

UMR1095 GDEC Clermont-Ferrand

En association avec :

UR0004 P3F,

UMR1114 EMMAH,

UMR1248 AGIR,

US1116 AgroClim

UMR0211 Agronomie de Grignon

Centre de Recherche de Clermont-Ferrand

Contact

Pierre Martre

pierre.martre@clermont.inra.fr

Jean-Louis Durand

jean-louis.durand@lusignan.inra.fr

Axe du document d'orientation

Atténuation de l'effet de serre et adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique

Axe du tripode :

Agriculture / Environnement

Domaine d'activités :

Végétaux / Mathématique - modélisation – informatique

Métaprogramme :

ACCAF

Mots-clés

Blé, Céréales, Changement climatique, CO₂, Maïs, Modèle de culture, Rendement, Riz, Température.

Projection de l'impact du changement climatique sur les rendements en céréales : l'INRA contribue à un exercice mondial d'inter-comparaison des performances des modèles de cultures

Résumé

Une série d'études internationales conduites dans le cadre de l'initiative internationale AgMIP à laquelle l'Inra a participé, a réalisé la plus importante comparaison des performances de modèles de culture à ce jour pour prédire l'impact du changement climatique sur les rendements en céréales (riz, maïs et blé). Les résultats mettent en évidence une augmentation de l'incertitude des projections de rendement lorsque la température dévie des conditions actuelles, associée à une forte interaction avec la concentration atmosphérique en gaz carbonique. La variabilité due aux différences entre modèles de culture est plus grande que celle due aux différences entre modèles climatiques.

Contexte et enjeux

Une augmentation de 60% de la production céréalière (blé, riz, maïs) serait nécessaire d'ici 2050 pour répondre à la demande d'une population mondiale grandissante et aux changements des modes alimentaires. Comprendre comment et par quels mécanismes les changements climatiques affecteront les rendements des cultures dans le futur est fondamental pour concevoir une agriculture capable de satisfaire les besoins alimentaires mondiaux. C'est pourquoi, les agronomes réalisent des simulations par des modèles de culture qui donnent une représentation du fonctionnement de la culture en interaction avec le climat, le sol et les pratiques agricoles.

Dans le cadre de l'initiative internationale AgMIP (www.agmip.org), des chercheurs de l'Inra ont participé au premier exercice mondial d'inter-comparaison de modèles de culture de céréales. La coordination de l'exercice sur le maïs en particulier a été assurée par l'INRA. Les modèles, parmi lesquels STICS et SiriusQuality développés à l'INRA, ont été comparés selon trois cas de figure après une calibration des paramètres variétaux à partir d'un nombre de situations variable pour chaque espèce: (1) en conditions de culture actuelles, (2) selon le scénario climatique A2 (émissions élevées) du GIEC pour la période 2040-2069, (3) en réponse à des facteurs climatiques (concentration atmosphérique en gaz carbonique [CO₂], eau et température), incluant ou non des changements de pratiques agricoles (date semis, fertilisation azotée, irrigation) représentant des stratégies d'adaptation au changement climatique. Enfin les chercheurs ont quantifié l'incertitude de l'impact du changement climatique liée aux modèles de culture d'une part, et aux modèles climatiques, d'autre part.

Résultats

Le premier test de performances des modèles a été pratiqué en utilisant des données expérimentales de quatre sites pilotes représentatifs des principales zones agro-climatiques de culture de chacune des espèces céréalières à l'échelle mondiale (Figure). Ce test a montré que même avec une connaissance partielle des conditions agroclimatiques locales, la moyenne des simulations de plusieurs modèles était proche des rendements observés.

Les chercheurs ont ensuite testé l'ensemble des modèles en simulant dans un premier temps l'impact du changement climatique sur la base de prédictions climatiques pour la période 2040-2069 (scénario A2) sur chacun des quatre sites étudiés par espèce. Enfin, les chercheurs ont fait varier de manière spécifique les facteurs principaux du changement climatique. La comparaison des résultats obtenus révèle une variabilité de la réponse des modèles qui augmente fortement dans les conditions de changement climatique, en particulier en réponse à la température.

