

UTILISATION DES SCENARIOS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS UN MODELE DE CULTURE

Nadine Brisson⁽¹⁾, Michel Déqué⁽²⁾, Raul Diaz⁽³⁾, Agnès Ducharme⁽⁴⁾,
Stéphanie Juin⁽¹⁾, Sophie Lebonvallet⁽⁵⁾

⁽¹⁾ INRA, Unité CSE, Avignon, ⁽²⁾ CNRM Toulouse, ⁽³⁾ INTA, Castelar Argentine,
⁽⁴⁾ UMR Sysiphe Jussieu-Paris, ⁽⁵⁾ IRD Bolivie

L'augmentation de la température depuis le fin du XIXème siècle est un fait avéré (estimation de 0.3 à 0.6°C en moyenne globale : rapport GIEC, 2001) et la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important de ce siècle. L'origine anthropique de ce réchauffement est plus que probable et l'inertie du système climatique à l'échelle globale aboutit à des estimations minimales de l'ordre de +1.5°C pour la fin du XXIème siècle. Les impacts de ce réchauffement apparaissent déjà dans divers domaines de l'agriculture (Seguin et Stengel, 2002). Compte tenu de l'aptitude des modèles de culture à reproduire l'impact possible de cette évolution du climat, ils apparaissent comme des outils privilégiés pour mener des études prospectives sur l'impact du changement climatique en agriculture.

Ces études utilisent des données climatiques issues des modèles climatiques. En effet les modélisateurs du climat réalisent des simulations du climat futur à partir des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols proposés par les experts internationaux (scénarios SRES décrits dans les rapports du GIEC¹). Ces simulations sont issues de plusieurs modèles couplés, à résolutions variables (atmosphérique, océanique, banquise) qui permettent de faire les forçages radiatifs et de température de l'océan requis. Les deux laboratoires français disposant de ces outils sont le LMD (CNRS) et le CNRM (Météo - France). En ce qui concerne le CNRM, des progrès récents en terme de résolution spatiale (50 x 50 km² alors que le modèle LMD est à 250 x 250 km²) ont été réalisés grâce à l'utilisation d'un modèle régionalisé analogue au modèle utilisé pour la prévision. Jusqu'à présent, la validation de ces modèles à partir de séries climatiques réelles (en les faisant tourner avec des forçages « actuels ») présentait des biais importants. Cela conduisait les utilisateurs à appliquer la méthode des « anomalies » en extrayant des comparaisons simulations futures/actuelles les écarts sur les variables climatiques mensuelles (ou les rapports selon les variables) et en les appliquent à des séries réelles. Cette méthode sera illustrée dans une première partie. La meilleure résolution spatiale du modèle du CNRM (Arpège Climat) nous autorise à utiliser directement les sorties du modèle. Dans ce cas (seconde partie de ce poster), nous verrons comment juger de la fiabilité de ces scénarios par rapport aux études envisagées. Quelle que soit la méthode envisagée on dispose toujours de deux séries simulées : une série dite « actuelle » (on devrait plutôt la qualifier de « passée ») correspondant à un forçage radiatif de la période précédent le changement climatique (généralement 1960-1989) et une série « future » correspondant (cas des dernières simulations du modèle A-C, les plus utilisées dans la communauté) à un forçage radiatif équivalent à 660 ppm [CO₂] (scénario SRES B2) ou 800 ppm [CO₂] (scénario A2).

Les méthodes des anomalies

Elles nécessitent de disposer de séries de données réellement observées qui servent de base à l'application des anomalies. Les données simulées sont toujours utilisées en relatif.

¹ GIEC : groupe d'experts internationaux sur le changement climatique qui produit un rapport tous les 4 ans, le dernier datant de 2001.

