

Utilisation de l'eau et de l'azote pour la modélisation agro-économique et la régulation économique

Pierre Humblot¹, Pierre-Alain Jayet^{1*}, Anna Lungarska¹, Athanasios Petsakos¹

¹INRA, UMR 210 Economie Publique, F-78850 Thiverval-Grignon, France

*.jayet@grignon.inra.fr

1 L'azote et l'eau dans un modèle agro-économique

1.1 Problématique

La modélisation est utile soit pour pallier le coût et la lourdeur de l'expérimentation, soit parce qu'elle permet d'explorer des futurs possibles que l'expérience ne permet pas de tester. C'est particulièrement le cas en économie, lorsqu'interviennent des changements importants dans les contextes économiques (politiques publiques, variations de prix) et physiques (changement climatique). Dans le cas présent, l'eau est à la fois une ressource naturelle et un facteur de production agricole sur lequel il est difficile de mettre un prix, mais qui a un coût : coût d'accès et/ou de mise à disposition du producteur, éventuellement grevé d'une taxe ou d'une contribution sur une assiette variable (quantité, surface). La modélisation économique uniquement fondée sur l'inférence statistique permettant d'estimer des relations entre quantités et prix ne suffit pas. L'appui de la modélisation biophysique est alors bienvenu.

Plus précisément, l'eau est un facteur de production important, dépendant des conditions climatiques. Par ailleurs, ajoutée à la pression sur l'offre agricole à cause du changement climatique, l'eau risque de subir de plus en plus la compétition entre usages qui ne sera pas qu'un problème du « sud » mais risque de devenir un problème du « nord », problème accru par la valeur économique des terres du « nord ». La gestion de l'eau et l'utilisation raisonnée de la ressource sont des sujets importants pour le *policy maker*.

Les défis pour le futur sont donc la disponibilité de l'eau face au changement climatique et la prise en compte de l'intérêt de transmettre le « bon » signal aux agents économiques, au premier rang desquels sont les agriculteurs.

Du côté du système productif, les interactions et combinaisons des facteurs sont difficiles à prendre en compte et à intégrer dans l'analyse économique. L'eau et l'azote sont théoriquement bien maîtrisés par la modélisation biophysique (i.e. par les modèles de culture). En combinant observation économique (même limitée, comme c'est le cas pour l'eau) et représentation biophysique des phénomènes, on se donne pour ambition de mettre l'eau au cœur de la modélisation agro-économique des systèmes de production agricole.

1.2 Méthodologie

L'idée est de modéliser les relations entre le rendement d'une culture d'un agriculteur « représentatif » (au sein d'une région), l'eau et l'azote, en généralisant la méthode proposée pour la réponse du rendement à l'azote par Godard et al, 2008. Ces relations sont résumées par une fonction de réponse du rendement aux apports d'intrants. A terme, il s'agit d'obtenir une telle fonction pour les différentes cultures présentes chez les différents « groupes types » de producteurs représentés dans le modèle agro-économique *AROPAj*.

On suppose que l'on dispose d'observations limitées (le rendement et le prix de la culture et de l'azote apporté sous forme d'engrais minéral, et quelques éléments participant au coût de l'eau d'irrigation). On sélectionne des jeux de variables en entrée du modèle biophysique (le modèle

STICS est retenu pour l'analyse), que sont des combinaisons de sols de la région, de variétés, de dates de semis, et de précédents culturaux. A partir du choix d'une forme fonctionnelle adaptée, on recherche la meilleure combinaison satisfaisant un critère économique fondé sur la différence entre un « vecteur de prix » un « vecteur gradient » (voir figure 1) et permettant d'atteindre le rendement « observé » (rendement estimé sur la base de données du Réseau d'Information Comptable Agricole). La meilleure combinaison est celle qui minimise l'angle entre les deux vecteurs.

L'angle entre les deux vecteurs est en réalité associé à un critère calculé sur la base des paramètres de la forme fonctionnelle choisie (une forme exponentielle multiplicativement séparable), des prix (produit) ou des coûts d'utilisation (intrants), et du rendement observé.

