



HAL
open science

Modalités et robustesse de la régionalisation du climat de la Bourgogne Franche-Comté

Etienne Brulebois, Yves Richard, Thierry Castel

► **To cite this version:**

Etienne Brulebois, Yves Richard, Thierry Castel (Dir.). Modalités et robustesse de la régionalisation du climat de la Bourgogne Franche-Comté. pp.1-10, 2017. hal-02166856

HAL Id: hal-02166856

<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-02166856v1>

Submitted on 27 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.

Modalités et robustesse de la régionalisation du climat de la Bourgogne Franche-Comté

Etienne Brulebois, Yves Richard et Thierry Castel

27 juillet 2017

Centre de Recherches de Climatologie UMR 6282 Biogéosciences CNRS/uBFC/EPHE
thierry.castel@u-bourgogne.fr ou thierry.castel@agrosupdijon.fr

Cette note rend compte d'une partie des travaux initiés par le Centre de Recherches de Climatologie (CRC) dans le cadre du projet PSDR/PROSYS (tache 1.2 Prospective changement climatique). Ces travaux ont été réalisés grâce au support des 6 mois de CDD d'ingénieur d'étude financés par le projet Prosys dont a bénéficié Etienne Brulebois. Nous présentons succinctement ici :

1. le protocole de régionalisation et d'évaluation des simulations climatiques ;
2. les résultats des simulations des températures hivernales et des précipitations pour la période 1980–2014 ;
3. la capacité des températures simulées à mimer l'évolution du stress froid du pois d'hiver observée suite au réchauffement de 1987/1988 (BRULEBOIS et al. 2015 ; RICHARD et al. 2014).

1 Protocole de régionalisation et d'évaluation

La stratégie de régionalisation (i.e. descente d'échelle spatiale) reprend dans ses grandes lignes la démarche initiée pour le projet GICC HYCCARE (HYCCARE-Bourgogne). Elle s'appuie principalement sur le modèle climatique régional WRF (Weather Research & Forecasting – SKAMAROCK et al. 2008), sur des données climatiques observées à la station (Météo-France) et interpolées (CASTEL et al. 2017b) et sur des données de forçage large échelle : réanalyses ERA-INTERIM (DEE et al. 2011) et projections climatiques du programme international CMIP5 (TAYLOR et al. 2011).

Deux modifications majeures ont toutefois été apportées pour essayer d'améliorer la robustesse du climat simulé et plus particulièrement des précipitations. La qualité de ces dernières est apparue comme un verrou majeur (rapport HYCCARE – TISSOT et al. 2016) dans la projection à l'échelle des territoires des impacts du changement climatique. Ces modifications ont porté sur :

- la prise en compte des rétroactions entre les schémas radiatif et convectif (ALAPATY et al. 2012; HERWEHE et al. 2014);
- l'utilisation de données de forçage du modèle WRF provenant de projections climatiques débiaisées (BRUYÈRE et al. 2014).

Les simulations ont été produites au pas de temps journalier, à la résolution de 12km sur l'ensemble de la région Bourgogne Franche-Comté. Outre la température et la précipitation, le modèle simule également les principales variables de surface permettant de faire le bilan d'énergie et de calculer par exemple l'évapotranspiration potentielle. Notons que le climat produit à 12km est complètement résolu par le modèle sans intervention de données observées exogènes (i.e. assimilation). Par la suite les résultats sont présentés uniquement pour les températures à 2m hivernales (octobre à mars) et les précipitations (cumuls annuels).

Les températures et les précipitations simulées ont été comparées aux pas de temps journalier, mensuel et annuel avec les données observées interpolées journalièrement sur la même grille (cf. CASTEL et al. 2017b pour plus de détails sur la méthode d'interpolation spatiale des données stationnelles). Des confrontations point de grille par point de grille ont également été réalisées afin d'évaluer la capacité du modèle à reproduire la variabilité géographique du climat (RATEL 2016). Enfin les erreurs moyennes et les biais ont été estimés pour évaluer l'apport de l'application d'une méthode de post-correction.