- ### Méthode des anomalies appliquées directement

Pour chaque variable climatique d'intérêt (températures mini et maxi, rayonnement, pluviométrie, humidité et vent) on extrait des données simulées (actuelles et futures) des moyennes mensuelles, puis on en fait le rapport futur/actuel. Ce sont ces rapports mensuels qui sont ensuite appliqués à aux données réelles. Cette méthode a été appliquée dans le cadre

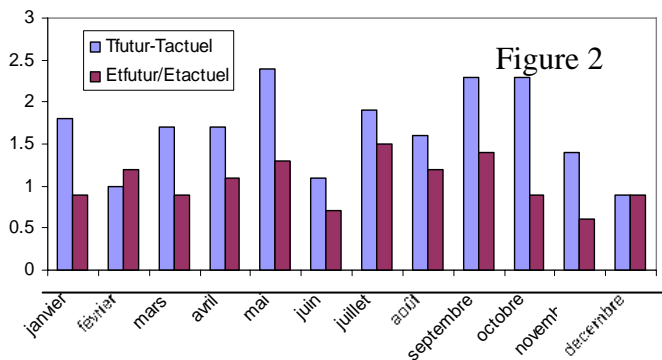
Simulations « CC »	B2	A2
Δ Précipitation	+2%	+12%
Δ Température	+2.5°C	+3.4°C
Δ Hum. Air	+12%	+13%
Δ Rayonnement IR	+4%	+5%

du projet GICC-Seine pour étudier l'impact du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la Seine (Ducharme et al., 2004). Les anomalies moyennes pour l'ensemble du bassin sont

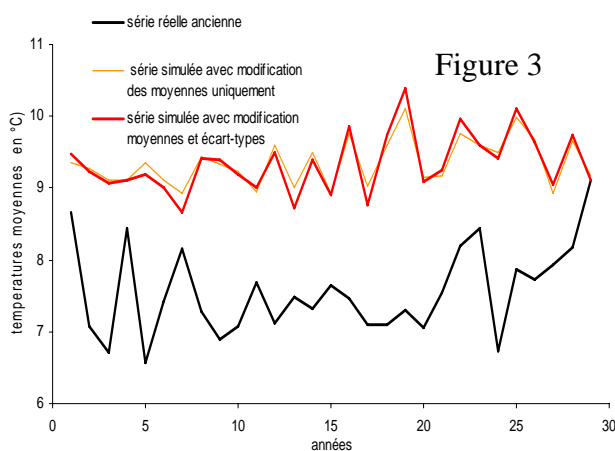
données dans le tableau ci-dessus. Cette méthode présente l'inconvénient de d'altérer la cohérence physique entre les variables climatiques. Pour la pluviométrie, elle ne peut jouer que sur la quantité et non sur le nombre de jours de pluie. Elle conserve également la variabilité intra-mensuelle d'origine. En revanche elle permet de « sécuriser » l'étude car les modèles climatiques, ainsi que leurs paramétrages des processus physiques, sont sujets à de nombreuses incertitudes, dont l'évaluation est problématique (Planton, 1999), et qui, de plus, augmentent à l'échelle régionale (e.g. Kittel et al., 1998).

- ### Méthode des anomalies appliquées dans un générateur climatique

Avec cette méthode, les anomalies ne sont pas appliquées directement aux grandeurs physiques mais à leurs distributions statistiques. Dans ce cas, ce sont à la fois les valeurs moyennes et leurs variabilités qui peuvent être modifiées. La figure 2 montre les anomalies des températures moyennes (en différence) et des écart-types (en rapport) extraites des sorties



du modèle du LMD sur un pixel correspondant au sud-est de la France (Juin et al., 2004). On observe que la variabilité future, prédite par le modèle est plutôt plus faible en hiver et plus élevée en été. Ces anomalies ont été introduites dans le générateur climatique LARS-WG (Semenov et al., 1998) qui est un modèle stochastique ayant pour but de calculer des séries journalières de température, précipitations et rayonnement à partir de séries observées. Il est capable de prendre en compte des modifications sur les moyennes et les écart-types des variables climatiques observées. La fiabilité des résultats (pour une utilisation sans modification des moyennes et écart-types) est estimée par des tests statistiques (Fischer et Student). La figure 3 représente les séries ainsi simulées en comparaison avec la série réelle, même s'il n'est pas possible de faire une



comparaison année par année en lien avec le caractère stochastique de la méthode : LARS-WG simule une série d'années climatiques sans logique de succession temporelle.

