

Fonctions dose-réponse vectorielles pour le calcul économique

P.A. Jayet^{1*}, P. Zakharov^{1,2}, C. Bourgeois¹, N. Ben Fradj¹, D. Leclère^{1,3}, M. Clodic^{1,4}

¹ INRA, UMR INRA-AgroParisTech 210, BP 01, Centre INRA Versailles-Grignon, 78850 Grignon, France

² Armines, Centre Géosciences, ENSMP, Fontainebleau, France

³ LSCE/IPSL, UMR CEA/CNRS/UVSQ, CEA Orme des Merisiers, 91191 Gif-Sur-Yvette, France

⁴ IFP, Rueil, France

*Auteur correspondant : jayet@grignon.inra.fr

Introduction

Dans le domaine de l'utilisation du modèle STICS, la notion de fonction « dose-réponse » a été introduite lorsque l'on a cherché à substituer une relation entre l'apport d'azote et le rendement de culture au couple de paramètres existant dans le modèle d'offre agricole AROPAj et figeant en quelque sorte cette relation (Godard et al, 2005). En intégrant ce type de relation, l'évolution des signaux économiques se traduit par la combinaison de deux effets : (i) la maximisation de la marge à l'échelle de la parcelle fait dépendre rendement et apport d'azote du rapport des prix des intrant et produit ; (ii) l'allocation optimale des terres associée à la maximisation de la marge de l'exploitation agricole dépend directement du système de prix (incluant taxes et subventions) et dépend également des prix via l'ajustement des rendements et des charges variables. Dans cette optique, le programme simplifié de l'exploitant agricole est la maximisation sous contrainte d'une fonction de type $\sum_j [p_j r_j(N_j) - w N_j] S_j$ dans laquelle p_j , S_j , N_j , et

r_j représentent respectivement le prix, la surface, la quantité d'intrant et la fonction de rendement associés à la culture j , et w étant le prix de l'intrant azoté.

Le modèle AROPAj est développé et de plus en plus sollicité pour traiter des relations entre la production agricole et l'environnement. L'un des premiers chapitres abordés a été celui des émissions de gaz à effet de serre. En ce qui concerne l'émission de N₂O, la relation physique utilisée par défaut dans un module associé au modèle AROPAj est fondée sur le coefficient retenu par l'IPCC (selon les derniers rapports de l'IPCC, coefficient égal 1 ou 1,25 kg d'azote émis sous forme N₂O par kg d'azote apporté sous forme d'engrais). Or ce facteur d'émission varie en fonction de la culture, du sol, du climat, avec pour effet de modifier sensiblement l'estimation des niveaux émission et la régulation économique des émissions (par l'établissement d'une taxe par exemple, voir Durandeu et al, 2010).

Une extension du forçage entre modèles biophysique et économique vient logiquement lorsqu'on étudie la relation fonctionnelle entre une pollution et un intrant. Cette extension a été initiée dans le cadre du programme « PIREN Seine », lorsque l'on a cherché à affiner le lien entre une quantité d'intrant source de pollution et les différentes pollutions. La « réponse » à la dose d'intrant est alors vectorielle : pour une culture et son jeu de paramètres (sol, variété, itinéraire technique, climat), on peut associer à chaque dose d'engrais azoté un vecteur composé du rendement et des pollutions jointes que sont les pertes d'azote sous les formes respectives de N₂O, NH₃, NO₃ (Jayet et al, 2009).

Plus généralement, lorsque la relation entre intrant et rendement est pertinente et qu'elle se prête à l'interpolation analytique, la mobilisation d'un modèle générique (adapté à un large éventail de sols et de cultures) tel que STICS pour la production de pseudo données peut utilement se substituer à l'expérimentation dès lors que le nombre de situations que l'on souhaite étudiée est grand. Le modèle AROPAj a été développé pour être opérationnel sur l'ensemble des Etats membres de l'Union Européenne, ce qui conduit à élaborer plusieurs milliers de systèmes de fonctions dose-réponse (Galko, 2007). Le modèle STICS a été retenu pour améliorer le modèle AROPAj à cette échelle. Nous proposons ici de faire le point sur les pseudo données ainsi obtenues et leur utilisation à l'échelle du Bassin de la Seine.

Méthode

Au préalable sont « choisis » ou calculés les éléments exogènes (données ou résultats de calculs venant du modèle AROPAj) que sont les années climatiques, les sols les plus représentatifs de l'agriculture régionale, la répartition sur les cultures des amendements organiques et les cultures irriguées. La forme exponentielle de la fonction de rendement est également prédéterminée par la qualité de l'ajustement statistique et par les propriétés de monotonie croissante et de concavité souhaitables du point de vue de l'optimisation économique. La méthode de sélection et d'ajustement des fonctions « dose - rendement » repose sur un enchaînement idéal en 5 étapes conduit pour chaque couple « culture – exploitation agricole type » éligible (accepté par STICS) et présent au sein de chaque région dans le modèle AROPAj :

