



HAL
open science

Modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus

Frédérique Angevin, Hugues H. Boussard, Jean-Christophe Fabre, Claire Lavigne, Florence Le Ber, Julien Papaïx, Nicolas Parisey, Sylvain Poggi, Benoît Ricci, Fabrice Vinatier, et al.

► To cite this version:

Frédérique Angevin, Hugues H. Boussard, Jean-Christophe Fabre, Claire Lavigne, Florence Le Ber, et al.. Modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus. Modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus Colloque PAYOTE 2017, Oct 2017, Paris, France. 2017. hal-03768077

HAL Id: hal-03768077

<https://hal.inrae.fr/hal-03768077>

Submitted on 2 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus

Colloque PAYOTE 2017

Paris, 4 et 5 octobre 2017

Introduction

L'objet de ce colloque est de partager des connaissances, expériences et outils autour de la modélisation des paysages agricoles, de leur structure et de leur dynamique en considérant la modélisation de la structure physique du paysage agricole et celle des processus socio-techniques qui gouvernent les usages des éléments le constituant (parcelles, fossés, etc.). Par ailleurs, les paysages agricoles sont le support de processus biotiques et abiotiques spatialisés. Les processus biotiques incluent par exemple les dynamiques d'organismes d'importance en agriculture – ravageurs et auxiliaires – ou contribuant à la biodiversité patrimoniale ou ordinaire. Les processus abiotiques incluent par exemple les flux d'eau, d'air, d'éléments minéraux ou organiques. La représentation des paysages en tant que supports (dynamiques) de ces processus et l'analyse de sensibilité des modèles de processus aux variables spatiales font également l'objet de ce colloque.

Ce colloque est organisé par le réseau interdisciplinaire PAYOTE qui regroupe des chercheurs et des ingénieurs travaillant sur la modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus écologiques et environnementaux. Il est constitué par :

- Frédérique Angevin (INRA – Eco-Innov, Grignon)
- Hugues Boussard (INRA – BAGAP, Rennes)
- Jean-Christophe Fabre (INRA – LISAH, Montpellier)
- Claire Lavigne (INRA – PSH, Avignon)
- Florence Le Ber (ENGEES – ICube)
- Julien Papaïx (INRA – BioSP, Avignon)
- Nicolas Parisey (INRA – IGEPP, Rennes)
- Sylvain Poggi (INRA – IGEPP, Rennes)
- Benoît Ricci (INRA – Agroécologie, Dijon)
- Fabrice Vinatier (INRA – LISAH, Montpellier)
- Julie Wohlfahrt (INRA – SAD-ASTER, Mirecourt)

Ce colloque a bénéficié du soutien financier de l'INRA (Département Sciences pour l'Action et le Développement, Département Mathématiques et Informatique Appliquées, Département Santé des Plantes et Environnement, Département Environnement et Agronomie)

Lieu du colloque : FIAP – 30 rue Cabanis – 75014 PARIS

Site du colloque : <https://colloque.inra.fr/payote2017/>

Site du réseau PAYOTE : <http://www.reseau-payote.fr/>

Programme

Mercredi 4 octobre 2017

09:00 - 10:00 : Accueil

09 h 00 : Remise des badges

09 h 45 : Présentation du programme des journées et du collectif Payote (F. Angevin et J. Wohlfahrt)

10 : 00 - 12 : 40 : Méthodes statistiques pour la modélisation des paysages

Animation : F. le Ber et J. Papaix

10 : 00 – 10 : 20 K. Adamczyk-Chauvat (INRA - MIAGE) : Modèle de tessellation pour les parcellaires agricoles : estimation des paramètres

10 : 20 – 10 : 40 R. Dufлот (INRA - Dynafor) : Prédiction des services écosystémiques dans les bois agricoles à partir d'images hyperspectrales

10 : 40 - 11 : 00 V. Thierion (INRA - Dynafor): Utilisation des séries temporelles d'images Sentinel-2 pour la cartographie de l'occupation du sol dans un contexte de modélisation de la biodiversité

11 : 00 – 11 : 20 N. Ratsimba (INRA – Dynafor) : Modélisation conceptuelle de l'influence de l'hétérogénéité du paysage et des pratiques agricoles sur les services de pollinisation et de régulation biologique par conservation, et leurs interactions.