Parallèlement à cette évaluation directe, les températures journalières simulées ont servi à alimenter le modèle de stress froid du pois d'hiver (LECOMTE et al. 2003, CASTEL et al. 2014). Cette approche indirecte permet i) d'analyser finement la capacité du modèle climatique régional à reproduire précisément la variabilité du climat au niveau de la surface (STÉFANON et al. 2015, BOULARD et al. 2016) et ii) de quantifier les biais et erreurs à associer aux projections de l'évolution du risque gélif du pois d'hiver en Bourgogne Franche-Comté.

2 Simulations des températures hivernales et des précipitations

La figure 1 présente l'évolution inter-annuelle des moyennes des températures (minimales : T_{min} et maximales : T_{max}) hivernales et des cumuls annuels moyens des précipitations pour la période 1980–2014. La variabilité des températures hivernales est très bien reproduite par le modèle ($R^2 > 0.8$). Un biais froid (chaud) est observé sur les T_{max} (T_{min}). Le biais est toutefois plus important sur les T_{max} (-0.27°C) que sur les T_{min} ($+0.15^\circ\text{C}$). En outre ces résultats ne montrent pas pour des simulations longues (> 30 ans) et continues une dérive. Cela confirme la robustesse du protocole établi au cours de nos précédents travaux et régulièrement mobilisé dans d'autres études. Si pour les températures il s'agit d'une confirmation, la reproduction de la variabilité des cumuls de précipitations montre une amélioration très significative. Les biais humides sont fortement réduits comparativement aux simulations précédentes.

Cette amélioration est principalement attribuable à la prise en compte des rétroactions entre les schémas de convection et de radiation et confirme les résultats obtenus par ALAPATY et al. 2012. La post-correction par la méthode du Quantile-Mapping proposée par GUDMUNDSSON et al. 2012 et appliquée par BRULEBOIS 2016 ne montre pas à ce pas de temps et en première approche d'apport majeur. Les corrélations sont stables pour les températures ($R^2 \sim 0.85$) et pour les précipitations ($R^2 \sim 0.8$). Les biais sont légèrement réduits pour les précipitations et les Tmin. Le gain est plus net pour les Tmax (de -0.27°C à 0.04°C).

