

Le système de production agricole à l'épreuve du changement climatique: focus sur la demande d'eau d'irrigation

Maxime Ollier^{1*}, Pierre-Alain Jayet^{1*}

¹ UMR Economie Publique AgroParisTech/INRA

* pierre-alain.jayet@inra.fr

Résumé

Les pressions sur la ressource en eau et le changement climatique devraient avoir un effet sur la disponibilité de l'eau pour l'irrigation ainsi que sur l'économie des systèmes agricoles. Dans le but d'estimer et de quantifier ces impacts, une approche prospective est proposée ici, combinant un modèle agro-économique (AROPAj) et un modèle de cultures (STICS). Trois scénarios climatiques (SRES-AR4) ont été utilisés sur la période 2010-2100, les résultats révèlent des disparités importantes entre les régions et les scénarios concernant l'évolution de la demande en eau.

Pour le bassin de la Seine, la demande en eau d'irrigation connaît une forte hausse sur la période 2010-2100. Cette hausse, de 73% dans le cas du scénario le plus dur (A2) est plus marquée que dans le reste de la France. Pour toute la France, la demande en eau d'irrigation croît quel que soit le scénario sur la période 2010-2100, elle augmente au plus de 60% dans le scénario A1B, de 40% dans le scénario le plus doux (B1) et de 20% dans le scénario le plus dur (A2). L'accroissement de la demande en eau d'irrigation est plus marqué dans la moitié nord de la France que dans la moitié sud. En effet, cette demande n'augmente que très légèrement sous le scénario B1 et diminue sous le scénario A2, pour le sud de la France.

Dans le cas d'une adaptation limitée des exploitations agricoles au changement climatique, nous montrons que le revenu agricole dans les régions du nord de la France pourrait être plus durement et négativement affecté que dans les régions du sud de la France.

Points clefs

- ✓ Modélisation de l'offre agricole française
- ✓ Effets du changement climatique sur la demande en eau d'irrigation du système agricole à horizon 2100

Introduction

L'agriculture est un secteur de l'économie française qui consomme beaucoup d'eau, avec 3 milliards de mètres cube extraits en 2009, dont 1 milliard de mètre cube provient des nappes souterraines (Eau France, 2012, Ministère de l'environnement, 2017). Compte tenu de la demande en nourriture, de l'intensification des facteurs de production et du nombre croissant de terres irriguées, un déclin de la disponibilité en eau est à prévoir dans les années à venir. Ce risque est également accru par les conséquences du changement climatique, qui pourraient être très importantes sur le système agricole (IPCC, 2013). En France, les régions ont des pratiques assez différentes par rapport à l'eau d'irrigation, les régions du sud en font une utilisation plutôt intensive contrairement aux régions du nord, ce qui rend difficile la prise de décision sur la gestion de la ressource en eau.

L'objectif de ce travail est de fournir une analyse prospective de la future demande en eau d'irrigation et de ses impacts sur l'économie du système agricole. Sont présentées dans ce rapport des analyses concernant l'impact direct du changement climatique sur la demande en eau d'irrigation en France, sur la période 2010-2100, dans le cas de de trois scénarios climatiques. Sont également présentés les contrastes géographiques au niveau du territoire français.

Différentes méthodes existent pour évaluer les effets économiques et environnementaux du changement climatique, telles que des approches climatiques (Van del Velde et al. 2010; Supit et al. 2010), économétriques (Mendelson et al. 1994) ou de modélisation bio-économique (Cortignani and Severini 2009; Kampas et al. 2012, Graveline et al. 2014). Ce travail relève de cette dernière catégorie, qui relie le comportement des agriculteurs à des techniques agronomiques (Janssen and van Ittersum, 2007). Nous analysons les choix des producteurs (intrants, cultures) qui anticipent des changements liés au climat dans le développement des cultures. Les simulations sont réalisées à l'aide d'un modèle agro-économique, AROPAj, auquel sont ajoutées des fonctions doses-réponses (estimées par le modèle de cultures STICS) qui dépendent du climat. Les projections climatiques sur la base 2010-2100 proviennent du modèle ARPEGE-CLIMAT en lien avec les scénarios proposés par le GIEC (A2, A1B et B1 dans cette étude). La France est le cas d'étude choisi ici du fait de sa diversité en termes de sols, de climats et de types d'exploitation. Cette étude est en lien avec le travail de Leclère et al. (2013) qui s'intéresse aux intrants azotés et avec la méthodologie de Humblot et al. (2017). Un module de spatialisation permet d'obtenir une distribution géographique des résultats.