11 : 20 – 11 : 40 P. Miguet (INRA – PSH): Prise en compte d'un effet du paysage dépendant de la distance pour modéliser une réponse biologique

11 : 40 – 12 : 10 Démonstration – F. Carpentier (AgroParistech – BIOGER): Package SILand pour l'étude des observations géolocalisées associées à une description du paysage

12h10 – 12h40 : Discussion générale sur la session

12 : 40 - 14 : 00 : Déjeuner

14 : 00 – 16 : 10 : Flux abiotiques dans les paysages

Animation : J. C. Fabre

14 : 00 – 14 : 20 G. Rudi (INRA - LISAH) : Exploration par simulation de processus abiotiques en interaction avec la végétation dans les fossés agricoles à l'échelle du paysage

14 : 20 – 14 : 40 J. L. Drouet (INRA - ECOSYS) : Modélisation des dépôts atmosphériques d'ammoniac dans les territoires à partir de typologies paysagères

14 : 40 – 15 : 00 C. Pasquier (INRA – SOLS) : Analyse conjointe de la structure des sous bassins-versants du Haut-Loir et de l'azote dans le réseau hydrographique

15 : 00 – 15 : 20 N. Lebon (INRA-LISAH) : Modélisation du fonctionnement agrohydrologique des retenues dans un territoire agricole

15 : 20 – 15 : 40 B. Loubet (INRA – ECOSYS) : Modélisation intégrée du devenir des pesticides

15 : 40 – 16 : 10 : Discussion générale sur la session

16 : 10 - 16 : 30 : Pause café

16 : 30 – 17 : 00 Démonstration – C. Jahel (CIRAD – TETIS) : Plate-forme de modélisation Ocelet

17 : 00 – 18 : 30 : Cartographie des services écosystémiques

Animation : F. Angevin et H. Boussard

17 : 00 – 17 h 20 E. Polge (INRA – EMMAH) : Dynamiques d'intensification durable des systèmes territoriaux. Quatre cas d'étude en Europe

17 : 20 – 17 : 40 F. Attia (INRA – SAD-ASTER) : Caractérisation de la distribution spatiale de déterminants biophysiques de services écosystémiques à l'échelle régionale

17 : 40 – 18 : 00 Y. Ellili (INRA – SAS) : Evaluation et cartographie des SE des sols à l'échelle du paysage

18 : 00 – 18 : 30 : *Discussion générale sur la session*

Jeudi 5 octobre 2017

09 : 00 - 10 : 50 : Flux biotiques dans les paysages

Animation : C. Lavigne et S. Poggi

09 : 00 – 09 : 20 N. Parisey (INRA – IGEPP) : Modélisation du mouvement des chevreuils dans un paysage bocager simulé : premiers résultats, projets

09 : 20 – 09 : 40 B. Collard (INRA-PSH) : La parcelle comme un paysage pour la prospection des ennemis naturels : modélisation de l'effet de l'organisation spatiale intra-parcellaire sur la lutte biologique par conservation

09 : 40 – 10 : 00 M. – M. Memmah (INRA-PSH) : Optimisation multi-critères de la structure des paysages pour le contrôle du carpocapse par ses parasitoïdes

10 : 00 – 10 : 20 F. Guerrin (INRA-SELMET) : Modélisation spatio-temporelle d'un écosystème pastoral synthétique pour tester des hypothèses théoriques

10 : 20 – 10 : 50 : *Discussion générale sur la session*

10 : 50 - 11 : 20 : Pause café

11 : 20 – 11 : 50 Démonstration – H. Boussard (INRA – BAGAP) : APILand, un outil de gestion concertée des paysages agricoles

11 : 50 - 12 : 30 : Prise en compte des acteurs dans les modèles de paysage

Animation : H. Boussard et J. Wohlfahrt

11 : 50 – 12 : 10 F. Angevin (INRA – Eco-Innov) : Scénarios d'allocation des cultures de blé et de colza en fonction des stratégies des coopératives et des agriculteurs

12 : 10 – 12 : 30 F. Bareille (INRA – SMART-LERECO) : Gestion coordonnée des carabes à l'échelle du paysage : l'impact des coûts de coordination