Les méthodes directes

Il s'agit d'utiliser directement les sorties des modèles climatiques sans passer par une série observée. Elle permet de garder la cohérence physique entre les variables climatiques mais elle est associée à la résolution spatiale du modèle climatique (au mieux $50 \times 50 \text{ km}^2$) de type synoptique. Dans ce cas il est nécessaire, par une étude préalable, de s'assurer de la fiabilité des scénarios.

• Fiabilité climatique

Une méthode consiste, variable par variable, à réaliser des tests statistiques d'égalité des moyennes à l'échelle mensuelle ou annuelle entre observation et simulation. Ces tests sont souvent décevants pour la pluviométrie comme dans l'exemple de la Figure 4, où la différence entre les deux séries actuelle et future n'est pas significative alors qu'elle l'est entre les deux séries actuelles.

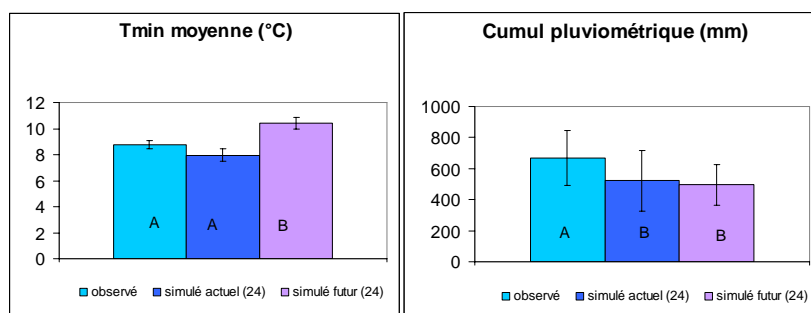
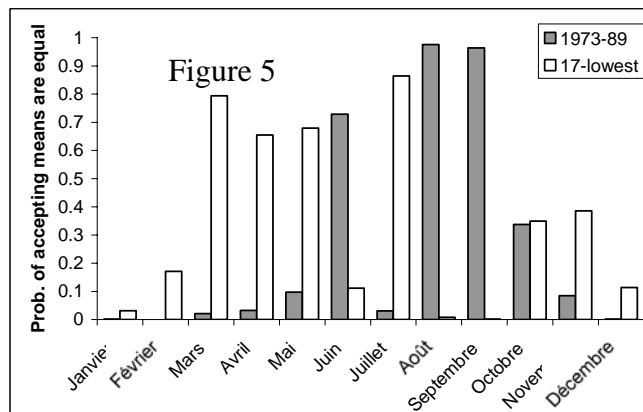


Figure 4 : Comparaisons statistiques des séries observées et simulées (actuelle et future) pour la région d'Avignon. Les séries portant la même lettre sont statistiquement semblables au sens de Student.

Alors que dans le Sud, le modèle a tendance à sous-estimer la pluviométrie, dans le Nord c'est l'inverse. Les auteurs du modèle climatique (Gibelin et Déqué, 2001) montre que ce biais dans l'estimation des précipitations peut s'expliquer par la faible résolution de la grille, qui a du mal à prendre en compte correctement les phénomènes convectifs.



Les comparaisons deviennent très délicates lorsque les séries ne sont pas de même longueur. A Mirecourt en Lorraine (Figure 5), Diaz (2004) montre le résultat de deux sélections possibles pour comparer une série réelle de 1973 à 1989 à la série simulée (1960-1989) : en faisant une correspondance par année ou en choisissant les 17 années où la pluviométrie est la plus faible. Cette dernière méthode améliore le test pour la période printanière. Une autre méthode,

proposée par Obled (2004), consiste à rapprocher les années simulées et observées sur la base d'analogie en terme de précipitations annuelles.