1 Matériel & Méthode

1.1 Le modèle agro-économique

Le modèle de programmation mathématique utilisé dans cette étude est le modèle AROPAj (Jayet et al., 2017), un modèle de l'offre agricole européenne. Le modèle décrit le comportement économique d'un agriculteur représentatif, un « groupe-type » (indexé par k). Les exploitations d'un échantillon (du réseau d'information comptable agricole – RICA) sont regroupées en « groupe-type » dès lors qu'elles possèdent des caractéristiques similaires (l'orientation technico-économique de l'exploitation (OTEX), le nombre d'animaux, la part de chaque culture dans la SAU de l'exploitation, la taille de l'exploitation, l'altitude, la présence d'irrigation). Dans le modèle économique, chaque « groupe-type » est supposé choisir le niveau de production et l'utilisation de facteurs qui maximisent sa marge brute (π_k). L'hypothèse que les « groupe-types » sont des preneurs et non des décideurs de prix est également faite. Le modèle peut donc être écrit de la façon suivante (de Cara et al., 2005) :

$$\begin{cases} \max \pi_k(x_k) = g_k \times x_k \\ \text{s. c. } A_k \times x_k \leq z_k \\ x_k \geq 0 \end{cases}$$

x_k est le vecteur de taille n des activités de production du groupe-type k

g_k est le vecteur des marges brutes

A_k est la matrice $m \times n$ associée aux n activités de production et qui définit les m contraintes

z_k est le vecteur de taille m qui contient les paramètres des contraintes

A noter que x_k inclut la surface et le rendement pour chaque culture (24 modes d'occupation du sol font partie du modèle). Les cultures peuvent être vendues sur le marché ou utilisées pour nourrir les animaux (fourrages, prairies, grain). x_k inclut aussi la nourriture achetée, la production de viande et de lait, le nombre d'animaux dans chaque catégorie (il y a 31 catégories pour le bétail, dont 27 pour le secteur bovin, plus les ovins, caprins, porcins et la volaille). g_k inclut toutes les marges brutes qui correspondent à chaque production : revenu plus aides, moins coûts. A_k et z_k contiennent les contraintes qui limitent la production, en termes de faisabilité technique (contraintes de nutrition animale par exemple) mais aussi en termes d'exigences de la PAC (par exemple, un maximum de 170 kg.ha⁻¹ d'engrais organique peut être épandu). Dans ce modèle, il est supposé que le nombre d'animaux ne peut pas varier au-delà de $\pm 15\%$ du nombre d'animaux initial dans chaque catégorie d'animaux.

La principale source de données est le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). Un peu plus de 70 000 exploitations de l'échantillon sont mobilisées par le modèle (dont sont exclues les productions telles que vigne, maraichage, horticulture). Les exploitations de l'échantillon sont regroupées en 1802 « groupes-type », qui représentent plus de 3.7 millions d'exploitants agricole travaillant à plein temps les dans 27 Etats membres l'Union Européenne. Les données sont disponibles à l'échelle régionale (environ 134 régions dans l'Union Européenne à 27 membres).

Il est important de noter que le nombre d'exploitations regroupées en un groupe-type, doit être assez grand pour respecter la politique de confidentialité des données du RICA (au moins 15 exploitations par groupe-type) mais aussi pour que les estimations soient robustes et pour réduire le biais lié à l'agrégation.

Un groupe-type est un regroupement d'exploitations de la même région, et aussi « proches » que possible en termes d'orientation technico-économique, de dimension économique, d'utilisation de l'irrigation et d'altitude. Chaque groupe-type suit le programme décrit dans l'équation ci-dessus (de Cara et al., 2000).

D'autres sources d'informations peuvent être utilisées pour compléter le RICA, telles que les rapports du GIEC pour le module de calcul des émissions de gaz à effet de serre.

1.2 Couplage soft entre STICS et AROPAj

STICS est un modèle dynamique de simulation du continuum sol-plante-atmosphère qui possède diverses cultures et conditions pédoclimatiques (Brisson et al. 2003). Différents paramètres sont à utiliser en tant qu'intrants au modèle :

- Des paramètres climatiques, obtenus grâce au modèle atmosphérique ARPEGE (Déqué et al., 1994; Pagé and Terray, 2010; Pagé et al., 2010)
- Des informations sur le sol, extraites de la base de données des sols européens (ESDB) (Panagos et al., 2012)
- Des données sur les pratiques agricoles, fournies par la librairie STICS

STICS fournit les rendements des cultures, pour des types de sol et de climat donnés, en fonction de la quantité d'eau et d'azote disponibles pour la plante. Le modèle STICS permet d'établir une relation eau-azote-rendement qui remplace les points fixes intrant-rendement dans le modèle AROPAj. La méthode initialement basée sur les intrants azotés (Godard et al., 2008) a été étendue pour comprendre l'adaptation autonome des exploitations au changement climatique (Leclère et al., 2013).

