



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Le rôle des usages des sols dans la lutte contre le changement climatique et la préservation de la biodiversité en France

Raja Chakir,

(auteur de correspondance)

Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech,
UMR Economie Publique,
Thiverval-Grignon, France
raja.chakir@inrae.fr

Les sols ont été soumis à des pressions sans précédent au cours des dernières décennies, sous l'effet conjugué de la croissance de la population et de la demande alimentaire et énergétique. Selon le concept de Rockström et al. (2009), le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, et les changements d'utilisation des sols font partie des quatre limites planétaires déjà franchies (Steffen et al., 2015). Franchir ces seuils signifie que des changements brusques peuvent affecter l'environnement de manière catastrophique. En plus de constituer une limite planétaire déjà franchie, les sols se situent au cœur de grands enjeux environnementaux (disponibilité en eau de qualité, préservation de la biodiversité, sécurité alimentaire, lutte contre le changement climatique, etc.). Les recherches menées à INRAE sur ce thème combinent des travaux méthodologiques sur la modélisation économétrique des usages des sols en tenant compte de l'autocorrélation spatiale et des travaux empiriques sur les liens entre usages des sols et environnement (climat et biodiversité).

Les usages des sols à l'intersection des préoccupations environnementales

Les deux derniers rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (IPCC, 2019) et de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) parus en 2019, ont mis en avant le rôle central des sols dans la lutte contre le changement climatique, la préservation de la biodiversité ainsi que les interactions entre ces deux objectifs. Ces rapports soulignent que les pressions sur les sols constituent une menace importante tant pour la biodiversité, causée notamment par la perte et la fragmentation des habitats, que pour le climat compte tenu des émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur des sols. Ils indiquent également que ce secteur peut apporter des solutions en favorisant les synergies entre climat et biodiversité. L'agroforesterie par exemple, contribue à l'atténuation via la séquestration du carbone dans les sols, tout en favorisant la préservation de la biodiversité.

Du point de vue des politiques publiques, aucune législation n'existe à ce jour pour la protection des sols en France ou en Europe. En France, le sol est souvent mentionné indirectement à travers des textes sur la réglementation de l'urbanisation, l'évaluation des incidences environnementales ou la conditionnalité des aides agricoles. Au niveau européen, le projet de directive-cadre sur la protection et l'utilisation durable des sols, proposé par la Commission européenne en 2006, n'a jamais fait l'objet d'un consensus et a été retiré en mai 2014. Cette difficile mise en place d'une réglementation pour la protection des sols témoigne de la complexité des enjeux et de la multiplicité des acteurs autour de ces questions. Ceci plaide pour des études empiriques contribuant à mieux identifier les déterminants des usages des sols et leurs interactions avec l'environnement, afin de bien éclairer et accompagner les politiques publiques.

Les choix d'usage des sols résultent de processus décisionnels

complexes impliquant des facteurs biophysiques et socio-économiques à l'échelle locale et globale. Le chercheur est alors confronté à deux questions : quels sont les déterminants du changement d'usage des sols ? Et quels sont les impacts (environnementaux et socio-économiques) de ces changements ? Les réponses à ces questions sont importantes pour la conception de politiques publiques visant à nourrir une population mondiale croissante tout en limitant les effets indésirables de l'usage des sols sur l'environnement.

Modélisation économétrique des usages des sols : cadre théorique et modèles empiriques

La plupart des études économétriques sur l'usage des sols s'appuient sur une théorie économique qui suppose la maximisation du profit des propriétaires terriens. Les différences entre les rentes associées à chacun des usages permettent de déterminer l'usage optimal que le propriétaire va choisir pour sa terre. Selon cette théorie, ces rentes varient selon des caractéristiques du sol, comme sa fertilité (Ricardo) et sa localisation (Von Thunen). La rente foncière reste une notion assez complexe et plusieurs concepts de la rente économique ont été avancés dans la littérature sans consensus au niveau empirique sur le meilleur choix possible. En partant du même cadre théorique, on peut distinguer deux types de modèles économétriques d'usage des sols : des modèles sur des données individuelles (modèles de choix discret) ou sur données agrégées (modèles de parts ou de composition). Le choix entre ces modèles dépend de l'objectif de l'étude et des données disponibles pour y répondre (Ay, Chakir et Le Gallo, 2017).