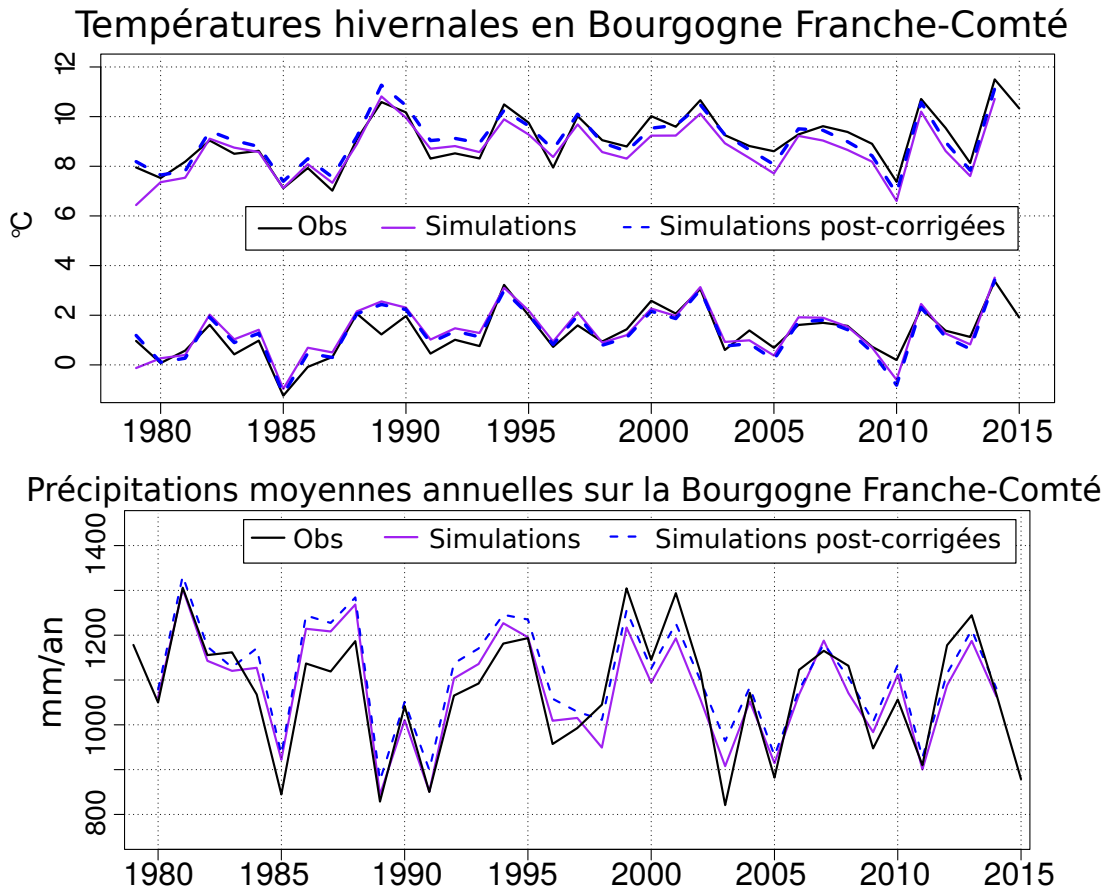


FIGURE 1 – Évolution inter-annuelle des moyennes 1) des températures minimales (Tmin) et maximales (Tmax) hivernales (graphique du haut) et 2) des cumuls annuels des précipitations (graphique du bas) pour les données observées, simulées et simulées/post-corrigées.

L'évolution des températures permet de retrouver le réchauffement observé autour des années 1987/1988 même si la profondeur de la période est tronquée. Pour les précipitations, aucune tendance n'est observée avec des cumuls annuels moyens quasi stables et marqués par une très forte variabilité inter-annuelle.

Les cartes des moyennes des Tmin hivernales observées et simulées/post-corrigées

(figure 2) montrent, aux valeurs absolues près, des patrons similaires. La post-correction permet d'améliorer significativement le score des simulations qui passent d'un $R^2 = 0.45$ à un $R^2 = 0.91$. L'apport est moins spectaculaire pour les Tmax qui sont moins dépendantes des caractéristiques topographiques et d'occupation du sol locales. Cette amélioration s'accompagne de la réduction des biais et des erreurs quadratiques (résultats non montrés).