1.3 Spatialisation

Bien qu'affecté à une région et un groupe type, la position géographique des exploitations de l'échantillon qui le constituent n'est pas dévoilée du fait de la confidentialité des données RICA. Par ailleurs, même si cette position était connue, la notion de position géographique d'un groupe type représentatif resterait à préciser. Cependant, les résultats obtenus grâce aux simulations AROPAj sont spatialisés via une méthode d'économétrie spatiale (Chakir, 2009) qui a été développée sur AROPAj (Cantelaube et al., 2012).

Dans un premier temps, la localisation des cultures est estimée en considérant les données physiques à un niveau de résolution très fin. Ensuite, ces probabilités de localisation des cultures sont affinées en utilisant une méthode d'entropie croisée. Enfin, la localisation des groupes-type est estimée en combinant les données RICA et les résultats sur les probabilités de présence des cultures obtenues précédemment.

La spatialisation est intéressante pour une représentation géographique des résultats avec un haut degré de résolution, ce qui peut être exploité pour l'analyse des impacts des politiques économiques. La spatialisation est également utile et nécessaire lorsqu'il s'agit de coupler le modèle AROPAj avec des modèles physiques, par exemple des modèles hydrogéologiques fonctionnant sur un maillage infrarégional (Bourgeois et al.;

2016). Dans notre étude, la méthode est utilisée pour identifier les régions les plus affectées par la mise en œuvre d'une taxe sur les engrais minéraux azotés.

1.4 Simulations à horizon 2100

Des simulations ont été réalisées pour trois scénarios climatiques B1, A1B et A2 et pour 91 projections annuelles, sur la période 2010-2100. Nous considérons qu'aucun changement dans l'environnement économique n'a lieu, que ce soit en termes de politiques publiques ou de prix. Concernant la politique agricole commune (PAC), la régulation de 2007 reste inchangée (réforme de 2003 à l'origine du découplage des paiements en faveur de la surface agricole) et inclut les changements sur les quotas sucriers ainsi que l'abandon du gel de terres.

