

Évaluation des rendements atteints et potentiels en grandes cultures, en France : Contribution au Yield Gap Atlas

16 Mars – 16 Sept. 2015

S. Galvis Zapata

H. Marrou

Contexte

L'évolution actuelle des rendements des principales cultures alimentaires dans le monde ne permet pas de satisfaire les besoins d'une population croissante et soulève, au plan mondial un problème crucial de sécurité alimentaire. Alors que la production agricole doit aussi satisfaire des objectifs de préservation des ressources naturelles, deux voies apparaissent possibles pour produire plus par cycle de culture : 1) augmenter les rendements potentiels des principales cultures alimentaires dans leur zone de production (levier génétique principalement), 2) faire en sorte que les rendements des agriculteurs se rapprochent de ces potentiels (levier agronomique et technique). Un préalable à toute initiative locale ou globale pour augmenter la production est donc de connaître, pour chaque culture et chaque situation de production le potentiel de la culture et l'écart à ce potentiel (« Yield Gap », en anglais). Dans cette optique, l'Université de Wageningen (WUR, NL, département Plant Production Systems – PPS,) et l'Université de Lincoln, Nebraska (USA) ont lancé en 2009 le programme « Global Yield Gap Atlas » (GYGA). Ce projet de longue durée a pour objet de cartographier, dans le monde entier, les Yield Gaps des principales cultures alimentaires, en s'appuyant sur une méthodologie de modélisation et d'intégration spatiale rigoureusement éprouvée. Ce travail de stage est une première contribution au programme GYGA et vise à « ajouter » la France à l'atlas.

Introduction

En France, les principales grandes cultures alimentaires sont le blé dur et le blé tendre, le maïs, l'orge, le tournesol, et le colza. Pour des raisons de disponibilité de données et de temps, on a choisi de se concentrer sur les deux blés, le maïs, et, dans une moindre mesure le tournesol, pour ce premier travail de cartographie du Yield Gap en France. La notion de rendement potentiel a été définie dans les années 90 (Ittersum et al., 1997) comme le rendement atteint par une culture à un endroit donné, en l'absence de tout facteur limitant biotique ou abiotique. Ce potentiel ne dépend que des caractéristiques génétiques de la plante, et du climat entre l'implantation et la récolte (rayonnement, température moyenne). Ce potentiel est rarement atteint en conditions réelles, et l'utilisation de la modélisation – bien que parfois

délicate – est indispensable pour l'estimer. Par ailleurs, la représentation spatialisée des potentiels et des « yield gaps » soulève un problème méthodologique. Deux possibilités existent pour proposer une carte à partir d'un nombre réduit de sites de mesures : l'utilisation de climat généré par interpolation sur une grille (e.g. Licker et al., 2010) ou une intégration bottom-up à partir d'estimations sur un petit nombre de sites (Ittersum et al., 2013). C'est cette dernière option qui est utilisée dans le programme GYGA. Les objectifs de ce travail de stage étaient donc de 1) rassembler des données observées sur un nombre suffisant de sites (rendement réel, climat, pratiques culturales), 2) paramétrer un modèle de culture pour l'estimation des potentiels, 3) Réaliser les travaux d'intégration pour représenter



spatialement les rendements réels et potentiels, afin de **calculer et cartographier les écarts au potentiel des principales grandes cultures en France**.

Matériel et Méthodes

Principe de la méthodologie GYGA :

La méthodologie GYGA repose sur une description de la zone de production de la culture en plusieurs couches d'information discrétisées et superposées :

- **Information climatique :** la zone de production est découpée en zones climatiques (CZ) homogènes (voir encadré ci-contre). Ce découpage est obtenu via une routine appliquée à une base de stations météo européennes. Il a été fourni comme donnée d'entrée pour le travail de stage. Chaque CZ est caractérisée par un petit nombre de stations de météo de référence (RWS)

- **Information pédologique :** à partir de la carte des sols d'Europe, un ou plusieurs types de sols ont été attribués à chaque site d'évaluation (i.e. chaque « buffer zone » (BF), voir encadré ci-contre). Ce référencement pédologique a aussi été effectué en amont du stage.

- **Information agronomique :** les différents systèmes de cultures sont caractérisés par deux informations : le type de maturité du/des principaux cultivars, et leur date de semis moyenne. Cette information a été collectée, organisée et cartographiée au cours du stage à partir de résultats d'enquêtes Arvalis et Terres Innovia ou d'après des dires d'expert.