Usages des sols et climat

Les interactions entre l'usage des sols et le climat sont complexes. L'usage des sols est un moteur important du changement climatique, certaines pratiques agricoles comme la fertilisation azotée affectent la concentration globale de GES, et les activités d'usage des sols

spatialement hétérogènes ont des impacts importants sur la météo locale. Réciproquement, le changement climatique peut aussi engendrer des changements dans les usages des sols. Par exemple, dans des conditions climatiques changeantes, les agriculteurs peuvent être incités à convertir les pâturages en terres cultivées, ces dernières ayant alors des rendements économiques plus élevés. Finalement, les changements d'usage des sols peuvent contribuer à l'atténuation du changement climatique soit en augmentant la séquestration du carbone, soit en réduisant les émissions de GES.

Dans les deux travaux présentés ci-dessous, nous nous intéressons, dans le cas de la France, d'abord à la sensibilité aux prix des émissions de GES dans le secteur des sols et ensuite à la question de l'adaptation des sols au changement climatique.

Emissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole et le secteur d'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF)

La question de l'impact des prix des commodités agricoles et des intrants sur les émissions de GES liées aux usages des sols (incluant les émissions agricoles) a été largement négligée dans la littérature, l'accent étant mis souvent sur l'effet d'une politique d'atténuation, toutes choses égales par ailleurs. Les données suggèrent pourtant que, indépendamment de toute politique d'atténuation, la variabilité des prix observée peut avoir un effet sur l'évolution de ces émissions. Cette question a été traitée dans Chakir et al. (2017) ; à partir des données construites dans Chakir et al. (2011). Ces données retracent les émissions dues à l'utilisation d'engrais synthétiques, à la fermentation entérique, aux effluents d'élevage ainsi qu'aux sources/puits liés aux usages des sols, au niveau départemental pour la France métropolitaine, sur une période allant de 1993 à 2003 ou 2010 selon les catégories d'émissions. L'originalité de ce travail tient à une couverture large et détaillée des sources/puits (à la fois agricoles et liés aux usages des sols), à une résolution spatiale relativement

Encadré

LA PRISE EN COMPTE DE L'AUTOCORRÉLATION SPATIALE AMÉLIORE LA QUALITÉ DE PRÉDICTION DES MODÈLES D'USAGE DES SOLS

Diverses disciplines ont développé des approches empiriques de modélisation de l'usage des sols. Cependant, la plupart de ces travaux ne s'intéressent que très peu à la prise en compte de l'autocorrélation spatiale dans ces modèles, bien que l'interdépendance spatiale prévaut dans toutes les décisions économiques en général et dans les décisions relatives à l'usage des sols en particulier. Par conséquent, les méthodes statistiques « standards » qui supposent l'indépendance des observations sont inappropriées car les estimateurs obtenus peuvent être biaisés ou non convergents (Anselin, 1988). Contrairement à l'autocorrélation temporelle, l'autocorrélation spatiale est multidimensionnelle, comme l'indique la première loi de la géographie de Tobler « *toute chose est en relation avec toutes les autres mais celles qui sont proches sont plus en relation que celles qui sont distantes* ». Cette interdépendance généralisée nécessite un ensemble de techniques spécialisées qui n'est pas la simple extension des méthodes de séries temporelles bidimensionnelles.

Comme le notent Chakir (2015) et Chakir et Le Gallo (2021), bien que le nombre d'études sur l'usage des sols prenant explicitement en compte l'autocorrélation spatiale ait augmenté, elles restent relativement rares.

La plupart des modèles économétriques sur l'usage des sols tendent soit à ignorer l'autocorrélation spatiale soit à utiliser des méthodes *ad hoc* pour y faire face. En effet, l'autocorrélation spatiale peut complexifier les problèmes liés à l'estimation économétrique, aux tests d'hypothèse et à la prédiction, en particulier dans le cas des modèles de choix discrets. Pourtant, Ay, Chakir et Le Gallo (2017) et Chakir et Lungarska (2017) montrent que la prise en compte de l'autocorrélation spatiale améliore significativement la qualité de prédiction des modèles expliquant l'usage des sols. Ceci permet d'identifier de manière plus précise les déterminants des usages des sols et leurs impacts sur l'environnement.

fine (département) et à la prise en compte explicite de l'autocorrélation spatiale. Les modèles économétriques estimés sont des formes réduites liant les émissions de chaque catégorie et les prix (des cultures, des engrais, des produits animaux, de la terre et du bois). Un modèle économétrique est estimé pour chacune des quatre catégories d'émissions, en prenant en compte la structure de panel (départements et années) avec effets aléatoires et autocorrélation spatiale des erreurs.