2 Résultats

2.1 Le bassin de la Seine

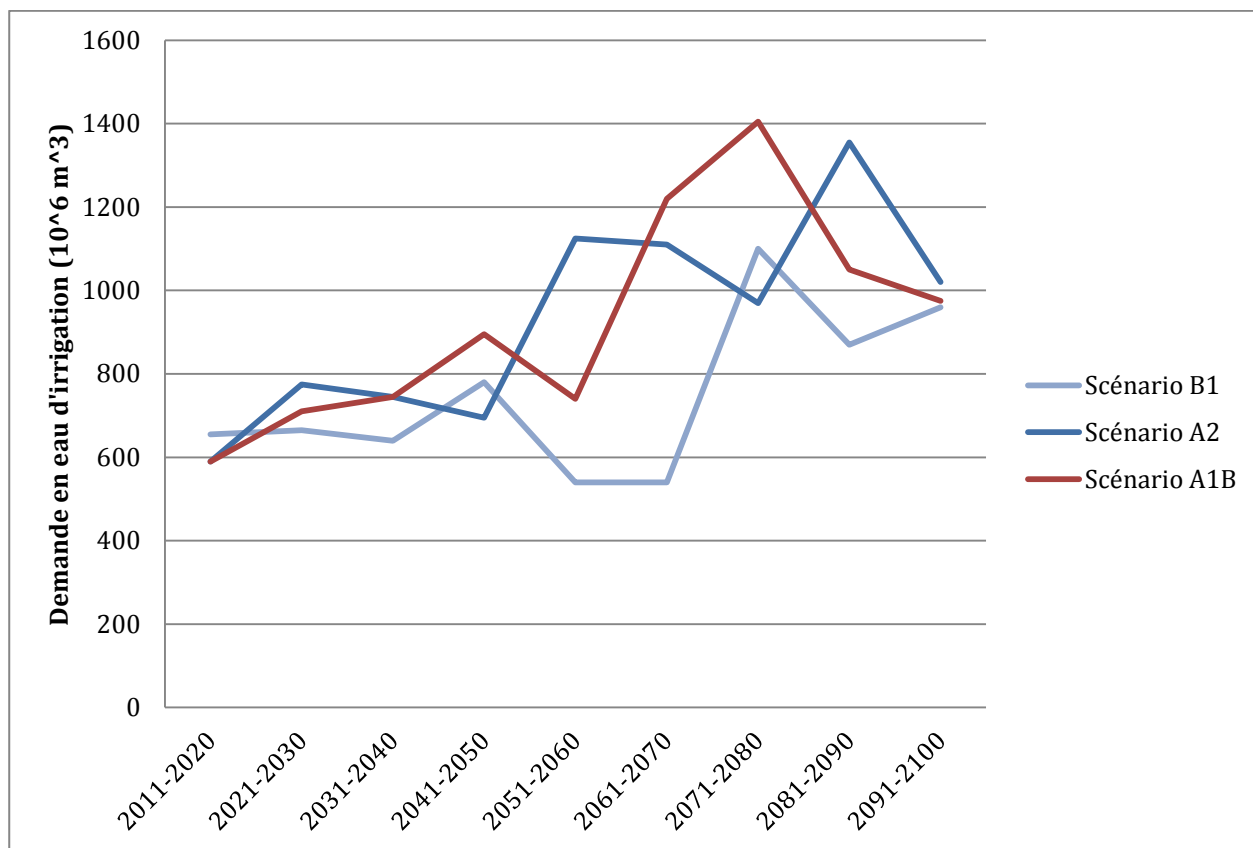


Figure 1. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans les 6 régions principales du bassin de la Seine (Ile-de-France, Champagne-Ardenne, Picardie, Haute-Normandie, Basse-Normandie, Bourgogne) pour les scénarios A1B, B1 et A2 sur la période 2010-2100.

La figure 1 présente l'effet du changement climatique sur la demande en eau d'irrigation dans le bassin de la Seine, dans le cas de 3 scénarios climatiques A1B, A2 et B1. Les résultats sont agrégés pour chaque décennie, un point correspond donc à la moyenne décennale.

La demande en eau d'irrigation est croissante sur la période 2010-2100 pour le bassin de la Seine. La demande en eau d'irrigation augmente de 47% dans le cas du scénario le plus doux (B1), de 65% dans le cas du scénario intermédiaire (A1B), de 73% dans le cas du scénario le plus dur (A2). Pour la France entière, l'augmentation de la demande en eau d'irrigation n'est que de 60% dans le cas du scénario qui provoque la

plus forte hausse. En comparaison, l'augmentation de la demande en eau d'irrigation est donc plus marquée pour le bassin de la Seine que pour le reste de la France.

On peut également noter que cette demande en eau d'irrigation atteint son maximum lors des décennies 2071-2080 ou 2081-2090 dans le cas du scénario A2, avant de décroître. A horizon 2080, la hausse de la demande en eau est par exemple de 138% dans le cas du scénario A1B.

2.2 La France

La figure 2 illustre l'effet du changement climatique sur la demande en eau d'irrigation, pour la France entière d'une part et pour les parties sud et nord de la France d'autre part. Pour chaque scénario donné, un point représente la demande en eau d'irrigation pour une année. Ce point est donc l'agrégation des différentes demandes en eau d'irrigation obtenues pour chaque groupe type après simulation.

A l'échelle nationale, la demande en eau d'irrigation semble croissante, de façon plus prononcée dans le cas du scénario A1B, alors que la marge brute reste stable en moyenne, avec de légers gains dans le cas des scénarios B1 et A1B. Sur la période 2010-2100, la demande en eau d'irrigation augmente de 60% pour le scénario A1B contre 40% pour le scénario B1 et 20% pour le scénario A2. Les trois scénarios climatiques amènent à des tendances contrastées en termes de demande en eau. La croissance de cette demande est plus prononcée dans la moitié nord de la France alors qu'elle est par exemple décroissante pour la moitié sud de la France, dans le cas du scénario A2.

Pour le scénario A2, qui est le plus extrême, la tendance sur la marge brute est plus ambiguë que dans le cas des autres scénarios. Cependant, toutes les projections climatiques révèlent une augmentation de la demande en eau à long terme, qui pourrait dépasser les 4 millions de mètres cubes (la demande actuelle se situe à 3 millions de mètres cubes). La marge brute varie entre 25 et 29 millions d'euros dans tous les scénarios. Il est difficile, à partir de ces résultats, de conclure quant à une tendance générale de l'impact du changement climatique sur la marge brute à l'échelle nationale. Néanmoins, le scénario A2 apparaît comme étant le plus favorable au revenu agricole.