A partir de ces informations, le rendement potentiel de la culture peut être simulé à l'aide du modèle Wofost pour chaque combinaison : Année x Station x Type de sol x Système de culture (Boogaard et al., 2014).

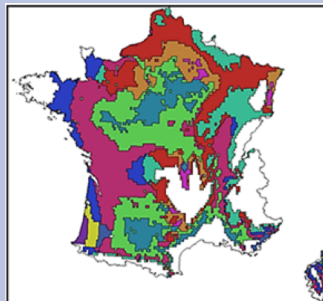
Paramétrisation de Wofost.

Le modèle Wofost a été paramétré et calibré pour chaque type de maturité de chaque culture (soit 4 types de maïs, 4 types de blé dur et 3 types de blé tendre). La calibration n'a pas pu être réalisée pour le tournesol dans le temps imparti. La calibration a été réalisée en jouant sur 10 paramètres pour lesquels le stagiaire a réalisé en premier lieu une analyse de sensibilité. Les simulations ont été opposées à des données de LAI, biomasse, et rendement collectées en dynamique (LAI et biomasse) sur des essais Arvalis sur différentes stations expérimentales réparties sur toute la zone de production de chaque culture (au moins deux jeux d'essais par

type de précocité). La combinaison de paramètres offrant le meilleur compromis RMSE, biais, efficacité pour le modèle a été retenue dans chaque cas.

Les unités spatiales utilisées dans la méthodologie GYGA

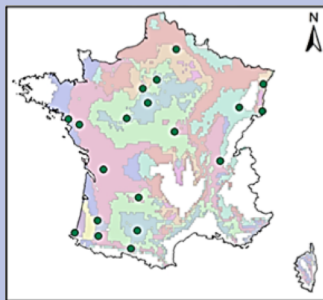
Notion de Climate Zone (CZ)



Les CZ sont des ensembles climatiques homogènes définis à partir de trois indices climatiques : aridité, saisonnalité, somme de degrés jours. C'est aussi une échelle intermédiaire de représentation du Yield Gap.

Fig A : carte des CZ du maïs grain en France

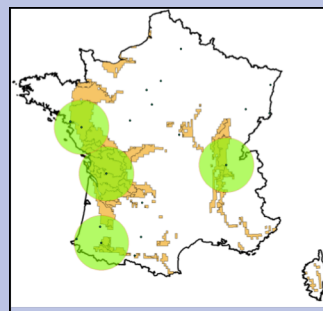
Notion de Reference Weather Station (RWS)



Les RWS sont les sites de stations météo réelles utilisées pour les simulations. Chaque RWS doit disposer d'au moins 14 ans de données réelles et être distante d'au moins 180 km de ses voisins.

Fig B : carte des RWS du maïs grain en France

Notion de Buffer Zone (BZ)



Les BZ représentent une zone de 100 km de rayon autour des RWS. Chaque BZ est caractérisée par un ou plusieurs types de sol et de systèmes de culture. L'ensemble des BZ d'une CZ doit couvrir au moins 50% de sa surface.

Fig C : carte des BZ de la CZ n°1 du maïs grain en France

Estimation des rendements réels.

Les données des enquêtes Agreste ou Arvalis au niveau départemental ou cantonal ont été recueillies sur au moins 5 ans pour chaque culture. Les rendements annuels et moyens ont ensuite été recalculés par BZ, CZ, et au niveau du pays, pour être cartographiés.



Résultats

Cartographie des types variétaux :

Pour chaque espèce une carte des types variétaux (répartition par CZ et par BZ) a été obtenue (Fig. 2). L'ensemble des couches d'information requises a ainsi été produit.

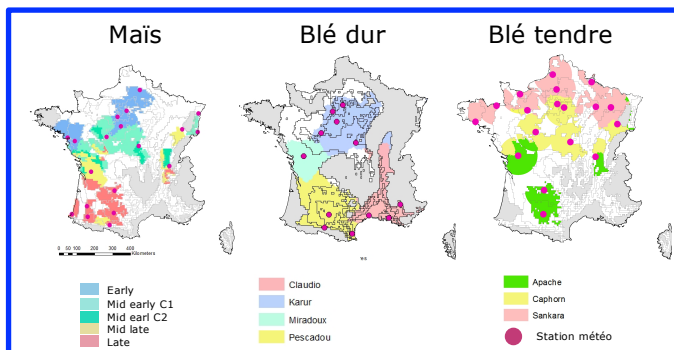


Fig. 1 : répartition des types de précocité ou idéotype.

