\*\*

## Résumé

Depuis un demi-siècle environ, l'augmentation des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre a entraîné une élévation de température qui peut être analysée selon des échelles emboîtées, allant de la planète aux territoires. Dans cette étude, les mesures effectuées sur le réseau de stations Météo-France sont mobilisées pour analyser la température en Bourgogne sur la période 1961-2011. Le réchauffement observé a des caractéristiques très proches des moyennes françaises. Il est plus fort que sur la moyenne planétaire. Il est marqué par une rupture nette délimitant deux périodes bien différentes : 1961-1987 et 1988-2011. Une interpolation par régression krigage permet de produire des cartes documentant la température et son évolution sur l'ensemble du territoire bourguignon. Variable spatialement, mais partout de l'ordre de 1 à 1,5 °C, le réchauffement observé entre les deux périodes est maximal au printemps et en été, plus marqué le jour que la nuit. L'étude montre que lorsque l'on veut produire une information relative au changement climatique à l'échelle des territoires, on doit à la fois prendre en compte des modes de variabilité d'échelle synoptique (ici de l'Atlantique Nord à l'Europe sans laquelle on ne peut comprendre la rupture de 1987/1988) et être très attentif aux conditions de mesure (des petits changements au niveau des postes ont eu un impact non négligeable).

Mots-clés : Changement climatique, rupture, saisonnalité, interpolation spatiale.

## Evolution of observed temperatures in Burgundy (1961-2011)

### Abstract

Since the late fifty year the global warming as a consequence of the GHG concentration increases is analyzed from planetary to local scale. The link between nested spatio-temporal scale is however very difficult to establish. In this work the Meteo France Station Network is used to analyse the main temperature patterns over the Burgundy region for the 1961-2011 period. The warming of temperature for Burgundy is close to the mean warming observed for France. It is higher than the average global warming. It shows a significant change point suggesting two periods : 1961-1987 and 1988-2011. In order to produce maps of temperature evolution for the entire Burgundy a regression-kriging approach is used. The warming ranges from 1°C to 1.5°C with highest values in spring and summer. Diurnal warming is greater than the nocturnal warming. The results suggest the need to account for large scale north atlantic climate variability to both understand the temperature shift that arise in 1987/1988 and document the climate change patterns at local scale. For this latter point it also appears that the local environment of the station should not be neglected.

Key words : Climate change, change point, seasonality, spatial interpolation.

\* Centre de Recherches de Climatologie - UMR 6282 Biogéosciences

CNRS/Université de Bourgogne - 6 boulevard Gabriel - 21000 DIJON - yves.richard@u-bourgogne.fr

\*\* Météo-France - Centre Départemental de la Côte-d'Or - 22-24 rue Louis de Broglie - 21000 DIJON

\*\*\* Alterre Bourgogne - 9 Boulevard Rembrandt - 21000 DIJON

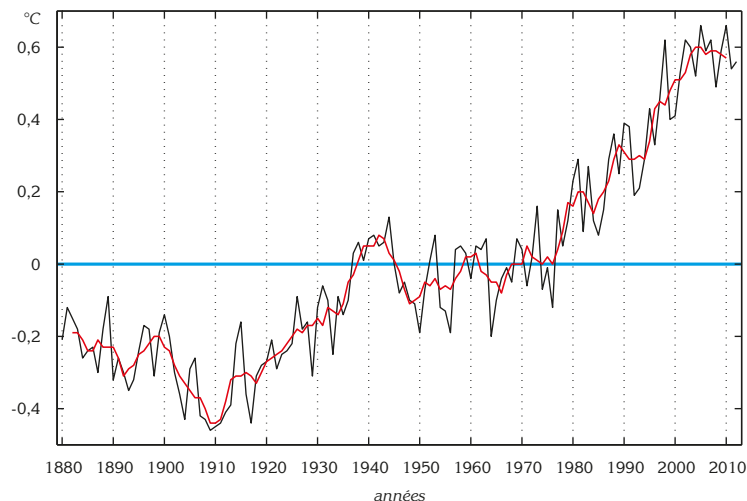
## Introduction

A l'échelle mondiale, le troisième rapport du GIEC (2001) a permis de clarifier les questions de la chronologie, des étapes et des causes du changement climatique. La température planétaire a commencé à augmenter au début du XX<sup>e</sup> siècle (1900-1940). Elle s'est ensuite stabilisée (1940-1975). Elle a à nouveau augmenté depuis 1975 (figure 1). A noter que ce réchauffement s'effectue selon un rythme deux fois plus rapide que lors de la première phase. A l'occasion de la publication de ce rapport GIEC, les facteurs ont également été précisés. Le réchauffement du début du XX<sup>e</sup> siècle est essentiellement à mettre en relation avec des forçages naturels (en particulier l'augmentation de l'activité solaire). Le réchauffement fut de l'ordre de 0,4 °C : il s'agissait de la fin du petit âge glaciaire. Quant au

Tableau I. Taux de croissance annuel des concentrations atmosphériques de CO <sub>2</sub> à Mauna Loa.	
Période	+CO <sub>2</sub> / an
2002-2011	2,05
1992-2001	1,56
1982-1991	1,55
1972-1981	1,38
1962-1971	0,87