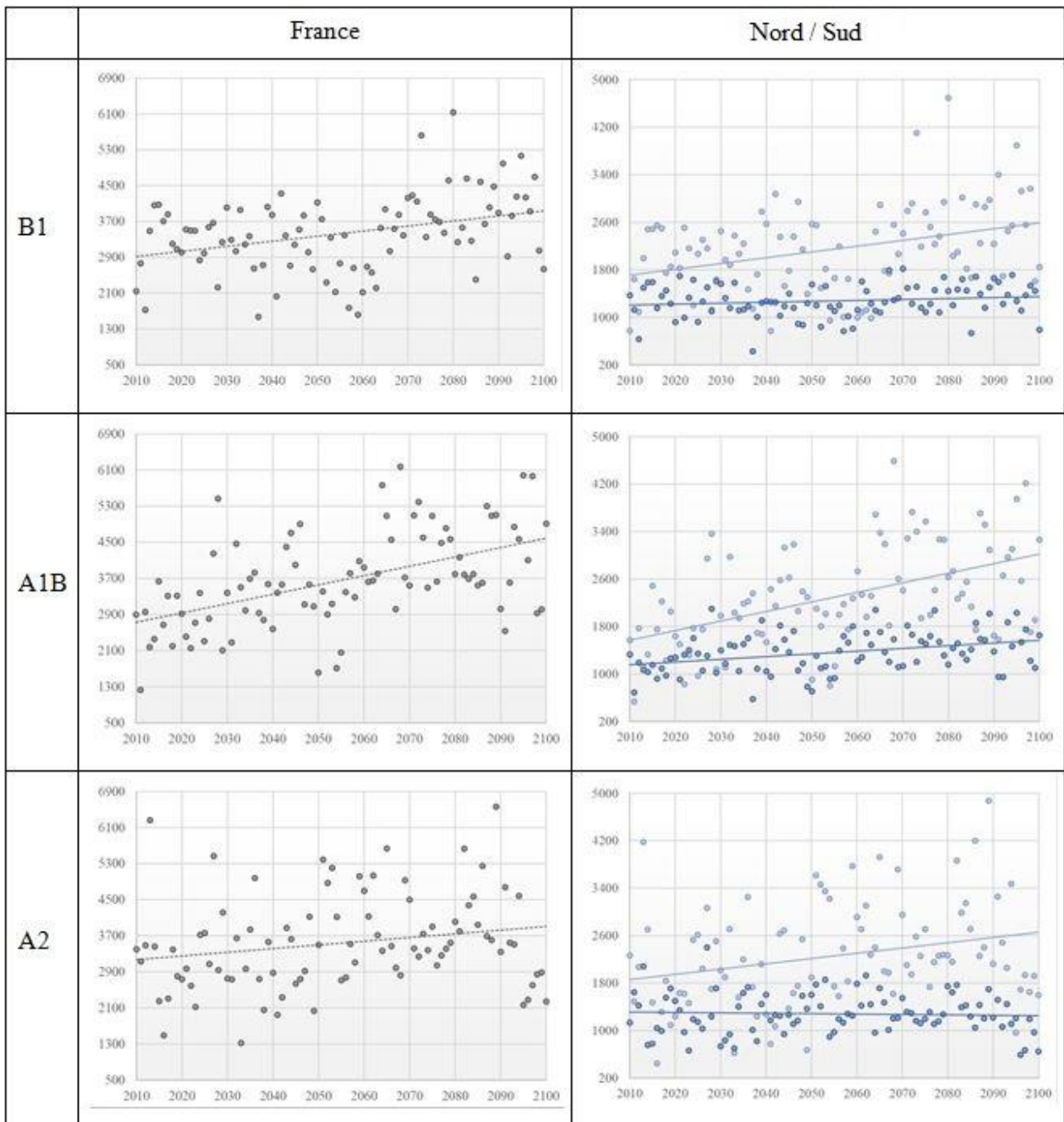


Figure 2. Estimation de l'évolution de la demande en eau d'irrigation (en millions de mètres cubes) pour la France entière (à gauche) et pour le sud et le nord de la France (respectivement bleu foncé et bleu clair, à droite) du secteur agricole.

La réponse des systèmes agricoles au changement climatique varie fortement selon les régions. La figure 3 présente la demande en eau moyenne par décennie, de 2011-2020 à 2091-2100, pour le scénario intermédiaire A1B. Il existe des variations importantes au niveau de la demande en eau d'irrigation, dans le nord comme dans le sud de la France (131-Champagne-Ardenne, 134-Centre, 162-Pays de la Loire dans le nord; 164-Poitou-Charentes, 182-Aquitaine, 183-Midi-Pyrénées dans le sud). Cependant, la plus forte augmentation de la demande en eau d'irrigation concerne trois régions du nord de la France (131, 134 et 162). Certaines décennies climatiques pourraient avoir un fort impact, comme pour la région Centre (134) où la demande en eau d'irrigation est deux fois plus importante sur la période 2091-2100 que sur la période 2011-2020.