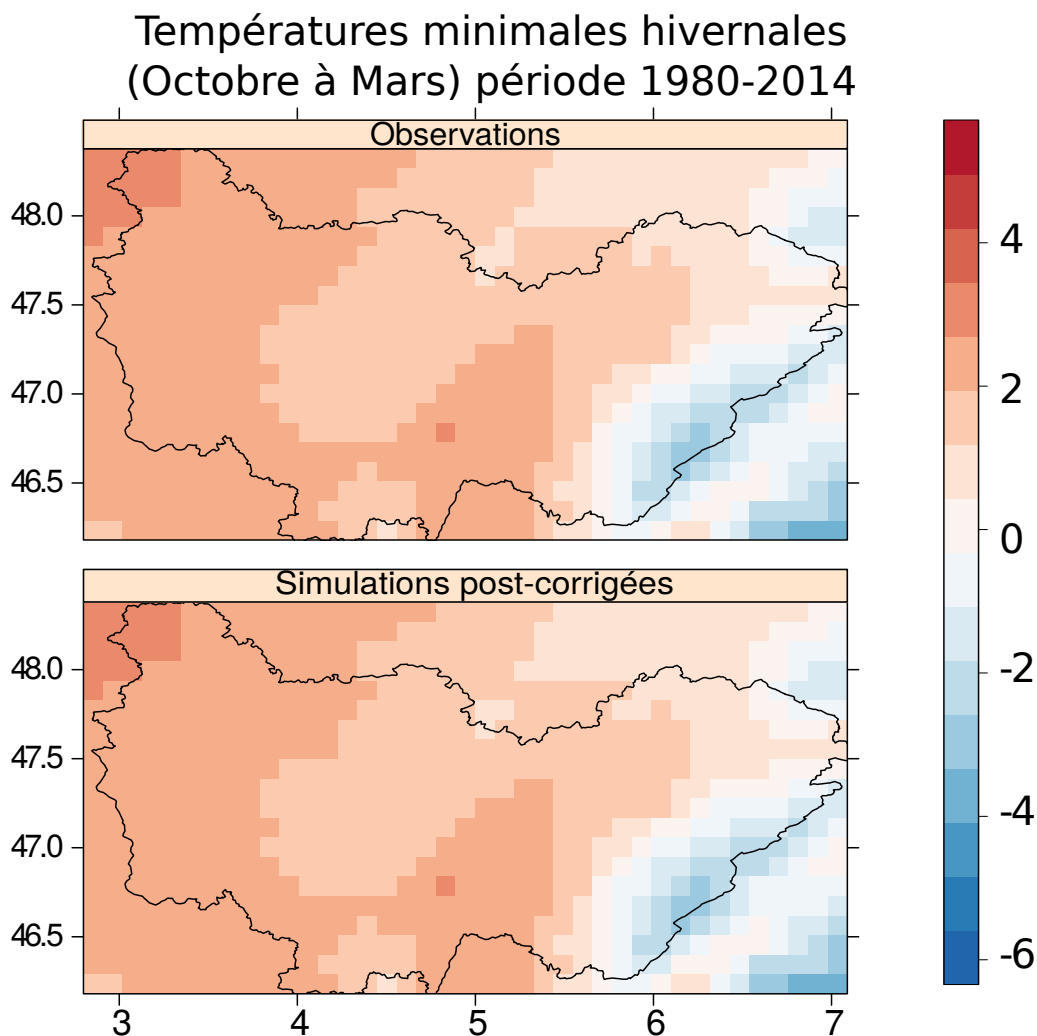


FIGURE 2 – Géographie des moyennes des Tmin hivernales observées et simulées/post-corrigées. La moyenne est calculée pour chaque point de grille à partir de l'ensemble des jours de tous les hivers de la période 1980-2014.

Les simulations permettent de retrouver les principaux gradients altitudinaux avec un plateau du chatillonnais et le Morvan plus frais en moyenne sur la Bourgogne. Pour la partie franc-comtoise le massif du Jura et les contreforts des Vosges sont également bien

identifiés. Pour les Tmin l'apport de la correction semble indispensable dans l'optique notamment de la simulation du stress froid.

3 Evolution du stress froid pour le pois d'hiver

Un des enjeux de la tache 1.2 du projet est de produire des trajectoires plausibles de l'évolution des paramètres agro-climatiques pour en particulier des cultures de protéagineux. Le modèle mobilisé pour estimer le stress froid du pois d'hiver nécessite en entrée les températures minimales et moyennes journalières. La figure 3 montre que les températures minimales et maximales simulées au pas de temps journalier et pour tous les points de grille reproduisent correctement tant la variabilité spatiale que temporelle.

Températures hivernales journalières (min et max)
(1980/2014)