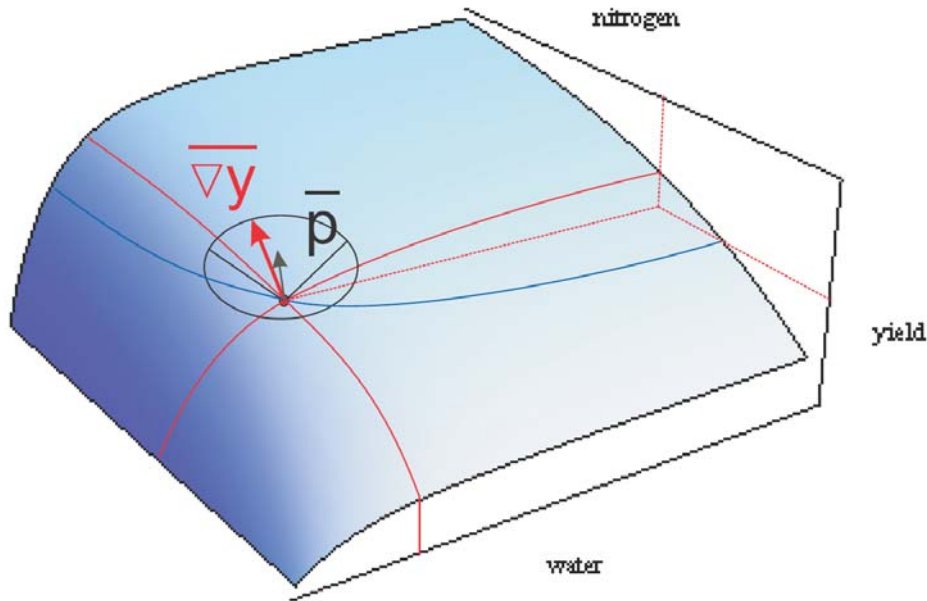


Figure 1 : Rendement en fonction d'apports d'eau et d'azote : représentation graphique du vecteur de prix et du vecteur « gradient » perpendiculaire au plan tangent à la surface de production, pour un niveau de rendement observé (isoquante matérialisée par la courbe bleue sur la surface).

La forme fonctionnelle est donnée ci-dessous :

$$y(W, N; W_0, N_0; \sigma, \tau, \phi) = \phi \left(1 - e^{-\sigma(W_0+W)} \right) \left(1 - e^{-\tau(N_0+N)} \right)$$

W : eau ajoutée (m^3)	W_0 : eau initiale / précip. (m^3)	σ : efficacité (m^{-3})
N : azote ajouté (t)	N_0 : azote initial / sol (t)	τ : efficacité (t^{-1})
ϕ : potentiel agronomique (t)	y : rendement (t)	y, ϕ, W, N quantités par ha

Avec les prix respectifs du produit (q), de l'eau (p_w) et de l'azote (p_N), le critère de sélection, que l'on cherche à minimiser, s'exprime sous la forme :

$$\lambda(\sigma, \tau, \phi, q, p_w, p_N, y_0) = \frac{1}{2} \frac{\frac{p_w}{\sigma} + \frac{p_N}{\tau}}{\phi - y_0} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{\phi - y_0}{y_0} \frac{\frac{p_w}{\sigma} \frac{p_N}{\tau}}{\left(\frac{p_w}{\sigma} + \frac{p_N}{\tau}\right)^2}} \right) - q$$

La sélection de la « meilleure » fonction de rendement permet d’associer au couple {culture, exploitation agricole représentative} un jeu de paramètres d’entrée de *STICS* comprenant un sol, une variété et/ou une date de semis, et un précédent cultural. L’irrigation fait également partie de ce jeu de paramètres, mais l’apport d’eau devient modulable dans le cas où l’irrigation est permise. Dans le cas contraire, l’apport d’eau est purement exogène (dépendant des conditions météorologiques).

Dans l’utilisation qui sera faite de l’intégration de ces fonctions de réponse dans le modèle *AROPAj*, un point délicat consiste à traiter l’écart qui généralement persiste entre le vecteur des prix et le vecteur gradient (le « meilleur » écart n’ayant pas de raison d’être nul). Deux raisons sont avancées pour expliquer cet écart. La première, externe au modèle, tient aux limites de l’observation (RICA) et au fait que l’on considère des exploitations agricoles représentatives qui, dans la réalité, opèrent sur des sols différents. Rappelons que le RICA est un échantillon d’exploitations, auquel l’accès est limité selon des règles strictes de confidentialité interdisant par exemple toute localisation d’un individu de l’échantillon. La seconde raison tient aux propriétés mathématiques et économiques du programme de maximisation de la marge brute qui est prêté à chacune des exploitations représentatives. On peut démontrer qu’à l’optimum économique, le vecteur des prix à rapprocher du gradient est un vecteur de prix « fictifs » qui peut être différent du vecteur de prix de marché. C’est le cas en présence de contraintes telles que les quotas (sur l’offre agricole, sur l’épandage d’amendements azotés, sur la disponibilité de l’eau), c’est aussi le cas lorsque des produits sont entièrement recyclés sur l’exploitation (les céréales dans certains cas, plus généralement les fourrages pour l’alimentation animale, et les ressources d’azote organique d’origine animale). Des articles consacrés à cet aspect sont soumis ou en préparation. C’est paradoxalement la prise en compte de ces écarts de prix, voire la prise en compte de l’absence de prix de marché (pour les fourrages, les amendements organiques, l’eau) qui donnent de l’originalité et de l’intérêt à ce type de modélisation.