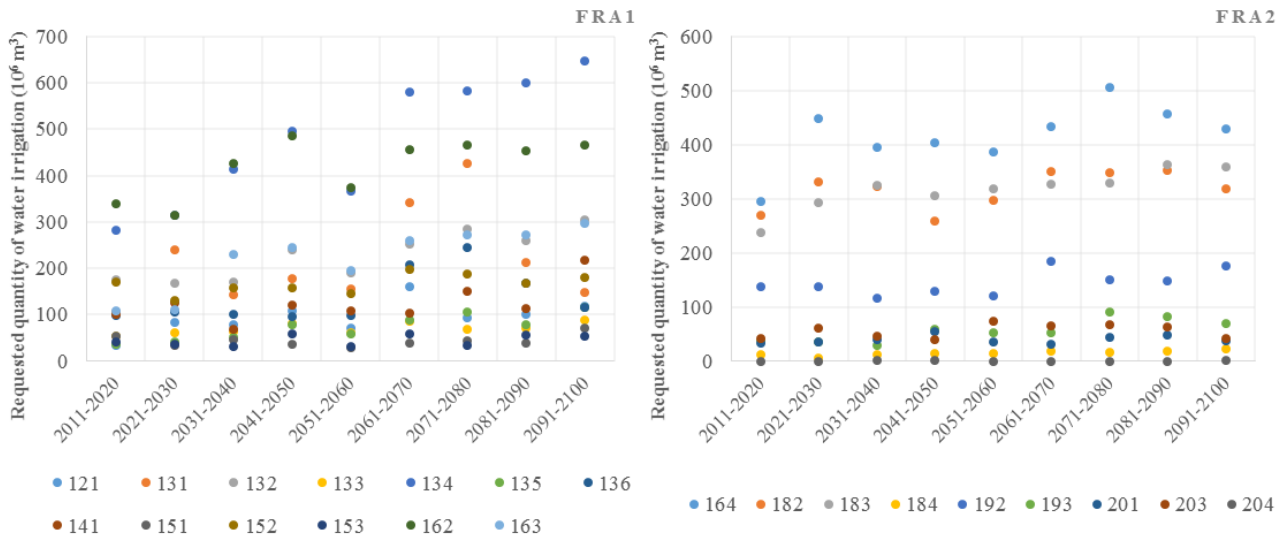


Figure 3. Evolution de la demande en eau d'irrigation dans la partie nord de la France (à gauche) et dans la partie sud (à droite) pour le scénario A1B sur la période 2010-2100 par régions.

La figure 4 représente des cartes obtenues à partir du procédé de spatialisation décrit dans la section 1.3. L'irrigation est exprimée en mètres cubes par hectare, sachant que le modèle AROPAj ne représente qu'une partie de l'agriculture. La spatialisation géographique permet d'affiner les résultats présentés précédemment pour la France entière ou pour le nord et le sud de la France. Certaines régions, telles que les régions 134-Centre, 162-Pays de la Loire, 164-Poitou-Charentes, apparaissent comme étant très impactées par le changement climatique.

Il est aussi intéressant de remarquer qu'il existe également des contrastes importants entre les scénarios climatiques et entre les décennies. La demande en eau d'irrigation disparaît quasiment dans certaines régions du nord de la France dans le cas du scénario le plus dur (A2), pendant la décennie 2091-2100. Globalement, la demande en eau d'irrigation est plus élevée pour les scénarios A1B et A2 que pour le scénario B1. Il apparaît clairement que lorsque la demande en eau devient très forte pour certaines cultures, d'autres cultures, moins intensives en eau, deviennent plus compétitives.

Le changement climatique pourrait donc impacter fortement le système agricole français, soit en augmentant la demande en eau d'irrigation pour les cultures qui sont encore rentables, soit en favorisant la mise en place de cultures nécessitant moins d'eau.