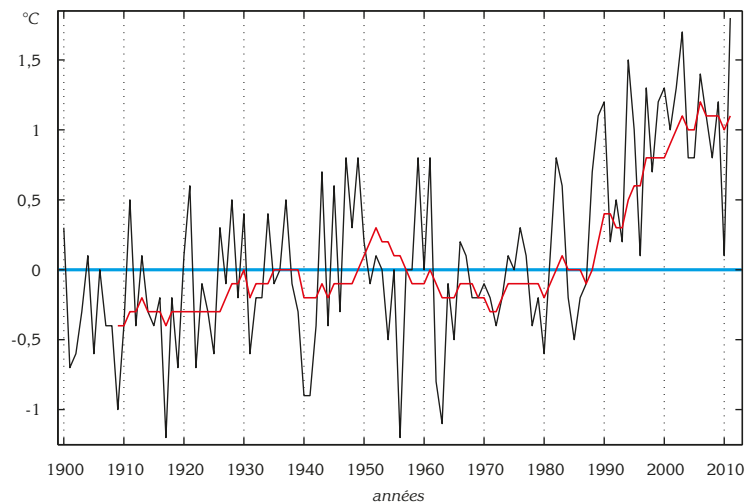
Source : NOAA (<http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/noaa-mauna-loa-co2-data.html>)

réchauffement contemporain, visible en moyenne planétaire depuis le cœur des années soixante-dix, il est d'origine anthropique : il est essentiellement la conséquence de l'augmentation des concentrations en Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'atmosphère. La période intermédiaire (1940-1975) est plus complexe. Les deux hémisphères ont connu des évolutions différenciées. Dans l'hémisphère sud, le réchauffement lié à l'augmentation des GES commence à faire sentir ses effets. Dans l'hémisphère nord, des mécanismes compensatoires (circulation thermohaline, concentration en aérosols sulfatés) auraient eu un effet de masque, ou effet antidote.



**Figure 1.** Évolution de la température planétaire (1880-2012)  
En anomalies par rapport à la moyenne 1950-1980. Noir : anomalie annuelle ; Rouge : moyenne sur 5 ans.  
Source : NASA ([http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs\\_v3/fig.A2.txt](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v3/fig.A2.txt))

Depuis la publication du troisième rapport du GIEC (2001), des milliers de publications scientifiques ont contribué à confirmer, prolonger et préciser les résultats précédents. Dans les années 2000, en dépit du protocole de Kyoto (1997), environ 100 milliards de tonnes de carbone ont été émises dans l'atmosphère, à savoir un quart des émissions cumulées depuis 1750. En conséquence, l'augmentation des concentrations en CO<sub>2</sub> s'est accélérée (tableau I) et le réchauffement s'est poursuivi (figure 1). Dans le même temps, la compréhension des processus et des enjeux s'est améliorée. Les apports scientifiques ont été synthétisés dans les quatrième (2007) et cinquième (2013) rapports du GIEC.



**Figure 2.** Évolution de la température en France (1900-2011).  
En anomalies par rapport à la moyenne 1961-1990. Noir : anomalie annuelle ; Rouge : moyenne sur 10 ans.  
Source : Météo-France (<http://onerc.developpement-durable.gouv.fr/fr/category/indicateurs/atmosphere-et-climat>)

Le changement climatique est une problématique concernant l'ensemble de la planète et de ses habitants. C'est à cette échelle, planétaire, que cette question est la plus fréquemment traitée. Pour autant le changement climatique concerne tous les territoires, quelle que soit leur taille. Pour la France métropolitaine, Météo-France propose un indice typique de l'hémisphère nord (figure 2) : les décennies soixante et soixante-dix apparaissent comme étant légèrement plus fraîches que les décennies précédentes (quarante et cinquante). A noter que les deux phases de réchauffement (1900-1940 et postérieure à 1975) sont bien visibles. Depuis 1975, le température a crû d'au moins 1 °C.

La Bourgogne n'est pas une région emblématique au regard du changement climatique : pas de risque lié à la montée des océans, pas de station de ski dont l'activité pourrait décliner, pas de dépendance à d'autres régions en termes de ressources en eau, etc. C'est une région où les risques ne sont pas majeurs. Elle est l'archétype d'une région « normale » et, en ce sens, les indications qu'elle livre sont souvent transposables à d'autres régions des moyennes latitudes.