Chez le maïs, il apparaît que la baisse tendancielle du rendement avec le réchauffement ne sera pas compensée par l'effet positif sur la photosynthèse de l'accroissement des concentrations atmosphériques en CO₂, mais des variétés appropriées pourraient répondre efficacement aux conditions projetées à l'horizon 2050. L'exercice montre aussi que l'incertitude de l'impact du changement climatique sur les rendements de blé est en grande partie due aux incertitudes liées aux modèles de culture ; cette incertitude est deux à quatre fois plus importante que celle liée à la variabilité entre modèles climatiques pour prédire le climat futur. Enfin, cette étude montre que, pour les trois espèces de céréales étudiées, l'utilisation d'ensembles de plusieurs modèles permet d'améliorer la précision des simulations et de quantifier l'incertitude des prédictions de rendement. Un ensemble d'environ 5 (riz) à 10 (blé, maïs) modèles semble nécessaire et suffisant pour réduire l'incertitude des rendements à un niveau comparable à l'incertitude d'essais agronomiques.

Perspectives

Pour réduire l'incertitude des projections de l'effet du changement climatique sur le rendement, il faudrait améliorer la modélisation des effets de la température et des interactions entre la température et la concentration atmosphérique en gaz carbonique. C'est l'objectif auquel travaillent actuellement les chercheurs à partir d'expérimentations spécifiques sur blé et riz. Une évaluation des aptitudes des modèles sur des jeux d'expérimentations multi-locales en Asie (riz) et mondiales (blé) est également initiée.

Des études similaires sont actuellement conduites pour la canne à sucre, le sorgho, le soja, et la pomme de terre.

Références bibliographiques

Asseng S, Ewert F, Rosenzweig C, Jones JW, Hatfield JL, Ruane AC, Boote KJ, Thorburn PJ, Rotter RP, Cammarano D, Brisson N, Basso B, Martre P, Aggarwal PK, Angulo C, Bertuzzi P, Biernath C, Challinor AJ, Doltra J, Gayler S, Goldberg R, Grant R, Heng L, Hooker J, Hunt LA, Ingwersen J, Izaurralde RC, Kersebaum KC, Muller C, Naresh Kumar S, Nendel C, O'Leary G, Olesen JE, Osborne TM, Palosuo T, Priesack E, Ripoche D, Semenov MA, Shcherbak I, Steduto P, Stockle C, Stratonovitch P, Streck T, Supit I, Tao F, Travasso M, Waha K, Wallach D, White JW, Williams JR, Wolf J (2013) Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. **Nature Climate Change** 3: 827-832.

Bassu S, Brisson N, Durand J-L, Boote K, Lizaso J, Jones JW, Rosenzweig C, Ruane AC, Adam M, Baron C, Basso B, Biernath C, Boogaard H, Conijn S,

Corbeels M, Deryng D, De Sanctis G, Gayler S, Grassini P, Hatfield J, Hoek S, Izaurrealde C, Jongschaap R, Kemanian A, Kersebaum KC, Kumar N, Makowski D, Müller C, Nendel C, Priesack E, Pravia MV, Soo-Hyung K, Sau F, Shcherbak I, Tao F, Teixeira E, Timlin D, Waha K (2014) How do various maize crop models do vary in their responses to climate change factors? **Global Change Biology**, in press.

Challinor A, Martre P, Asseng S, Thornton P, Ewert F (2014) Making the most of climate impacts ensembles. **Nature Climate Change**, in press.

Li T, Hasegawa T, Yin, X, Zhu Y, Adam M, Boote K, Bregaglio S, Buis S, Confalonieri R, Fumoto T, Gaydon D, Marcaida III M, Nakagawa H, Oriol P, Ruane A, Ruget F, Singh B, Singh U, Tang L, Tao F, Wilkens P, Yoshida H, Zhang Z, Bouman B. Crop model ensembles reduce uncertainty in predicting rice yield under climate change, soumis à Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences.

Rosenzweig C, Jones JW, Hatfield JL, Ruane AC, Boote KJ, Thorburn P, Antle JM, Nelson GC, Porter C, Janssen S, Asseng S, Basso B, Ewert F, Wallach D, Baigorria G, Winter JM (2013) The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Protocols and pilot studies. **Agricultural and Forest Meteorology** 170: 166-182.

Sites d'étude des modèles de simulation de culture de blé (27 modèles), maïs (18 modèles) et riz (14 modèles) dans le cadre de l'initiative internationale AgMIP