12 : 30 – 14 : 00 : Déjeuner

14 : 00 - 15 : 50 : Prise en compte des acteurs dans les modèles de paysage (suite)

14 : 00 – 14 : 20 F. Le Ber (ENGEES – ICube) : Utilisation du raisonnement à partir de cas pour modéliser l'introduction d'une nouvelle culture

14 : 20 – 14 : 40 L. Casal (INRA – SAS) : Modélisation de changements spatialisés de l'utilisation des sols pour réduire la pollution azotée

14 : 40 – 15 : 00 P. Lagacherie (INRA – LISAH) : BV Service : un outil web pour le diagnostic et la définition d'actions correctives vis-à-vis du ruissellement superficiel en petit bassin versant agricole

15 : 00 – 15 : 20 C. Jahel (CIRAD – TETIS) : Modélisation spatiale et multiscalair des dynamiques paysagères, le cas du Burkina Faso

15 : 20 – 15 : 50 *Discussion générale sur la session*

15 : 50 – 16 h : Conclusion des journées

Modèle de tessellation pour les parcelles agricoles : estimation des paramètres

[Adamczyk-Chauvat K.^{1*}](#), [Kiêu K.¹](#)

¹ INRA, UR1404 Mathématiques et Informatique Appliquées du Génome à l'Environnement, Jouy-en-Josas
katarzyna.damczyk@inra.fr

Mots clés

Parcelles agricoles, tessellations, estimation

Résumé

Le modèle de Gibbs de tessellation aléatoire en T (Kiêu et al. 2013) a été utilisé pour générer des parcelles dans des modèles agronomiques. En effet, le choix approprié des descripteurs et des paramètres définissant la fonction d'énergie du modèle conduit à la simulation des tessellations qui ressemblent aux parcelles.

Nos travaux récents portent sur l'estimation des paramètres du modèle à partir de cartes parcelles. Nous illustrons notre démarche sur un exemple de parcelle de la région agricole de Loir-et-Cher. Le parcelle y est représenté par une liste des polygones définis dans un domaine non-convexe. Nous proposons un algorithme pour transformer les parcelles en tessellation en T. Les données transformées sont ensuite utilisées pour ajuster le modèle de Gibbs qui dépend de trois descripteurs contrôlant respectivement : l'échelle de tessellation, l'hétérogénéité des tailles des polygones et les angles entre les côtés des polygones. Les paramètres du modèle sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance Monte Carlo. Nous montrons que les distributions de trois descripteurs, obtenues par la simulation du modèle ajusté, sont bien centrées sur des valeurs observées. Ainsi les parcelles virtuelles générées par le modèle héritent des caractéristiques du parcelle agricole donné en entrée.

Références

- K. Kiêu, K. Adamczyk-Chauvat, H. Monod, R. S. Stoica. A completely random T-tessellation model and Gibbsian extensions. *Spatial Statistics*, 6, 118-138, 2013.
- J. Papaix, K. Adamczyk-Chauvat, A. Bouvier, K. Kiêu, S. Touzeau, C. Lannou, H. Monod. *Pathogen population dynamics in agricultural landscapes: The Ddal modelling framework*. *Infection, Genetics and Evolution*, 27, 509-520, 2014.

Prédiction des services écosystémiques dans les bois agricoles à partir d'images hyperspectrales

[Dufлот R.^{1*}](#), [Vialatte A.¹](#), [Sheeren D.¹](#), [Fauvel M.¹](#)

¹ Dynafor, Université de Toulouse, INRA, INPT, INPT-EI PURPAN, 31326 Castanet Tolosan, France

Mots clés

Télédétection, services écosystémiques, bois agricoles, image hyperspectrale

Résumé

Les services écosystémiques sont devenus un enjeu social, écologique et économique majeur dans le monde. Les forêts des paysages agricoles offrent des services précieux bien qu'ils soient souvent sous-estimés et mal utilisés. Cependant, une cartographie précise de ces services à grande échelle reste difficile. Des données de télédétection permettent aujourd'hui d'envisager cette cartographie.