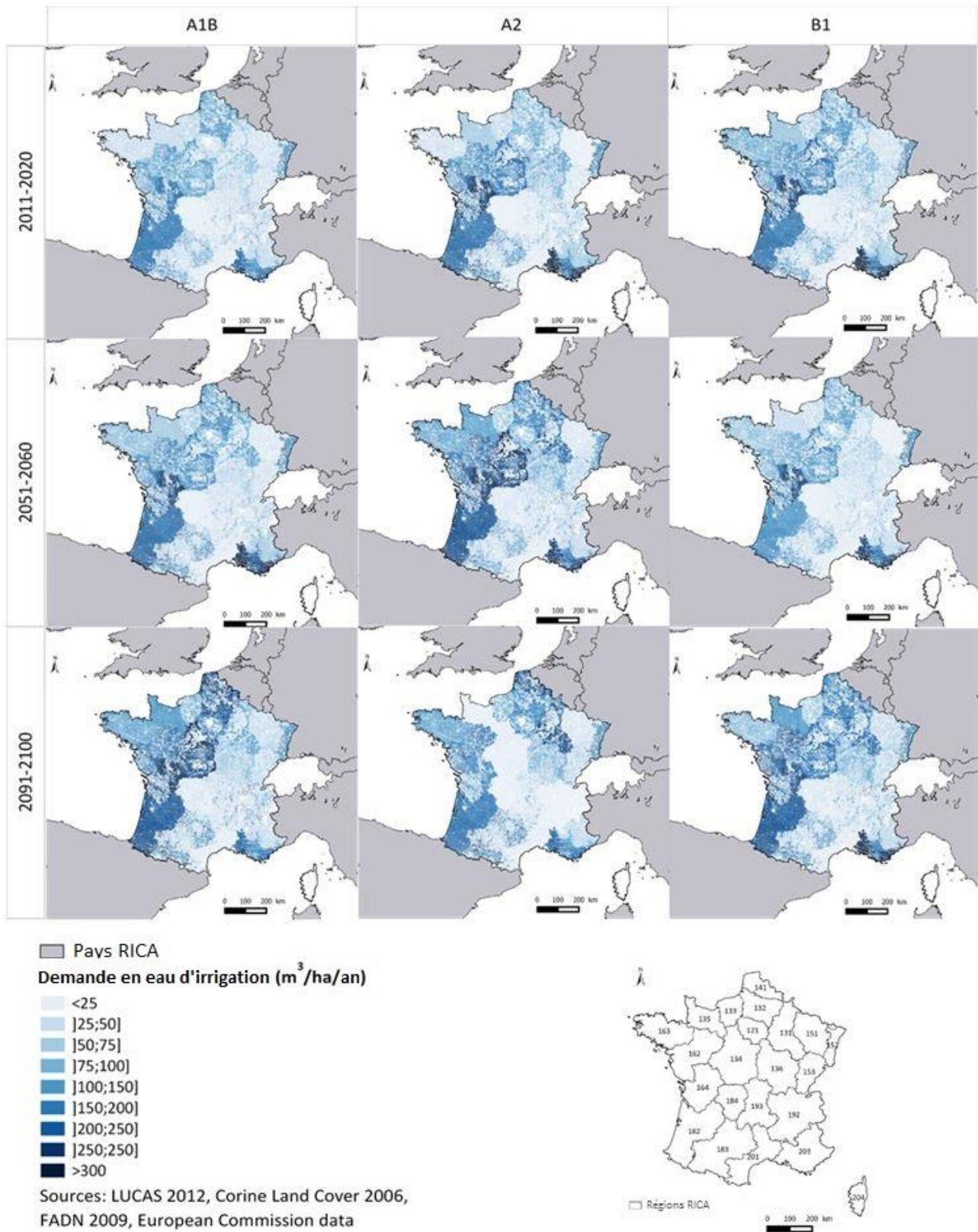


Figure 4. Evolution de la demande en eau d'irrigation en France durant les décennies 2011-2020, 2051-2060, 2091-2100 (moyennes par décennies).

3 Conclusion & Perspectives

Etant donné l'usage actuel de l'eau par le système agricole et les potentielles importantes conséquences du changement climatique sur la disponibilité de cette ressource, il est essentiel de développer des outils de modélisation capables d'intégrer la demande en eau d'irrigation. Que ce soit directement, à travers la modification des températures et des précipitations, ou indirectement, à travers son effet sur la disponibilité de la ressource en eau, le changement climatique pourrait impacter fortement le système agricole.

C'est donc dans cet objectif que nous avons développé une approche prospective associant un modèle agro-économique, AROPAj, et un modèle de culture, STICS, en nous intéressant au lien entre climat, rendements et intrants (eau et azote). Les simulations ont été réalisées pour 3 scénarios climatiques (B1, A1B et A2) définis dans le 4^{ème} rapport du GIEC, sur la période 2010-2100. Nous insistons sur le fait que nous estimons ici la demande en eau d'irrigation à prix constants et pour un climat donné.

Les résultats présentés dans ce rapport montrent un accroissement de la demande en eau sur la période 2010-2100, d'autant plus marqué lorsque le scénario est dur (A2 et A1B) ; dans le cas du bassin de la Seine, la hausse peut atteindre 73% de la demande initiale. Néanmoins, la spatialisation des résultats permet de mettre en avant la diversité régionale des systèmes agricoles. Cette analyse spatiale montre qu'il existe de fortes disparités régionales quant à l'utilisation d'eau d'irrigation, principalement concentrée à l'ouest et au sud-ouest du pays. Les régions les plus irriguées telles qu'Aquitaine Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes et Pays de la Loire sont caractérisées par une augmentation significative de la demande en eau d'irrigation à travers les décennies. Cette demande peut également décroître, comme pour les régions Centre et Rhône-Alpes, dans le scénario A2.

Ce travail pourra à l'avenir être complété par l'extension du couplage STICS-AROPAJ à d'autres pays européens mais également par l'utilisation de scénarios climatiques plus récents (SRES-AR5).