- 1) Constitution des fichiers STICS intégrant 5 sols les plus représentatifs, 3 variétés ou 3 dates de semis, 2 précédents possibles (30 options) et le caractère « pivot » de l'irrigation (60 options), avec prise en compte de l'éventuel apport d'azote organique ;
- 2) Pour un jeu {sol, variété / date de semis, précédent [, irrigation]}, réalisation de 31 simulations STICS pour un apport d'azote sous forme d'engrais de référence passant de 0 à 600 unités par pas de 20 ;

- 3) Ajustement des paramètres A, B, τ pour chacune des 30 (ou 60) séries de points calculés, selon la forme exponentielle $r(N) = B - (B - A) e^{-\tau N}$
- 4) Présélection, parmi ces 30 fonctions ajustées, des fonctions à valeur asymptotique B supérieure au rendement estimé R_0 (données RICA – AROPAj) ; puis, parmi les fonctions présélectionnées, sélection de la fonction qui minimise la valeur absolue de l'écart entre la valeur de la dérivée $\frac{dR}{dN}(R^{-1}(R_0))$ et le rapport de prix w/p ; on « fige » alors pour le couple « groupe type – culture » le jeu de paramètres {sol, variété / date de semis, précédent [, irrigation]} ;
- 5) Mise à zéro des apports d'azote d'origine animale, 31 simulations STICS réalisées comme précédemment et ré-estimation finale des paramètres A, B, τ de la fonction de rendement.

Les fonctions de pertes d'azote sous les différentes formes (ammoniac, protoxyde d'azote, nitrate) sont alors calculées à partir des simulations de la 5^{ème} étape, ajustées selon une relation affine avec l'apport d'azote. On remarquera que la relation « dose N – perte sous forme N₂O » est « comparable avec la relation de Bouwman obtenue à partir d'une méta-analyse sur laquelle repose le coefficient de corrélation retenu par défaut par l'IPCC pour la comptabilisation des émissions de GES d'origine agricole.

A partir du travail de localisation des exploitations agricoles types du modèle AROPAj mené en particulier dans le cadre du PIREN Seine et du programme FP6 GENEDEC (http://www.grignon.inra.fr/economie-publique/genedec/publi/deliv/WP3_D4.pdf), et redevable au modèle d'économétrie spatiale de localisation des activités agricoles proposé par Chakir (2009), on peut représenter à l'échelle de la « maille élémentaire » (à l'intersection des données physiques disponibles) en termes probabilistes leur contribution à l'occupation du sol de la maille.

Résultats et perspectives

A titre d'illustration synthétisant l'état de l'art en terme de forçage entre les modèles STICS et AROPAj, on propose une application avec la distribution spatiale des pertes d'azote sous forme de N₂O. Dans cet essai, la spatialisation mobilise des données supplémentaires sur l'occupation des sols à l'échelle des petites régions agricoles (Jayet et al, 2009).

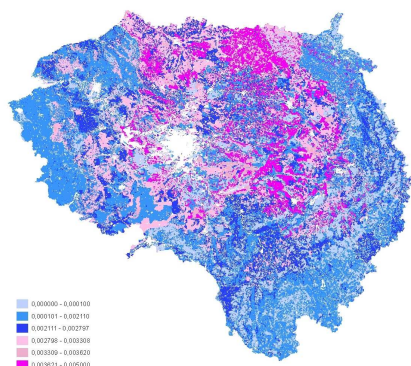


Figure 1 : Essai de distribution géographique des pertes d'azote sous forme N₂O sur le Bassin de la Seine

Ce type de résultat sera utilisé pour le forçage entre AROPAj et le modèle hydro-géologique MODCOU à des fins d'analyse sur modèle de l'impact de scénarios économiques sur la concentration en nitrate des aquifères du Bassin de la Seine (thèse de C. Bourgeois). Ce type d'analyse géo-économique sera également mobilisé dans le cadre des thèses de M. Clodic et N. Ben Fradj (biocarburants) et D. Leclère (analyse des interactions entre climat et couvert végétal affectées par l'occupation des sols agricoles).

Références bibliographiques

- Chakir R., (2009), Spatial Disaggregation of Agricultural Production Data: An Econometric Approach using Minimum Cross Entropy, *Land Economics*, .
- Durandeau S., Gabrielle, B., Godard, C., Jayet, P.A., Le Bas, C. (2010). Coupling biophysical and micro-economic models to assess the effect of mitigation measures on greenhouse gas emissions from agriculture, (2010). *Climatic Change*, 98:51-73.
- Galko-Debove E. (2007). Modélisation de l'offre agricole européenne face à de nouveaux enjeux : réformes politiques, effet de serre et changement climatique, 24 octobre 2007, ABIES-Engref.
- Godard C., Estrade J-R., Jayet, P-A., Brisson, et 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*, 97:68-82.
- Jayet P.A., Cantelaube P., Zakharov P., Génin M., Bourgeois C., Polard A., Schott C., Mignolet C., Habets F., Viennot P., Philipe E., Souhar O. (2009), Modélisation économique des relations entre l'agriculture et l'environnement à l'échelle du bassin de la Seine, Rapport pour le PIREN seine, 55p.