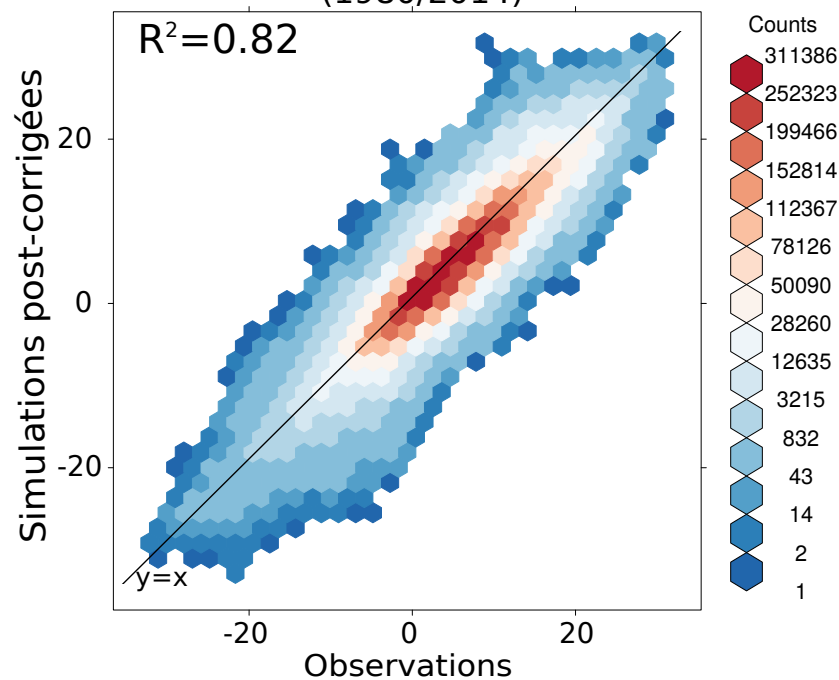


FIGURE 3 – Tmin et Tmax observées vs. simulées/post-corrigées pour l'ensemble des points de grille et pour chaque jour de chaque hiver de la période 1980/2014. La valeur associée à chaque hexagone correspond au nombre de 'jour-point de grille' inclus dans cette zone du graphique. Cette représentation peut être vue comme un histogramme bidimensionnel et permettant de bien visualiser malgré le nombre très important de valeurs les zones de plus forte densité (poids, couleurs chaudes) pour la corrélation entre observations et simulations.

Notons que les forts biais chauds sur les températures minimales sont principalement

localisés sur les zones avec un relief marqué (Jura, contrefort des Vosges, Morvan) à plus faibles enjeux cultureux. La très grande majorité des points (couleurs chaudes) sont alignés sur la bissectrice ce qui indique qu'au pas de temps journalier la géographie est bien reproduite. Ces résultats montrent également que la variabilité des températures simulées couvre la gamme des températures observées. Le modèle permet ainsi de reproduire 82% de la variance observée. Les données s'écartant de la bissectrice sont en majorité à l'extérieur des limites administratives de la région Bourgogne Franche-Comté. Ceci s'explique par le très faible nombre de stations Météo-France mobilisées dans ces espaces pour l'interpolation des données observées.