Bibliographie

Bourgeois C., Habets, F., Jayet, P.A., Viennot, P., (2016). Estimating the marginal social value of agriculturally-driven nitrate concentrations in an aquifer: a combined theoretical-applied approach, *Water Economics and Policy*, doi: 10.1142/S2382624X16500211.

Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., ... Sinoquet, H. (2003). An overview of the crop model stics. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 309-332. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00110-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00110-7)

Cantelaube, P., Jayet, P. A., Carré, F., Bamps, C., & Zakharov, P., (2012). Geographical downscaling of outputs provided by an economic farm model calibrated at the regional level. *Land Use Policy*, 29(1), 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.05.002>

de Cara, S., and Jayet, P.A., (2000). Emissions of greenhouse gases from agriculture: the heterogeneity of abatement costs in France, *European Review of Agricultural Economics*, 27(3), 281-303.

de Cara, S., Martin Houzé, M., Jayet, P.A., (2005), Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU : A spatial assessment of source and abatement costs, *Environmental & Resource Economics*, 32(4), 551-583.

Chakir, R., (2009). Spatial Downscaling of Agricultural Land-Use Data: An Econometric Approach Using Cross Entropy. *Land Economics*, 85(2), 238-251. <https://doi.org/10.3368/le.85.2.238>

Cortignani, R., & Severini, S., (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1785-1791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.07.016>

Déqué, M., Drevet, C., Braun, A., & Cariolle, D., (1994). The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics*, 10(4-5), 249-266. <https://doi.org/10.1007/BF00208992>

Godard, C., Roger-Estrade, J., Jayet, P. A., Brisson, N., & Le Bas, C., (2008). Use of available information at a European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the EU. *Agricultural Systems*, 97(1–2), 68–82. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.12.002>

Graveline, N., & Mérel, P., (2014). Intensive and extensive margin adjustments to water scarcity in France's Cereal Belt. *European Review of Agricultural Economics*, 41(5), 707–743. <https://doi.org/10.1093/erae/jbt039>

Humblot, P., Jayet, P.-A., & Petsakos, A., (2017). Farm-level bio-economic modeling of water and nitrogen use: Calibrating yield response functions with limited data. *Agricultural Systems*, 151, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.11.006>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (n.d.). Fifth Assessment Report - Climate Change 2013. Retrieved 7 February 2017, from https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/index_fr.shtml

Janssen, S., et van Ittersum, M. K., (2007). Assessing farm innovations and responses to policies: are view of bio-economic farm models. *Agricultural Systems*, 94: 622–636. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.03.001>

Jayet, P.A., & al., (2017). The European agro-economic model AROPAj, https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwjR5NbVvKLTXAhVFwxQKHUUncDFQQFgg2MAM&url=https%3A%2F%2Fwww6.versailles-grignon.inra.fr%2Fconomie_publique_eng%2FMedia%2Ffichiers%2FArticlarOPAj&usg=AOvVaw25AVR5MPIjn7mv47GXH5zy

Kampas, A., Petsakos, A., & Rozakis, S., (2012). Price induced irrigation water saving: Unraveling conflicts and synergies between European agricultural and water policies for a Greek Water District. *Agricultural Systems*, 113, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.07.003>

Leclère, D., Jayet, P.-A., & de Noblet-Ducoudré, N., (2013). Farm-level Autonomous Adaptation of European Agricultural Supply to Climate Change. *Ecological Economics*, 87, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.11.010>

Mendelsohn, R., & Nordhaus, W., (1999). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply. *The American Economic Review*, 89(4), 1046–1048.

Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, en charge des relations internationales sur le climat (2017). Les prélèvements d'eau douce en France: les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/datalab-prelevement-eau-mise-en-ligne.pdf

Pagé, C., and Terray, L., (2010). Nouvelles projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21ème siècle : les scénarii SCRATCH2010. Technical Report TR/CMGC/10/58, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875CS, Toulouse, France.

Pagé, C., Terray, L., & Boé, J., (2010). Cdsclim: A software package to downscale climate scenarios at regional scale using a weather-typing based statistical methodology. Technical Report TR/CMGC/09/21, SUC au CERFACS, URA CERFACS/CNRS No1875, Toulouse, France.

Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., & Montanarella, L., (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29(2):329–338, doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003.

Supit, I., van Diepen, C. A., Boogaard, H. L., Ludwig, F., & Baruth, B. (2010). Trend analysis of the water requirements, consumption and deficit of field crops in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.09.002>

Van der Velde, M., Wriedt, G., & Bouraoui, F., (2010). Estimating irrigation use and effects on maize yield during the 2003 heatwave in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(1–2), 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.017>