Les résultats sont de trois ordres. Premièrement, les prix ont un impact significatif sur les émissions de GES, bien que le signe et l'ampleur varient d'une catégorie d'émission à l'autre. Deuxièmement, les effets des prix sont plus importants lorsque les catégories d'émissions sont analysées séparément plutôt qu'agrégées. Troisièmement, les résultats mettent en évidence l'importance de la dimension spatiale dans l'étude des émissions de GES. Ils suggèrent également que les effets des changements de prix doivent être pris en compte dans la conception des politiques publiques visant à réduire les émissions ou d'amélioration des puits de carbone dans le secteur agricole et UTCF.

Usages des sols et changement climatique dans le secteur agricole et forestier : adaptation et atténuation

Lungarska et Chakir (2018) ont évalué pour la France les effets du changement climatique sur les secteurs agricole et forestier ainsi que l'adaptation des usages des sols qui en résulte. Elles ont estimé un modèle économétrique spatial d'usages des sols où les rentes agricoles et forestières sont approchées par les résultats des modèles spécifiques à chacun de ces deux secteurs. Un modèle économétrique expliquant la proportion de chaque usage des sols est estimé pour les quatre catégories d'usage des sols : (i) agriculture, (ii) forêt, (iii) urbain, et (iv) autres à l'échelle d'une grille homogène d'une résolution spatiale de 8 km sur 8 km couvrant la France métropolitaine. Les auteurs simulent les impacts de deux scénarios de changement climatique (A2 et B1, horizon 2100) du GIEC et une politique d'atténuation sous la forme d'une taxe sur les émissions de GES (0 à 200 euros/tCO₂) visant à en réduire les émissions agricoles. Les résultats montrent que les deux scénarios de changement climatique conduisent à une augmentation de la superficie agricole au détriment de la forêt. La politique d'atténuation des GES réduirait l'expansion de l'agriculture et pourrait donc contrecarrer les conséquences du changement climatique sur les usages des sols. Enfin, la prise en compte de l'adaptation des usages des sols au changement climatique permettrait de réduire les coûts d'abattement dans le secteur agricole.

Usages des sols, climat et biodiversité

Le changement climatique et les usages des sols sont considérés comme les deux principaux déterminants des variations passées et futures de la biodiversité. De plus, les usages des sols sont influencés par le changement climatique, et cet effet indirect est rarement pris en compte dans les études des effets du changement climatique et de l'usage des sols sur la biodiversité. Par conséquent, une politique de conservation efficace et efficiente doit être basée sur l'effet direct du climat sur les espèces et les effets indirects induits par les adaptations humaines et les stratégies de politiques publiques. Nous avons étudié ces deux effets pour deux types de biodiversités en France : les oiseaux communs et les poissons d'eau douce.

Usages des sols, changement climatique et biodiversité des oiseaux communs

Nous avons évalué dans Ay et al. (2014) l'effet de l'usage des sols

au niveau local sur la biodiversité des oiseaux communs en France. A l'interface des approches en économie écologique et en agroécologie, l'objectif est d'étudier et de modéliser l'impact du changement d'usage des sols et du changement climatique sur la dynamique d'une ou plusieurs espèces de populations d'oiseaux communs. Ce travail a été possible grâce aux données détaillées des usages des sols et des populations d'oiseaux disponibles pour l'ensemble de la France métropolitaine. Trois types de modèles ont été estimés et combinés dans ce travail. Premièrement, un modèle économétrique qui explique les usages des sols de cinq catégories : cultures annuelles, cultures pérennes, prairies, forêt et urbain. Le modèle estimé est un modèle logit multinomial à partir des points TERUTI (500 000 points) observés sur toute la France. Deuxièmement, un modèle économétrique Ricardien expliquant les rentes associées à chaque usage des sols. Troisièmement, un modèle statistique de comptage, avec une fonction binomiale négative, qui explique l'abondance d'oiseaux à partir des données STOC (Suivi temporel des oiseaux communs).

Les différents modèles estimés ont permis de simuler plusieurs scénarii climatiques et économiques. Les résultats montrent que le changement climatique est le déterminant majeur de l'évolution de la biodiversité. Néanmoins, les changements d'usage des sols peuvent amplifier ou contrecarrer une partie de ces effets en fonction des espèces d'oiseaux et des régions. Plus précisément, les simulations d'une politique incitative de conservation, consistant à subventionner les prairies, montrent que les effets de cette politique permettent de faire face aux effets des changements d'usage des sols sur la biodiversité mais ne suffisent pas pour annuler les effets du changement climatique.