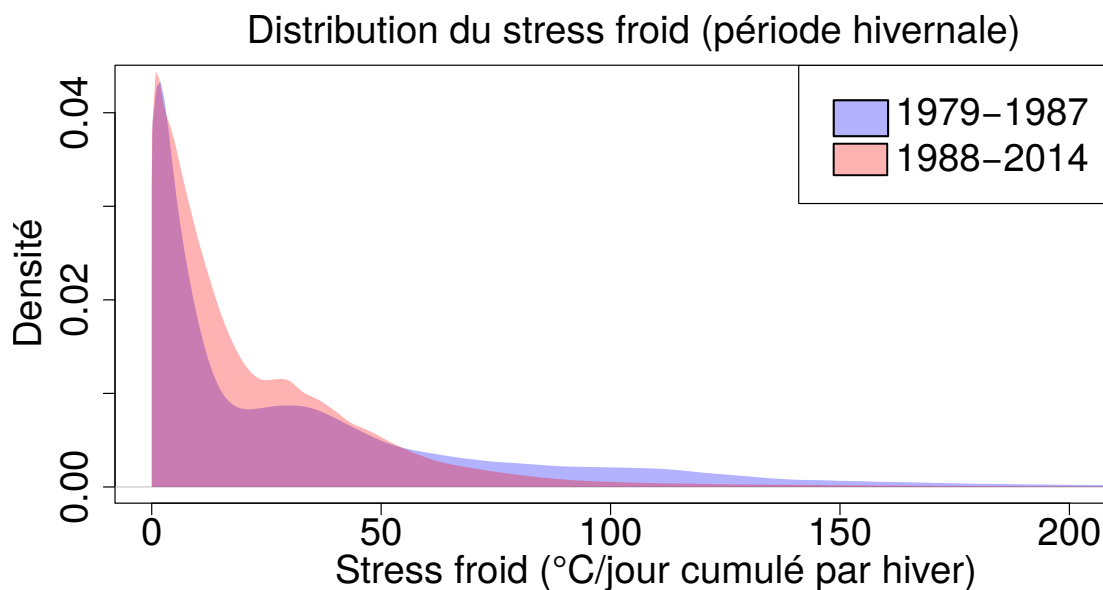


FIGURE 4 – Densité de probabilité du stress froid simulé pour les périodes avant et après la rupture climatique observée en 1987/1988 sur les Tmin et Tmax. Le modèle stress froid de LECOMTE et al. 2003 adapté pour le pois d’hiver est ici alimenté par les températures simulées. Les configurations variétales et culturelles sont similaires à celles utilisées par CASTEL et al. 2017b pour la résistance seuil de -13°C .

Les distributions du stress froid simulé pour les périodes avant et après la rupture de 1987/1988 sont présentées à la figure 4. Ces distributions sont bornées en 0, fortement asymétriques avec des queues plus ou moins épaisses. Avec le réchauffement la queue de distribution est réduite indiquant de plus faibles probabilités d’avoir du stress froid cumulé supérieur à $50^{\circ}\text{C}/\text{jour}$. L’évolution est opposée entre $> 0^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ et $50^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ de stress froid cumulé. On observe pour cette gamme une augmentation de la probabilité d’avoir un stress froid et la présence de deux modes : un pour des stress de quelques degrés et l’autre centré autour de $\sim 25^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ cumulés. Ces résultats sont très proches de ceux obtenus par CASTEL et al. 2017b (cf. la figure 6) à partir de données climatiques observées sur la même période. Ils confirment la capacité à reproduire correctement la variabilité journalière des températures et valident la démarche de régionalisation utilisée

en contexte de réchauffement. Il ressort toutefois que l'augmentation de la probabilité du stress froid entre $> 0^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ et $50^{\circ}\text{C}/\text{jour}$ est sous-estimée comparativement à celle obtenue à partir des données climatiques observées. Cette sous-estimation est principalement due au biais froid persistant sur les Tmax corrigées. Ce biais induit des températures moyennes plus fraîches conduisant à une meilleure acclimatation et à moins de stress froid.

Notons également la forte probabilité de ne pas avoir de stress froid (i.e. $= 0^{\circ}\text{C}/\text{jour}$). Pour les variétés de pois d'hiver avec de plus fortes résistances seuils (e.g. -18°C ou -23°C) les distributions montrent une inflation de 0 (i.e. pas d'évènement stress froid). Ces distributions signent un processus composé d'évènements discrets (stress ou pas de stress) et continus positifs où le stress cumulé peut prendre n'importe quelle valeur positive strictement supérieure à $0^{\circ}\text{C}/\text{jour}$. Ces processus peuvent être modélisés par une distribution de Tweedie (DUNN 2004) permettant d'ajuster simultanément l'occurrence et l'intensité de ce type d'évènement. Nous avons montré que ce modèle permettait d'ajuster correctement les distributions du stress froid et d'inférer le nombre et l'intensité moyenne des évènements gélifs (CASTEL et al. 2017a, 2014). Nous avons ainsi pu observer une augmentation de la moyenne du nombre des évènements parallèlement à une diminution de leur intensité moyenne. Toutefois, malgré sa flexibilité, la distribution de Tweedie ne parvient pas à ajuster les distributions du stress froid simulé pour les climats frais du Jura (CASTEL et al. 2017a).

4 Conclusions et perspectives

Ces travaux entamés avec le master 2 recherche de Bertrand Ratel, repris et consolidé avec le CDD d'Etienne Brulebois, confirment que la régionalisation dynamique permet de mimer correctement les principaux traits du climat à l'échelle régionale et au pas de temps journalier. Les modalités de la variabilité des températures avec le réchauffement sont retrouvées aux biais près. Même si la post-correction des températures ne montre pas en première approche un apport spectaculaire elle permet une réduction utile des biais et des erreurs. L'apport des modifications introduites dans ces simulations a un gain certain comparativement aux simulations réalisées dans le cadre du projet HYCCARE. Ce gain est spectaculaire pour les précipitations. D'autre part l'évapotranspiration potentielle (ETP) dérivée des variables de surface (rayonnement, vent, température, humidité, pression de surface) simulées par le modèle climatique est très proche de l'ETP Penman-Monteith calculée par Météo-France (résultats non présentés dans cette note). L'ensemble de ces éléments nous conforte quant à la robustesse de la régionalisation climatique réalisée et dans l'utilité de ces simulations pour projeter les impacts du réchauffement climatique sur par exemple l'évolution du risque gélif du pois d'hiver.