Cartographie des rendements réels.

Les rendements atteints par les producteurs de maïs en conditions irriguées et en conditions non irriguées sont représentés sur la figure 2. Pour les deux blés, l'irrigation étant une pratique peu répandue en France, on n'a pas été en mesure de séparer les deux modes de conduite dans l'estimation des rendements atteints.

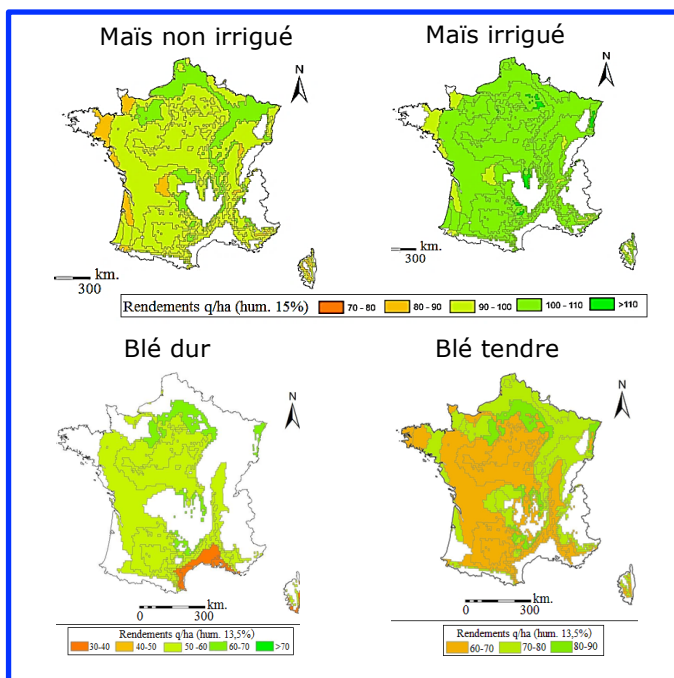


Fig. 2: carte rendements atteints par culture et par CZ

Rendements potentiels et Yield Gaps

Seuls les résultats pour le maïs sont présentées ici. Les simulations pour le blé sont encore en

cours d'exécution. Contrairement aux attentes, la distribution des rendements potentiels simulés pour le maïs ne montre pas de gradient selon l'axe Nord Sud, même si les plus forts potentiels se trouvent plutôt au Nord. Effectivement, on a remarqué que les variétés utilisées dans les différentes régions varient très peu en terme de phénologie entre régions : ainsi, fort rayonnement et cycle accéléré sous de fortes températures se compensent au Sud dans le calcul des potentiels de rendement.

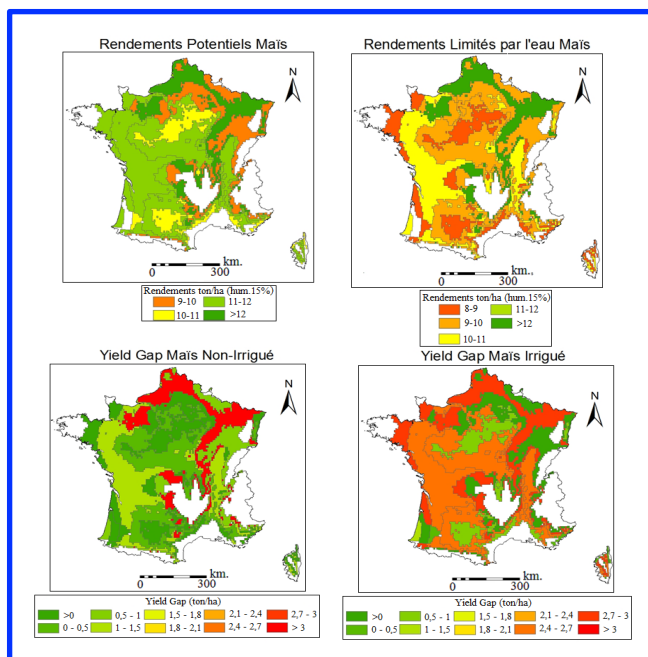


Fig. 3: rendements potentiels et des yield gaps calculés pour le maïs en conditions sèches et irriguées.