Nous avons évalué la contribution des indices de végétation calculés à partir d'images hyperspectrales à haute résolution spatiale pour la prévision de services écosystémiques par rapport aux résultats fondés sur la couverture terrestre. 28 parcelles forestières ont été échantillonnées et des images hyperspectrales aéroportées ont été acquises pour la zone d'étude, à une résolution de 2 m.

Habituellement, les indices de végétation dérivés de l'hyperspectral à l'échelle du paysage (buffer spatial autour de l'objet considéré) sont réduits en utilisant des statistiques descriptives (moyenne, écart-type, valeurs minimales et maximales). Cependant, cette approche peut perdre beaucoup d'informations, en particulier à l'échelle des paysages, où plusieurs objets avec différentes signatures spectrales sont présents. Nous proposons une description du paysage hyperspectral basée sur la répartition complète des indices de végétation à travers les paysages. Nous avons utilisé les modèles de mélange gaussien (GMM) pour modéliser la distribution des pixels dans chaque paysage et introduit une distance L2 entre ces mélanges. Cette distance est utilisée dans l'algorithme des plus proches voisins pour prédire les niveaux de services.

La qualité des prédictions a été comparée entre trois représentations de paysage: occupation des sols, statistiques descriptives de données hyperspectrales et description de données hyperspectrales basées sur GMM.

Utilisation des séries temporelles d'images Sentinel-2 pour la cartographie de l'occupation du sol dans un contexte de modélisation de la biodiversité

[Thierion V.](#)^{1*}, [Herrault P.-A.](#)², [Vincent A.](#)³, [Inglada, J.](#)³, [Sheeren, D.](#)⁴

¹ INRA, UMR 1201 Dynafor, Toulouse

² ULP-CNRS, UMR 7011 Image et Ville, Strasbourg

³ CNES, CESBIO - UMR 5126, Toulouse

⁴ INP-ENSAT, UMR 1201 Dynafor, Toulouse

vincent.thierion@inra.fr

Mots clés

Occupation du sol, modélisation prédictive, télédétection, incertitude spatiale, écologie du paysage

Résumé

La connaissance de l'occupation du sol actualisée est une donnée essentielle pour de nombreuses applications scientifiques et opérationnelles. À ce titre, il s'agit d'une donnée permettant de dériver plusieurs variables essentielles de biodiversité, telles que l'étendue et la fragmentation des écosystèmes ainsi que la structure paysagère, variables fortement reliées au potentiel de biodiversité d'un paysage (Skidmore et al., 2015). Elle représente une donnée d'entrée essentielle des modèles prédictifs ou de simulation paysagère développées en recherche en écologie du paysage. À l'heure actuelle, il existe plusieurs jeux de données d'occupation du sol de référence, comme Corine Land Cover (CLC) à l'échelle européenne ou la BD TOPO® de l'IGN à l'échelle nationale française. Ces deux jeux de données permettent de décrire l'occupation du sol de manière exhaustive et harmonisée sur de larges étendues géographiques. Cependant, la faiblesse de CLC réside dans sa fraîcheur temporelle, à savoir que sa diffusion intervient tardivement par rapport à la période temporelle qu'elle décrit. Si CLC dispose d'une typologie très détaillée, intégrant des notions d'usage du sol, la BD TOPO®, si elle décrit précisément les éléments permanents du paysage, n'identifie pas différentes classes annuelles du paysage telles que les cultures. L'avènement récent de la mission spatiale Sentinelle-2 qui fournit de séries temporelles d'images satellites, à forte capacité de revisite (5 jours) et une résolution spatiale décimétrique sur l'ensemble de la surface terrestre, ouvre ainsi de nouvelles opportunités dans la cartographie de l'occupation du sol actualisée à grande échelle. Dans ce sens, le CESBIO avec des contributions de l'UMR Dynafor, dans le cadre du centre d'expertise scientifique « Occupation du Sol » (CES OSO) du Pôle Thématique Surfaces Continentales THEIA a développé une chaîne opérationnelle de classification supervisée automatique d'images Sentinelle-2 et Landsat-8 (iota2) produisant une cartographie de l'occupation du sol actualisée. L'occupation du sol est décrite grâce à 17 classes, couvrant les grands ensembles paysagers (urbain, agricole et semi-naturel), à une résolution spatiale de 10 m et une unité minimale de collecte de 0.01 ha (UMC). La précision globale proche de 90% permet son utilisation tant dans des contextes opérationnels et scientifique d'aide à la décision (Inglada et al., 2017). Cette présentation décrira, dans une première partie, les caractéristiques de ce produit cartographique, de sa méthode de production et de sa qualité statistique. Dans une seconde partie, la question de l'incertitude spatiale de cette carte d'occupation du sol sera abordée. Une comparaison avec un jeu de données d'occupation du sol digitalisé manuellement sera présentée au travers d'une modélisation spatialisée espèce-habitat fondée sur la surface, l'hétérogénéité et la connectivité forestière d'un paysage agricole pour expliquer la richesse spécifique de syrphes (ordre des mouches) (Herrault et al., 2016). Les résultats tendent à montrer un effet négligeable de l'incertitude spatiale sur les performances du modèle alors qu'en parallèle le recours à la cartographie par télédétection de l'occupation du sol permet d'envisager une analyse plus systématique de l'effet de la matrice paysagère dans son ensemble sur la biodiversité.