## Matériel et méthodes

Le réseau d'observation de Météo-France fournit le matériel de base. En Bourgogne, il est délicat de proposer un indice régional avant 1961 en raison de la « faible » densité du réseau de station. Nous nous appuyons ici sur les séries de températures quotidiennes (minimales et maximales) sans valeurs manquantes sur la période 1961-2011. Ces 14 stations sont réparties au sein des quatre départements de Bourgogne. Ce jeu est complété en intégrant 21 stations proches et situées dans les départements limitrophes. Les 14 stations bourguignonnes permettent de construire (via une moyenne) un indice représentatif de la région. Les 35 stations sont utilisées pour l'élaboration de cartes, selon une méthode d'interpolation spatiale basée sur la méthode régression-krigeage. Dans une première étape, pour chaque carte, un modèle de régression linéaire est bâti sur la base des relations observées entre la température aux 35 stations, l'altitude et les coordonnées géographiques (latitude, longitude). Cette étape permet de modéliser la relation entre température et altitude (gradient décroissant) et d'identifier d'éventuels gradients horizontaux (ex : augmentation de la température du nord vers le sud). L'analyse est basée sur les coordonnées des stations Météo-France croisées avec l'altitude donnée par le modèle numérique de terrain SRTM (Shuttle Radar Topographic Mapping – RODRIGUEZ *et al.*, 2005) à la résolution horizontale de 5 km. Cette approche prend mal en compte d'éventuelles spécificités infra-régionales (ex : le plateau de Langres est-il particulièrement froid ?). Pour ce faire, une seconde étape a cherché à interpoler spatialement (par krigeage) les résidus de la régression. L'idée sous-jacente est que les stations les plus proches sont susceptibles de plus se ressembler et qu'il convient de savoir jusqu'à quelle distance (i.e. portée) ces ressemblances sont effectives. Des semi-variogrammes permettent de gérer ces éléments (PEBESMA, 2004). Au final, les résultats des deux étapes sont combinés : régression + krigeage (HENGL *et al.*, 2007). Cela permet de produire une information intégrant des variations régionales et infra-régionales. En revanche, l'échelle considérée ici (5 km) n'intègre pas les variations locales (vallées étroites, ...).

## Résultats

La figure 3 montre clairement que la température moyenne annuelle en Bourgogne a nettement augmenté depuis 1987. Pour la période 1961-1987, cette moyenne était autour de 10 °C. En 1988-2011, elle dépasse 11 °C (figure 3). La deuxième caractéristique de cette moyenne régionale est la présence d'une rupture significative<sup>1</sup> autour des années 1987/1988. Les différences de températures calculées entre les deux sous-périodes (1988-2011 et 1961-1987) sont positives pour les 35 stations, sans exception. Les valeurs varient en fonction de la station, de la saison, ou de l'heure de la journée (température diurne versus nocturne). Tel est le cas, par exemple, des stations d'altitude (tableau II). Mais le matériel a évolué (automatisation). Des modifications de l'environnement des stations (croissance urbaine, déprise agricole) ont eu lieu. Ainsi est-il prudent de ne pas analyser ces valeurs au 1/10<sup>e</sup> de degré près, station par station, et de privilégier la mise en évidence de cohérences spatiales.

Pour les deux sous-périodes, les moyennes des températures minimales (généralement relevées au petit matin) et maximales (généralement relevées en début d'après midi) sont spatialisées (figure 4). Les échelles de couleurs sont identiques entre les deux sous-périodes (figure 4a, b, c et d). Les contrastes de couleurs entre les périodes 1961-1987 (figure 4a et b) et 1988-2011 (figure 4c et d) témoignent de l'ampleur des changements. Les géographies sont globalement inchangées (Morvan plus frais, Mâconnais plus chaud), mais les niveaux de températures sont sensiblement différents. Les différences sont partout positives (figure 4e et f). Le réchauffement est plus marqué sur les températures maximales (figure 4f) que sur les minimales (figure 4e). L'augmentation des températures minimales est la plus forte au sud-est de la région, en Saône-et-Loire (figure 4e). L'augmentation

<sup>1</sup> Au regard de trois tests statistiques : Pettitt, SMWDA et Student.

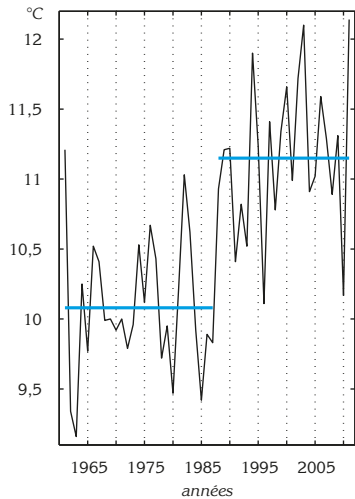


Figure 3. Évolution de la température moyenne annuelle en Bourgogne (1961-2011).

Tableau II. Différence de température entre la période 1988-2011 et la période 1961-1987.