Le traitement des projections fait également partie du travail réalisé par Etienne Brulebois. Le post-traitement est terminé et l'analyse de la variabilité climatique selon les deux trajectoires de réchauffement (RCP 4.5 et RCP 8.5) retenues pour le projet est en cours. Avec la projection du risque gélif, l'analyse des modalités du réchauffement

climatique pour la période 1980-2100 fera dans les mois à venir l'objet d'un complément à cette note. Enfin, les livrables (température, précipitation, ETP) sont pour le jeu de simulation de contrôle d'ores et déjà disponible pour l'ensemble de nos partenaires de la tâche 1.2 et des autres tâches de PROSYS.

Remerciements

Nous remercions Annick Auffray et Denis Thévenin de Météo-France pour la mise à disposition des données d'observations stationnelles et plus récemment des données d'analyse SAFRAN. L'ensemble des simulations climatiques et des post-traitements ont été réalisés avec les moyens du centre de calcul (CCUB) de l'université de Bourgogne Franche-Comté.

Références

- ALAPATY, K., J. A. HERWEHE, T. L. OTTE, C. G. NOLTE, O. R. BULLOCK, M. S. MALLARD, J. S. KAIN et J. DUDHIA (2012). "Introducing subgrid-scale cloud feedbacks to radiation for regional meteorological and climate modeling". In : *Geophysical Research Letters* 39.24. L24809, n/a–n/a. ISSN : 1944-8007. DOI : 10.1029/2012GL054031. URL : <http://dx.doi.org/10.1029/2012GL054031>.
- BOULARD, D., T. CASTEL, P. CAMBERLIN, A.-S. SERGENT, N. BRÉDA, V. BADEAU, A. ROSSI et B. POHL (2016). "Capability of a regional climate model to simulate climate variables requested for water balance computation : a case study over northeastern France". In : *Climate Dynamics* 46.9, p. 2689–2716. ISSN : 1432-0894. DOI : 10.1007/s00382-015-2724-9. URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-015-2724-9>.
- BRULEBOIS, E. (2016). "Impacts du changement climatique sur la disponibilité de la ressource en eau en Bourgogne : aspects quantitatifs et qualitatifs". Thèse de doctorat. Dijon – France : Université de Bourgogne. 323 p.
- BRULEBOIS, E., T. CASTEL, Y. RICHARD, C. CHATEAU-SMITH et P. AMIOTTE-SUCHET (2015). "Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88". In : *Journal of Hydrology* 531, p. 892–901. ISSN : 0022-1694. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.026>. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415007945>.
- BRUYÈRE, C. L., J. M. DONE, G. J. HOLLAND et S. FREDRICK (2014). "Bias corrections of global models for regional climate simulations of high-impact weather". In : *Climate Dynamics* 43.7, p. 1847–1856. ISSN : 1432-0894. DOI : 10.1007/s00382-013-2011-6. URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-013-2011-6>.
- CASTEL, T., C. LECOMTE, Y. RICHARD et A. LARMURE (2017a). *Modelling the regional evolution of frost damage on a winter crop with warming in a temperate climate*. Conference. Sitges Spain : 2nd Agriculture et Climate Change Conference.
- CASTEL, T., C. LECOMTE, Y. RICHARD, I. LEJEUNE-HENAUT et A. LARMURE (2014). "Does global warming reduce the freezing injury risk to temperate climate crops?" In : *XXVIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie*. AIC. Dijon – France, p. 271–277.