La méthode de sélection des « fonctions de réponse » (rendement agricole fonction des apports d’eau et d’azote) et plus généralement les principes de la modélisation économique que nous avons retenue pour intégrer l’eau dans l’analyse sont exposés plus en détail dans un papier soumis comme *contributed paper* au congrès triennal de l’EAAE qui se tient à Ljubljana en août 2014.

1.3 Résultats

La méthode de sélection d’une fonction de rendement en réponse aux apports d’eau et d’azote est testée sur des groupes types d’exploitations agricoles du modèle *AROPAj* (version *V4* fondée sur le RICA européen 2009) qui irriguent les surfaces emblavées. Le test est effectué pour le blé tendre et le maïs en région Centre. Une méthode économétrique sophistiquée est développée pour estimer des coûts d’accès à l’eau d’irrigation, pour lesquels il est difficile de disposer d’observations directes. La méthode est esquissée dans le papier évoqué ci-dessus et fera l’objet de développements futurs appropriés.

La figure 2 illustre la réponse des rendements en maïs sur deux sols différents (notés respectivement 1007 et 1900 en référence à la base des sols utilisée), obtenue à partir de simulations *STICS* pour différents niveaux d’apports en eau (en réduction par rapport à la référence hors stress hydrique) et en azote (ajout d’engrais de synthèse).

Dans le test effectué, on utilise pour chacune des cultures respectives (blé ou maïs) un jeu d’entrées *STICS* par défaut, dans lequel seul le sol varie parmi plusieurs dizaines de sols référencés dans la base de données. Dans cet exemple, la meilleure des réponses trouvées (i.e. la meilleure fonction de réponse) donne un très bon ajustement pour le blé avec une quantité d’eau relativement faible. La réponse du maïs est moins bonne, toujours selon le critère choisi. Mais il est clair que la réponse ne pourra être que meilleure lorsque la sélection sera faite sur la base de l’ensemble des paramètres disponibles en entrée de *STICS* (intégrant les choix du précédent, des dates de semis et des variétés).

Sol	Points 3D	En coupe (« N » constant)	En coupe (« H2O » constant)
-----	-----------	---------------------------	-----------------------------