(T° 1988/2011) - (T° 1961/1987)	Saison froide (octobre à mars)		Saison chaude (avril à septembre)	
	T° mini (nuit)	T° maxi (jour)	T° mini (nuit)	T° maxi (jour)
Château-Chinon	1,08	1,35	0,86	1,77
Monsauche-les-Settons	1,48	1,55	1,27	1,09
Saint-Léger-Vauban	0,66	1,47	0,18	1,98
Mont-Saint-Vincent	1,02	1,23	0,92	1,57

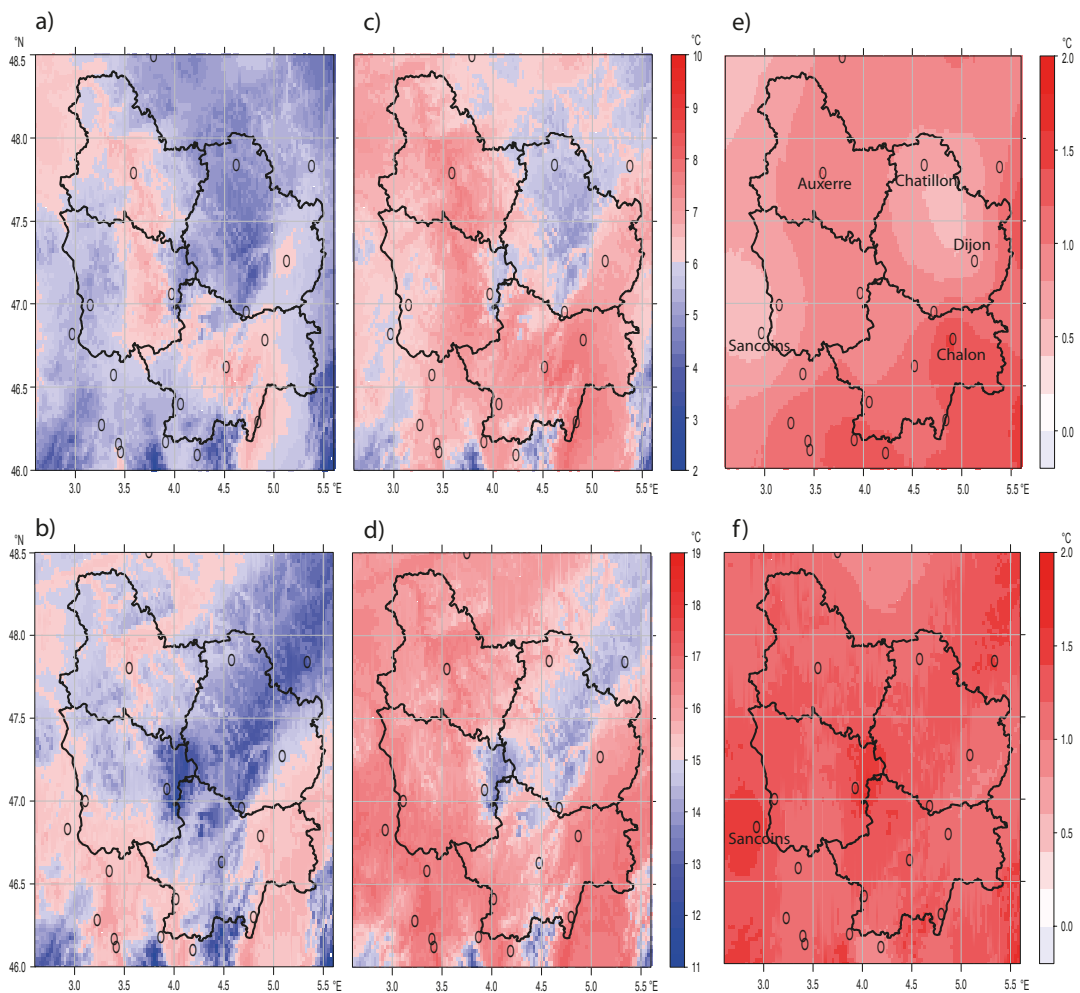


Figure 4. Températures minimale et maximale annuelles (1961/1987 & 1988/2011) et évolution - Interpolation par régression-krigeage a et b : moyenne 1961-1987 ; c et d : moyenne 1988-2011 ; e et f : différence (1988/2011 - 1961/1987) ; a, c et e : température minimale ; b, d et f : température maximale.

des températures maximales est très nette en altitude, dans le Morvan et au niveau du seuil de Bourgogne (figure 4f). L'analyse saisonnière présente également des contrastes forts (figure 5). En automne le réchauffement a été très peu marqué (figure 5a). Il est en moyenne spatiale inférieur à 0,5 °C. En hiver, il dépasse 1 °C (figure 5b). De l'ordre de 1,5 °C, le réchauffement est maximal au printemps (figure 5c). Il est également très marqué, entre 1 °C et 1,5 °C, en été (figure 5d).

## Discussion

En Bourgogne comme à l'échelle de la France métropolitaine, le réchauffement observé ces dernières décennies est supérieur à 1 °C, soit deux fois plus important qu'en moyenne planétaire ; Trois familles d'hypothèses peuvent être formulées.

1/ La température des décennies 1960 et 1970 était particulièrement froide (figure 2). Ceci est observé pour les trois grandes régions industrielles du monde (Amérique du Nord-Est, Europe et Asie du Sud-Est). Ceci est principalement dû aux fortes concentrations en aérosols refroidissant, en particulier sulfatés (FRIEDMAN *et al.*, 2013), liées aux conditions de combustion de charbon.

2/ Le réchauffement est effectivement plus important qu'en moyenne mondiale. Ceci est partagé par la majeure partie des zones continentales, les océans se réchauffant plus lentement (MANABE *et al.*, 1991). Ce constat est également partagé pour les zones tempérées et polaires qui se réchauffent plus que la zone tropicale.