En résumé, si les données de température sont fiables, les données de pluviométrie ne le sont pas et il est nécessaire d'effectuer un prétraitement qui peut consister à i) soit corriger le biais sur la pluviométrie au pas de temps mensuel (Lebonvallet, 2002) ou ii) à éliminer certaines années sur la base de rapprochement analogique en terme de pluviométrie annuelle.

- **Fiabilité agroclimatique**

En considérant que nous souhaitons utiliser les données climatiques par l'intermédiaire d'un modèle de culture, nous pouvons également tester la fiabilité des séries climatiques à travers ce filtre agronomique. En reprenant l'exemple de Mirecourt et en comparant « brutalement » les résultats moyens d'une simulation standard de blé pour la série de 17 ans (73-89) et la série simulée (60-89), nous sommes surpris de constater que les résultats ne sont pas si mauvais (tableaux ci-dessous). Evidemment ces chiffres moyens recouvrent des variabilités très différentes dans les deux cas mais on peut décider que seule les données moyennes ont un sens.

Sorties STICS	Mirecourt	
	Observation	simulation
Date de récolte	8 août	6 août
Rayonnement intercepté (MJ)	578	610
Rendement (t :ha)	5.5	5.9
Biomasse (t/ha)	16.2	17.2
Quantité d'azote dans la plante (kg/ha)	147	151
Teneur en protéine du grain (%)	10.4	10.0
Azote lessivé (kg ha-1)	50	61

Conclusion

L'utilisation des scénarios de changement climatique n'est pas triviale et il convient de prendre un certain nombre de précaution lors de leur utilisation. La méthode des anomalies est sans doute la plus « sécurisante » mais la recherche de méthodes alternatives permettant de conserver la logique physique des sorties des modèles de climat semble être la voie d'avenir.

Bibliographie

- Diaz, R., 2004. Global change and crop modelling projet. Rapport de stage interne INRA 32p.
- Ducharne et al., 2004 Influence du changement climatique sur le fonctionnement hydrologique et biogéochimique du bassin de la Seine. Rapport GICC Seine
- Gibelin, A.-L., Déqué, M. 2001. Un scenario a l'echelle de l'Europe pour le climat de la fin du XXIeme Siecle. Météo France, Centre National de Recherches Météorologiques. Note de Travail 79. 64 pp.
- GIEC, 2001. Climate Change 2001 : impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of the Working Group II to the third assessment report of IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- Juin S., Brisson N., Clastre P., Grand P., 2004. Impact of global warming on the growing cycles of three forage systems in upland areas of southeastern France. *Agronomie* accepté
- Kittel, T.G.F., Giorgi, F. & Meehl, G.A., 1998: Intercomparison of regional biases and doubled-CO2 sensitivity of coupled atmosphere-ocean general circulation model experiments. *Clim. Dyn.*, 14: 1-15.
- Lebonvallet, S., 2002. Simulation de l'azote chez le blé dur et impacts des changements climatiques. DEA Adaptation des plantes cultivées aux contraintes environnementales, pp29 + annexes
- Obled, C. 2004. An alternative method in hydrometeorological modelling: the analogue based approach. Lettre pigb-pmrc France N° 16 – Changement global:7-13.
- Planton, S (1999) Incertitudes sur la détermination des changements climatiques. Papier présenté à l'Ecole Thématique du CNRS “ *Risques et incertitudes: le cas du changement climatique* ”, Les Houches, 17-22 novembre 1999.
- Seguin et Stengel, 2002. Numéro spécial INRA-Mensuel
- Semenov M.A., Brooks R. J., Barrow E., Richardson C. W., Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates, *climate research* 10 (1998) 95-107.