Usages des sols, changement climatique et biodiversité des eaux douces

Depuis le milieu des années 1980, les écosystèmes d'eau douce ont connu des baisses de leur niveau de biodiversité plus importantes que les écosystèmes terrestres et marins. L'intensification de l'agriculture et l'urbanisation sont souvent citées comme les principaux moteurs directs de la perte de la biodiversité en Europe. Cependant, l'impact du changement climatique sur la biodiversité devient de plus en plus rapide et devrait être l'un des moteurs les plus importants de cette dégradation à l'avenir. Selon le GIEC, la disponibilité et la qualité de l'eau constitueront la principale pression sur les sociétés et sur l'environnement due au changement climatique.

Nous avons étudié dans Bayramoglu et al. (2020) les liens entre les usages des sols, le changement climatique et un indicateur de l'état écologique des eaux douces, à savoir un indice poisson rivière (IPR) mesuré pour diverses rivières françaises observées entre 2001 et 2013. Ce travail apporte plusieurs contributions à la littérature en considérant (1) un indicateur de la qualité écologique de l'eau (2) plusieurs usages des sols (agriculture, forêt, pâturages et milieu urbain) (3) la gestion intensive et extensive des sols dans l'agriculture et les pâturages (4) l'autocorrélation spatiale et l'hétérogénéité individuelle de la biodiversité des eaux douces et (5) les effets combinés de l'usage des sols et du climat sur la biodiversité des eaux douces.

Cette étude répond aux questions suivantes : (i) Comment l'usage des sols et le changement climatique affectent-ils la biodiversité des eaux douces en France ? (ii) Comment une politique publique telle que des normes limitant l'utilisation d'engrais azotés dans l'agriculture ou la densité du bétail dans les pâturages pourrait-elle améliorer la biodiversité des eaux douces ? (iii) Ces politiques résoudraient-elles les effets néfastes de l'usage des sols et du changement climatique sur la biodiversité des eaux douces ? Les résultats empiriques indiquent que les cours d'eau situés dans des régions où l'agriculture et les

pâturages sont intensifs sont associés à une biodiversité en eau douce plus faible que dans les régions forestières. Les simulations montrent que le changement climatique va exacerber ces impacts négatifs via l'adaptation de l'usage des sols. Les simulations montrent également que des politiques de réglementation du niveau des engrais dans l'agriculture et de la capacité de charge dans les prairies pourraient aider à améliorer la biodiversité d'eau douce et limiter les effets néfastes de l'usage des sols et du changement climatique.

Pour en savoir plus

Anselin L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Ay J.-S., Chakir R., Doyen L., Jiguet F. et Leadley P. (2014). Integrated models, scenarios and dynamics of climate, land use and common birds. *Climatic Change* 126, 13–30.

Ay J.-S., Chakir R. et Le Gallo J. (2017). Aggregated Versus Individual Land-Use Models: Modeling Spatial Autocorrelation to Increase Predictive Accuracy. *Environmental Modeling & Assessment* 22, 129–145.

Bayramoglu B., Chakir R. et Lungarska A. (2020). Impacts of Land Use and Climate Change on Freshwater Ecosystems in France. *Environmental Modeling & Assessment* 25, 147–172.

Chakir R., et Le Gallo J. (2021). Spatial autocorrelation in econometric land use models: an overview, à paraître dans *Festschrift Advances in Contemporary Statistics and Econometrics*, Springer New York.

Chakir R. (2015). L'espace dans les modèles économétriques d'utilisation des sols : enjeux méthodologiques et applications empiriques. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* 59, mai.

Chakir R., De Cara S. et Vermont B. (2017). Price-Induced Changes in Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry, and Other Land Use: A Spatial Panel Econometric Analysis. *Revue économique* 68, 471.

Chakir R., De Cara S. et Vermont B. (2011). Émissions de gaz à effet de serre dues à l'agriculture et aux usages des sols en France : une analyse spatiale. *Economie et Statistique*, 444, 201–221.

Chakir R. et Lungarska A. (2017). Agricultural rent in land-use models: comparison of frequently used proxies. *Spatial Economic Analysis* 12, 279–303.

IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

IPCC (2019). Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. (P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley, Eds.).

Lungarska A. et Chakir R. (2018). Climate-induced Land Use Change in France: Impacts of Agricultural Adaptation and Climate Change Mitigation. *Ecological Economics* 147, 134–154.

Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F. S., Lambin E., Lenton T. M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H., Nykvist B., De Wit C. A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S., Snyder P. K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V. J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P. et Foley J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2), 32.

Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S.E., Fetzer I., M. Bennett E., Biggs R., Carpenter S.R., de Vries W., de Wit C.A., Folke C., Gerten D., Heinke J., Mace G.M., Persson L.M., Ramanathan V., Meyers B., et Sörlin S. (2015). Planetary Boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 13 Feb 2015: Vol. 347, Issue 6223, 1259855.