3/ A l'échelle de l'Atlantique Nord et de l'Europe, la variabilité naturelle du climat, dans des gammes temporelles allant de l'interannuel au décennal, a eu des effets se combinant à ceux des GES et des aérosols. Or les modèles de climat ne reproduisent pas toujours très bien cette variabilité. Ainsi éprouvent-ils quelques difficultés à reproduire avec suffisamment d'intensité le froid des décennies qui précèdent la rupture de 1987. C'est le cas du modèle ARPEGE-climat de Météo-France : une extraction de la température à la maille de la Bourgogne (ré-interpolée aux coordonnées de Dijon), confrontée à la série homogénéisée « Dijon », montre une légère surestimation de la température des décennies 1960 et 1970 ainsi qu'une sous-estimation de la température de la décennie 1940 (figure 6).

La présence d'une rupture montre que le réchauffement, lorsqu'on le décline à l'échelle régionale, n'est ni régulier ni homogène. Il n'est pas une fonction simple de la concentration en GES. Concernant la Bourgogne, la France et plus largement l'Europe, le réchauffement observé ne peut être compris si on ne tient pas compte de la variabilité des régimes de temps (CASSOU & GUILYARDI, 2007), à savoir des éléments de dynamique océano-atmosphérique du type Oscillation de l'Atlantique Nord (NAO). Ce mode de variabilité est basé sur la différence de pression entre les Açores et l'Islande. Son influence sur le climat de l'Europe de l'Ouest est maximale en hiver (HURRELL, 1995). La moyenne hivernale (décembre

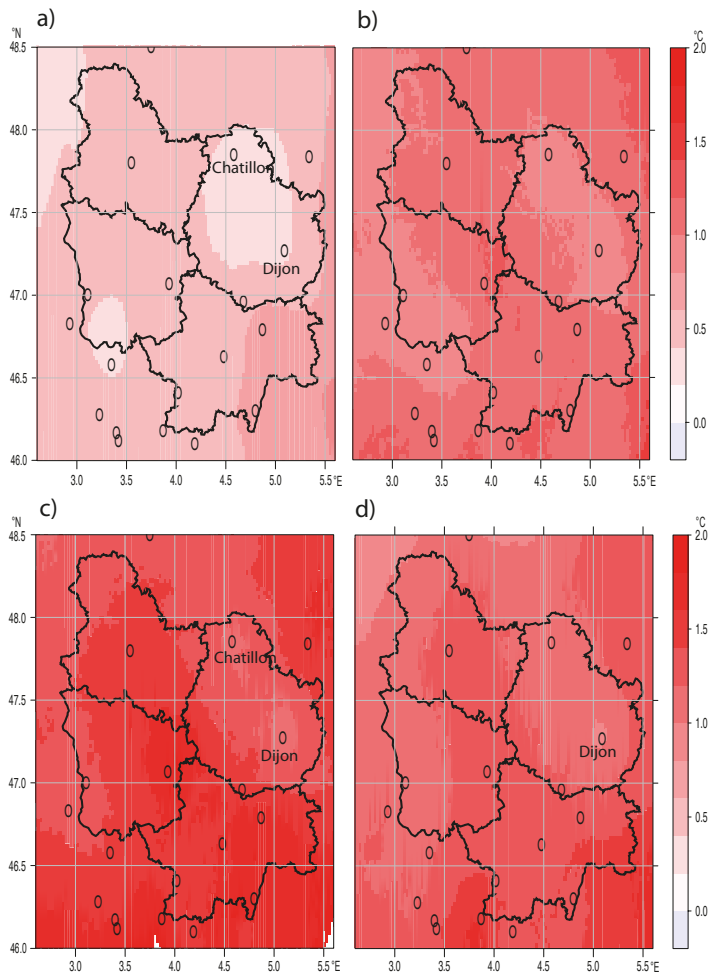
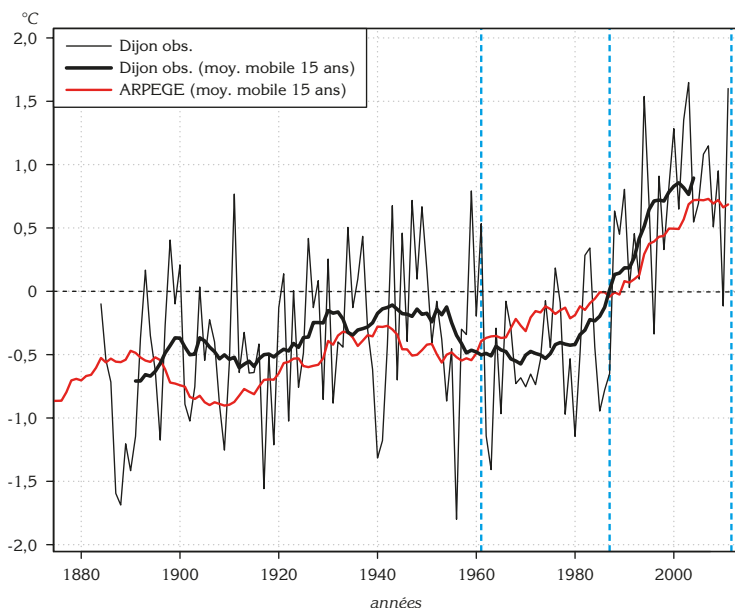


Figure 5. Évolution de la température moyenne saisonnière (1988/2011 - 1961/1987) Interpolation par régression-krigeage  
a : automne (septembre à novembre) ; b : hiver (décembre à février) ;  
c : printemps (mars à mai) ; d : été (juin à août).