Les rendements permis par l'eau (eau comme seul facteur limitant) montrent au contraire une claire distribution selon l'axe Nord - Sud, les rendements au Sud étant fortement réduits par le stress hydrique. En général, les Yield Gaps simulés pour le maïs en France sont faibles : une fois intégré à l'Atlas mondial, tout le pays serait considéré dans une gamme d'écart au potentiel de 0 à 3 t, et sont ainsi similaires à ceux de l'Allemagne. Le Yield Gap en conditions irriguées est fort uniquement dans le Nord de la France, là où le potentiel est très élevé. On peut soupçonner un artefact lié au processus d'intégration ayant conduit à une surestimation du potentiel dans le Nord. Cet écart pourrait aussi être dû des stress de froid en début de cycle ou des stress hydriques en été. En conditions non irriguées, les écarts au potentiel sont plus forts. Ces écarts peuvent être expliqués par un accès limité à l'irrigation ou par des facteurs limitants autres que le stress hydrique, tel que des stress de chaleur, des stress de froid (Nord Est) ou un déficit de fertilisation.



Discussion - Conclusion

Critique des estimations du potentiel.

Au vu des rendements potentiels estimés en Allemagne, dans des conditions similaires à celles du Nord-Est de la France, et des rendements obtenus sur des essais expérimentaux en conditions optimales, en France, il semble que le modèle sous estime légèrement les potentiels. Par ailleurs, les forts potentiels au Nord et l'absence de gradient Nord Sud ne sont pas en accord avec les observations des experts. Le paramétrage des variétés de maïs est en cours de révision.

Critique de la méthodologie Yield Gap

L'utilisation du découpage en CZ, basé sur des indices climatiques calculés sur l'année entière conduit à agglomérer dans un même ensemble des localités dont le climat est (1) globalement le même sur l'année entière, (2) mais très différents au cours du cycle du maïs. Si le choix de ce découpage peut être jugé adapté pour cartographier un atlas mondial avec une certaine régularité, il perd toute sa pertinence si l'on cherche, dans une approche appliquée et/ou de conseil, à expliquer les yield gaps observés par les conditions du milieu et les pratiques des agriculteurs.

Bilan et perspectives

Ce travail de 6 mois a permis une belle avancée qui devrait se traduire par l'ajout des cultures maïs et blé en France dans l'atlas GYGA. Le tournesol et l'orge qui n'ont pas ou peu été traités devraient suivre prochainement. Ce premier effort a également permis de soulever des questions autour des méthodes de discrétisation de l'environnement biophysique et de leur pertinence à des échelles différentes et vis à vis d'objectifs spécifiques. Un nouveau stage, financé par le GIS GCHP_{2E} devrait permettre d'aller plus loin sur ce volet dès 2016.

Les auteurs :



Hélène Marrou est maître de conférences à Montpellier Supagro où elle enseigne l'agronomie, la modélisation et l'écophysiologie. Elle conduit des recherches à l'UMR SYSTEM sur le développement de systèmes de cultures efficaces pour l'eau et l'azote en Méditerranée.



Sebastian Galvis Zapata est un jeune ingénieur agronome Colombien. Ce travail de stage lui a permis d'obtenir le titre d'ingénieur de l'Université Nationale de Colombie, ainsi que la validation de son année de Master 1 « Gestion des Milieux Naturels » à AgroParistech Nancy.

Remerciements

Nous remercions vivement Arvalis Institut du Végétal et J. Lorgeou pour son implication déterminante et pour la provision de données, ainsi que les autres membres du comité de pilotage, P. Debaeke (INRA- UMR AGIR) et E. Mestries (Terres Innovia).

Soutien financier

Nous remercions sincèrement le GIS Grandes Culture GCHP_{2E} pour son soutien financier



En savoir plus

- Boogaard H.L. et al. (2014). User's guide for the WOFOST Control Centre 2.1 and WOFOST 7.1.7 crop growth simulation model. Alterra, Wageningen University & Research Centre.
- Licker R., Johnston M., Foley J. A., Barford C., Kucharik C. J., Monfreda C., Ramankutty N. 2010. Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the 'yield gap' of croplands around the world?. Global Ecology and Biogeography. 19, 769-782
- Van Ittersum, M.K.; Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Research, 52, 197 - 208.
- Van Ittersum, M. et al. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A Review. Field Crops Research., 143, 4-17.