- CASTEL, T., C. LECOMTE, Y. RICHARD, I. LEJEUNE-HÉNAUT et A. LARMURE (2017b). “Frost stress evolution and winter pea ideotype in the context of climate warming at a regional scale”. In : *OCLE* 24.1, p. D106. DOI : 10.1051/ocle/2017002. URL : <https://doi.org/10.1051/ocle/2017002>.
- DEE, D. P. et al. (2011). “The ERA-Interim reanalysis : configuration and performance of the data assimilation system”. In : *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137.656, p. 553–597. ISSN : 1477-870X. DOI : 10.1002/qj.828. URL : <http://dx.doi.org/10.1002/qj.828>.
- DUNN, Peter K. (2004). “Occurrence and quantity of precipitation can be modelled simultaneously”. In : *International Journal of Climatology* 24.10, p. 1231–1239. ISSN : 1097-0088. DOI : 10.1002/joc.1063. URL : <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1063>.
- GUDMUNDSSON, L., J. B. BREMNES, J. E. HAUGEN et T. ENGEN-SKAUGEN (2012). “Technical Note : Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods”. In : *Hydrology and Earth System Sciences* 16.9, p. 3383–3390. DOI : 10.5194/hess-16-3383-2012. URL : <https://www.hydrology-earth-syst-sci.net/16/3383/2012/>.
- HERWEHE, J. A., K. ALAPATY, T. L. SPERO et C. G. NOLTE (2014). “Increasing the credibility of regional climate simulations by introducing subgrid-scale cloud-radiation interactions”. In : *Journal of Geophysical Research : Atmospheres* 119.9. 2014JD021504, p. 5317–5330. ISSN : 2169-8996. DOI : 10.1002/2014JD021504. URL : <http://dx.doi.org/10.1002/2014JD021504>.
- LECOMTE, C., A. GIRAUD et V. AUBERT (2003). “Testing a predicting model for frost resistance of winter wheat under natural conditions”. In : *Agronomie-Sciences des Productions Vegetales et de l’Environnement* 23.1, p. 51–66.
- RATEL, B. (2016). “Régionalisation du risque gélif du pois d’hiver en Bourgogne Franche-Comté par modélisation numérique : validation du modèle WRF”. Master 2 recherche. Université de Bourgogne. 41 p.
- RICHARD, Y., T. CASTEL, B. BOIS, C. CUCCIA, R. MARTEAU, A. ROSSI, D. THÉVENIN et H. TOUSSAINT (2014). “Évolution des températures observées en Bourgogne (1961–2011)”. In : *Bourgogne Nature* 19, p. 110–117.
- SKAMAROCK, W. C., J. B. KLEMP, J. DUDHIA, D. O. GILL, D. M. BARKER, M. G. DUDA, X.-Y. HUANG, W. WANG et Powers J. G. (2008). *A description of the Advanced Research WRF. Version 3*. Rapp. tech. 125p. Boulder - Colorado , USA : National Center for Atmospheric Research.
- STÉFANON, M., N. K. MARTIN-STPAUL, P. LEADLEY, S. BASTIN, A. DELL’AQUILA, P. DROBINSKI et C. GALLARDO (2015). “Testing climate models using an impact model : what are the advantages ?” In : *Climatic Change* 131.4, p. 649–661. ISSN : 1573-1480. DOI : 10.1007/s10584-015-1412-4. URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1412-4>.
- TAYLOR, K. E., R. J. STOUFFER et G. A. MEEHL (2011). “An Overview of CMIP5 and the Experiment Design”. In : *Bulletin of the American Meteorological Society* 93.4, p. 485–498. ISSN : 0003-0007. DOI : 10.1175/BAMS-D-11-00094.1. URL : <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

TISSOT, A.-C., P. AMIOTTE-SUCHET, F. BERTRAND, J.-M. BRAYER, E. BRULEBOIS, T. CASTEL, E. MARTIN, S. PETIT, V. PONNOU-DELAFFON, Y. RICHARD, A. ROSSI, M. UBERTOSI et M.-H. VERGOTTE (2016). *HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne (HYCCARE)*. Rapport final Programme GICC. Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, p. 115.