**Figure 6.** Anomalie de la température moyenne annuelle à Dijon (1880-2011)  
 Période de référence : 1971-2000.  
 Pointillés bleus verticaux : sous-périodes 1961-1987 et 1988-2011.  
 Courbe noire fine : température mesurée à Dijon (série homogénéisée par Météo-France).  
 Courbe noire épaisse : moyenne mobile sur 15 ans de la température à Dijon homogénéisée.  
 Courbe rouge épaisse : moyenne mobile sur 15 ans de la température simulée à Dijon par le modèle ARPEGE-climat (version CM3). Les données ont été ré-interpolées aux coordonnées de la station de Dijon à partir des 4 mailles du modèle les plus proches. *Nota Bene* : les données après 2000 sont celle simulées avec le scénario d'émission de gaz à effet de serre A2 (expérience CMIP3).

cette rupture est à associer à l'augmentation de la température des eaux de surface de l'Atlantique Nord, représentée par l'indice AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation (ENFIELD *et al.*, 2001)). Ici, la moyenne annuelle de l'indice AMO a été calculée pour chaque année, par groupes de cinq ans, pour 1961-1987 et pour 1988-2011 (figure 7b). En relation avec le réchauffement global, l'Atlantique Nord se réchauffe. Mais ce réchauffement n'est pas régulier : il s'effectue par sauts successifs. L'ensemble de ces résultats suggèrent que l'Atlantique Nord est un des modulateurs majeurs du mode de réchauffement observé en Europe. Enfin, DE LAAT & CROK (2013) ont montré que dans les années 1980, en Europe, la forte réduction des concentrations en aérosols avait amplifié le réchauffement dû à l'augmentation des GES.

Quelques « yeux », générés par le krigeage, signent la spécificité d'une station. Cinq stations sont concernées : Sancoins, Cher (figure 4e et f) ; Châtillon-sur-Seine (figure 4e et figure 5a et c) et Dijon-Longvic (figure 4e et figure 5a, c et d), Côte-d'Or ; Chalon-sur-Saône, Saône-et-Loire (figure 4e) ; et Auxerre, Yonne (figure 4e). A Sancoins, l'augmentation de la température nocturne est très peu marquée (figure 4e), alors qu'elle est très élevée pour la température diurne (figure 4f), phénomène contraire à un renforcement de l'îlot de chaleur urbain. Cette évolution, paradoxale, s'explique par le déplacement du poste de mesure le 01/08/1992. A Dijon-Longvic, le faible réchauffement (figure 4e et figure 5a, c et d) s'explique également par un déplacement du poste effectué le 13/09/1982. A Chalon-sur-Saône où le réchauffement des températures nocturnes semble anormalement élevé (figure 4e), la station est située aux Ponts et Chaussées. A proximité, en 1992, 40 peupliers ont été arrachés en février, un remblai de terre a été aménagé en mars et le Pont de Bourgogne a été mis en service le 14 juillet 1992 (DAULIN, 1995). Enfin, l'importante augmentation de la température nocturne à Auxerre (figure 4e), à la station péri-urbaine de Saint-Georges-sur-Baulche, est compatible avec un renforcement de l'îlot de chaleur urbain lié à la modification de l'environnement du poste de mesure. Seul le réchauffement anormalement faible de la température de Châtillon-sur-Seine, que ce soit la nuit (figure 4e), l'automne ou le printemps (figure 5a et c), n'est pas explicable au regard des méta-données disponibles.

à février) de l'indice NAO a été calculée pour chaque année, par groupes de cinq ans, pour 1961-1987 et pour 1988-2011 (figure 7a). On retrouve la rupture de 1987-1988, cohérente avec un réchauffement soudain. La variation décennale observée sur l'indice NAO, qui se traduit par un renforcement des phases positives (haute pression sur les Açores, basse pression sur l'Islande), au détriment des phases négatives, est-elle naturelle ? Ou bien est-ce une des caractéristiques du changement climatique ? En l'état actuel des connaissances, prudence serait de répondre « les deux ». D'une part, la variabilité décennale de la NAO, phénomène naturel, reste difficile à comprendre. D'autre part, les modèles de climat convergent vers une fréquence accrue (moindre) des phases positives (négatives) de la NAO au cours du siècle à venir (CASSOU & GUILYARDI, 2007). SUTTON & DONG (2012) ont également montré que