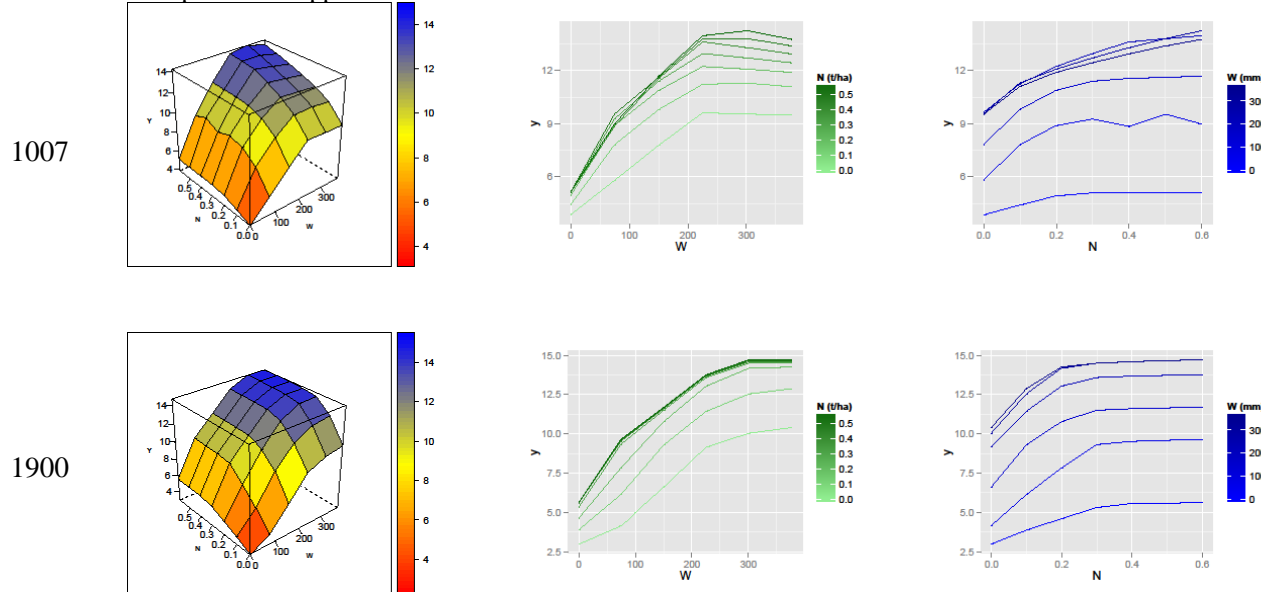


Figure 2 : Illustration de la réponse donnée par STICS du rendement aux apports d'eau et d'azote – maïs irrigué dans la région Centre sur deux sols différents.

2 Autres travaux réalisés

2.1 Valorisation de travaux antérieurs

Le travail évoqué dans la section précédente est dans la lignée de travaux antérieurs, portant sur l'azote comme facteur de production et source de pollution, et l'eau comme cible polluée de la régulation économique.

Exploitation des résultats de la thèse de Cyril Bourgeois

La thèse, intitulée « Régulation des pollutions azotées d'origine agricole », soutenue le 10 mars 2012, et financée par la Région Ile-de-France (programme R2DS), s'inscrit dès le début dans l'activité Piren-Seine de l'UMR d'Economie Publique de l'Inra.

Un article est accepté pour publication, portant sur la régulation des pollutions jointes azotées (Bourgeois et al, 2014), et deux autres articles sont soumis et en révision. Dans ces articles, l'azote est considéré comme polluant (du sol et/ou de l'atmosphère), et dans deux d'entre eux, l'eau est le réceptacle de la pollution.

Les résultats de ces articles ont été présentés lors de récents colloques Piren-Seine et ont fait l'objet de rapports dans ce cadre.

Autres articles

Un article portant sur la régulation des pollutions azotées a été publié en 2013 (Jayet et Petsakos, 2013). Cet article fait suite à un travail engagé et présenté précédemment dans le cadre du Piren-Seine. Un autre article, fondé sur un travail présenté au colloque Piren-Seine de 2013 est soumis pour publication (Lungarska et Jayet). Il porte sur l'avantage qu'apporterait une différenciation spatiale de la régulation (i.e. une taxe sur les intrants minéraux), et compare les régulations qui pourraient être mises en œuvre, soit par Région, soit par zone régulée par une Agence de l'eau.

Références

Bourgeois C., (2012), Régulation des pollutions azotées d'origine agricole, thèse soutenue le 10 mars 2012, AgroParisTech. Bourgeois C., Ben Fradj N., Clodic M., Jayet P.A., (2014), How cost-

PIREN-Seine – phase 6 – rapport 2013

effective is a mixed policy targeting the management of three agricultural N-pollutants ?, accepté dans *Environmental Modeling and Assessment*.

Bourgeois C. Habets F., Jayet P.A., Viennot P., (2013), Estimating the marginal social value of agriculturally-driven nitrate concentrations in an aquifer: a combined theoretical-applied approach, soumis.

Bourgeois C., Jayet P.A., (2013), Revisited water-oriented relationships between a set of farmers and an aquifer: accounting for lag effect, en revision.

Godard C., Roger-Estrade J., Jayet P.A., Brisson N., Le Bas C., (2008), Use of the available information at a European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of the EU, *Agricultural Systems*, vol. 97, n° 1–2, pp. 68–82.

Humblot P., Jayet P.A., Petsakos A., (2014), Nitrogen and water as inputs in farm bio-economic models: creating an operational modeling framework at the EU level, soumis comme contributed paper au congrès EAAE, Ljubliana, août 2014.

Jayet P.A., Lungarska A., (2013), Nitrate pollution and tax differentiation applied to France, soumis.

Jayet P.A., Petsakos A., (2013), Evaluating the efficiency of a uniform N-input tax under different policy scenarios at different scales, *Environmental Modeling and Assessment*. Vol 18, Issue 1, pp 57-72.