## Conclusion

Décliner les modalités du changement climatique à l'échelle des territoires est une nécessité. C'est à cette échelle que des politiques d'adaptation sont et seront mises en œuvre, l'action ne se conçoit qu'au niveau local. Pour cela, la demande sociétale en termes de connaissance des modalités du changement climatique à haute résolution spatiale est forte. Elle constitue un défi pour la communauté des climatologues. Avant même d'élaborer des projections climatiques à haute résolution spatiale pour le siècle à venir (Xu *et al.*, 2012), se pose la question de la connaissance du climat actuel à l'échelle des territoires. Ce travail portant sur la Bourgogne montre que les difficultés sont nombreuses. Le réseau de station n'est suffisamment dense que depuis 1961. Ce problème peut être beaucoup plus aigu dans d'autres régions du monde. Même lorsque le réseau est de qualité, ce qui est le cas du réseau de Météo-France, sa densité reste modeste et des problèmes (modifications de l'environnement des stations) sont possibles. Des méthodes plus ou moins raffinées de spatialisation permettent néanmoins de produire de l'information en tous points du territoire. Mais on doit garder à l'esprit que la qualité des résultats est largement tributaire des informations de départ (en densité et en qualité). A noter que la spatialisation des températures par régression krigeage peut contribuer à éprouver la robustesse des résultats et à diagnostiquer les éventuels problèmes de mesures.

En Bourgogne, l'évolution des températures observées depuis 1961 présente des spécificités :

- le réchauffement est plus rapide qu'en moyenne planétaire ( $\approx +1$  °C versus  $\approx +0,5$  °C). Cette différence de rythme entre le réchauffement en Bourgogne et le réchauffement planétaire s'explique. Il est hautement probable qu'elle se prolonge sur le siècle à venir. Elle doit donc être prise en compte lors de la définition des politiques d'adaptation à conduire au sein du territoire ;
- le réchauffement n'est pas progressif. Il se présente sous la forme de paliers et de sauts (exemple : 1987-1988). Paliers et sauts sont à mettre en relation avec des modes de variabilités qui diffèrent selon les grandes régions du monde. Ainsi le réchauffement en Bourgogne ne peut se comprendre si l'on ne considère pas la dynamique océano-atmosphérique de l'Atlantique Nord. Ces modalités rendent délicate la perception du changement par l'ensemble des acteurs, forment un terreau sur lequel prospère le climato-scepticisme, et génèrent des crises (exemple : surmortalité de l'été 2003) ;

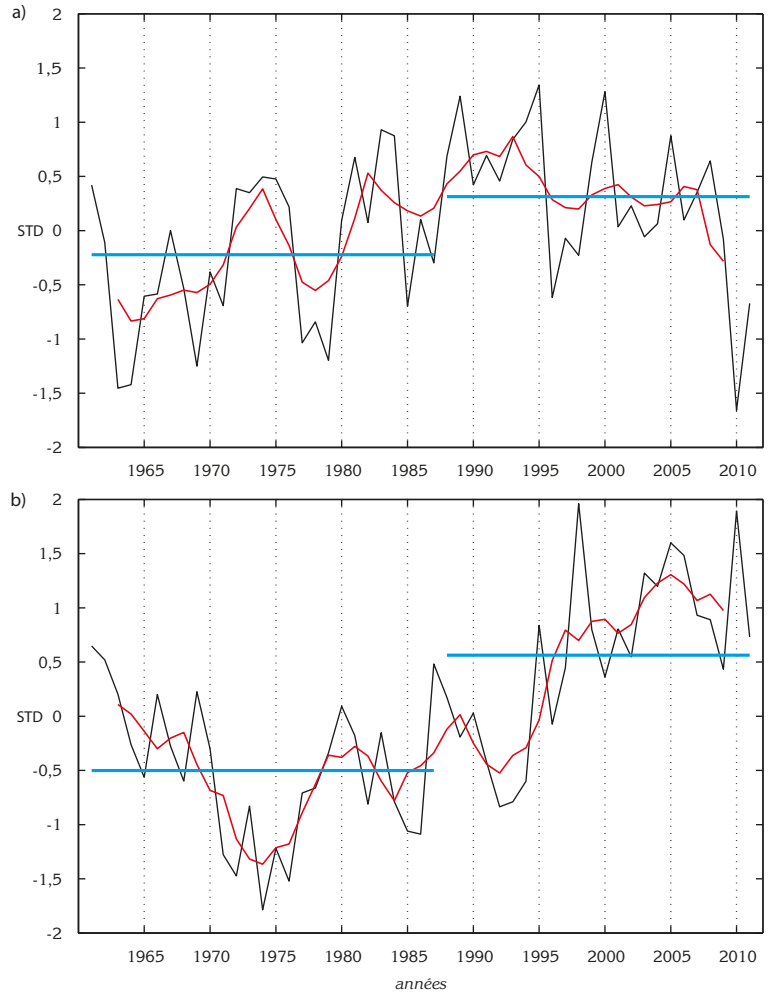


Figure 7. Évolutions 1961-2011 de a) l'indice hivernal (Décembre-Février) de l'Oscillation de l'Atlantique Nord (NAO) et b) de l'Oscillation Multidécennale de l'Atlantique (AMO)  
Courbe noire : valeurs annuelles ; courbe rouge : moyenne sur 5 ans ;  
lignes horizontales bleues : moyennes 1961-1987 et 1988-2011.



- le réchauffement est plus marqué sur les températures diurnes. Cela témoigne de modifications en termes d'humidité de l'atmosphère ou/et de couvert nuageux. Cela n'était pas l'objet de ce travail mais traduit le fait que le changement climatique ne se résume pas à une hausse des températures. Ici, l'hypothèse associée est, pour la Bourgogne depuis 1961, l'assèchement de l'atmosphère ou/et la diminution du couvert nuageux. En l'absence de données historiques sur ces variables il est difficile de vérifier ces hypothèses. En revanche, celles-ci peuvent nourrir nos réflexions relatives aux évolutions sur le siècle à venir ;
- le réchauffement est plus marqué lors de la saison végétative (printemps et été). L'allongement de la saison végétative, qui s'ajoute à l'enrichissement de l'atmosphère en CO<sub>2</sub>, favorise la production de biomasse. Cela offre de nouveaux potentiels pour l'agriculture et la sylviculture. Mais ces potentiels ne peuvent être atteints qu'au regard de la disponibilité en eau : réserve hydrique des sols et ressource hydrologique.

L'analyse rétrospective (1961-2011) est à croiser aux analyses prospectives (XXI<sup>e</sup> siècle) que le Centre de Recherches de Climatologie conduit avec différents partenaires dans le cadre du programme HYCCARE (HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau) Bourgogne où l'on croise (et valide) les analyses climatiques avec d'autres expertises, d'autres connaissances sur le fonctionnement des milieux (comme l'hydrologie) via des recherches menées en partenariat. Analyser le changement climatique, c'est aussi analyser les réponses de nos systèmes à ces changements.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Centre de Ressources Informatique de l'université de Bourgogne (CRI uB), pour la plate-forme de calcul ; Météo-France, pour la mise à disposition des données ; Alterre Bourgogne, pour la coordination d'HYCCARE Bourgogne ; l'ADEME en Bourgogne, trois agences de l'eau (Seine-Normandie, Rhône-Méditerranée et Corse, Loire-Bretagne) et le programme Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC), pour leur soutien financier.

## Bibliographie

- CASSOU C. & GUILYARDI E. 2007. Modes de variabilité et changement climatique. Synthèse du quatrième rapport d'évaluation du GIEC. *La Météorologie* 59: 22-30.
- DAULIN F. 1995. L'îlot de chaleur urbain et problèmes topoclimatologiques à Chalon-sur-Saône. Mémoire de DEA. Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne, 51 p.
- DE LAAT A.T.J & CROK M. 2013. A late 20th century european climate shift: fingerprint of regional brightening? *Atmospheric and Climate Sciences* 3: 291-300.
- ENFIELD D.B., MESTAS-NÚÑEZ A.M. & TRIMBLE P.J. 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S., *Geophys. Res. Lett.* 28: 2077-2080.
- FRIEDMAN A.R., HWANG Y.-T., CHIANG J.C.H. & FRIERSON D.M.W. 2013. Interhemispheric temperature asymmetry over the 20<sup>th</sup> century and in 7 future projections. *Journal of Climate*, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00525.1.
- GIEC 2001. Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Publié sous la direction de J.T. HOUGHTON, Y. DING, D.J. GRIGGS, M. NOGUER, P.J. VAN DER LINDEN et D. XIAOSU. 97 p.
- GIEC 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Publié sous la direction de R.K. PACHAURI et A. REISINGER. 103 p.
- GIEC 2013. Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de T.F. STOCKER, D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUJELS, Y. XIA, V. BEX et P.M. MIDGLEY]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- HENGL T., HEGVELINK G.B.M. & ROSSITER D.G. 2007. About regression-kriging: from equations to case studies. *Computers & Geosciences* 33: 1301-1315.
- HURRELL J.M. 1995. Decadal trends in North Atlantic Oscillation and relationship to regional temperature and precipitation. *Science*, 269: 676-679.
- MANABE S., STOUFFER R.J., SPELMAN M.J. & BRYAN K. 1991. Transient response of a coupled ocean-atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO<sub>2</sub>. Part I: Annual mean response. *Journal of Climate*, 4: 785-818.
- PEBESMA E.J. 2004. Multivariate geostatistics in S: gstat package. *Computers & Geosciences*, 30(7): 683-691.
- RODRIGUEZ E., MORRIS C.S., BELZ J.E., CHAPIN E.C., MARTIN J.M., DAFFER W. & HENSLEY S. 2005. An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp.
- SUTTON R.T. & DONG B. 2012. Atlantic ocean influence on a shift in European climate in the 1990s. *Nature Geoscience*, DOI : 10.1038/NGEO1595.
- XU Y., CASTEL T., RICHARD Y., CUCICIA C. & BOIS B. 2012. Burgundy Regional Climate Change and its Potential Impact on Grapevines. *Climate Dynamics* 39(7-8): 1613-1626.