Références

- Herrault, P.-A., Larrieu, L., Cordier, S., Gimmi, U., Lachat, T., Ouin, A., Sarthou, J.-P., Sheeren, D. (2016) Combined effects of area, connectivity, history and structural heterogeneity of woodlands on the species richness of hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Landscape Ecology*, 31, 877-893.
- Inglada, J., Vincent, A., Arias, M., Tardy, B., Morin, D., Rodes, I. (2017) Operational high resolution land cover map production at the country scale using satellite image time series. *Remote Sens.* 2017, 9(1), 95.
- Skidmore, A.K., Pettorelli, N., Coops, N.C., Geller, G.N., Hansen, M., Lucas, R., Mûcher, C.A., O'Connor, B., Paganini, M., Pereira, H.M., Schaepman, M.E., Turner, W., Wang, T., Wegmann, M. (2015) Environmental science: Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature* 523, 403-405.

Modélisation conceptuelle de l'influence de l'hétérogénéité du paysage et des pratiques agricoles sur les services de pollinisation et de régulation biologique par conservation, et leurs interactions

[Ratsimba N.^{1*}](#), [Thérond O.²](#), [Monteil C.³](#), [Vialatte A.³](#)

¹ INRA, UMR 1201 Dynafor, Castanet-Tolosan

² INRA, UR 1132 LAE-Colmar, Colmar

³ INRA – INP Toulouse ENSAT, UMR 1201 Dynafor, Castanet-Tolosan
nirina.ratsimba@inra.fr

Mots clés

Régulation biologique par conservation, pollinisation, hétérogénéité du paysage, fuzzy cognitive map

Résumé

Dans le cadre du développement de l'agroécologie, une forte demande est placée dans les services de régulation rendus par la biodiversité que sont le contrôle biologique des ravageurs et la pollinisation. Les processus écologiques en jeu dans la réalisation de ces services interviennent à différents niveaux d'organisation : la parcelle, son environnement immédiat, le paysage et le contexte régional. De plus, ces services sont délivrés par des espèces mobiles et dotées de cycles de vie. Il est donc essentiel de prendre en compte les dimensions spatiales et temporelles et les différents niveaux d'organisation en jeu lors de l'élaboration de stratégies de gestion des espaces agricoles. Ces stratégies devraient être fondées sur la connaissance des apports spécifiques de chaque habitat, à la fois pour les insectes ravageurs, auxiliaires et pour les pollinisateurs. Il est probable que ces apports soient différents selon la guildes considérée, et qu'ils varient dans le temps, selon le cycle de vie des individus. Des problématiques de synergies et d'antagonismes peuvent alors apparaître à travers les choix d'allocation et de gestion des espaces semi-naturels et de pratiques agricoles (allocation spatiotemporelle des cultures et conduite de celles-ci).

Il existe une littérature importante explorant le rôle de la biodiversité et des services qu'elle rend dans les agro-écosystèmes. Ces connaissances fournissent potentiellement un cadre d'analyse des processus écologiques en jeu dans la réalisation des services de régulation biologique et de pollinisation. De plus, de nombreux travaux se sont attachés, notamment au travers de méta-analyses, à estimer l'influence de l'hétérogénéité du paysage et des pratiques agricoles sur ces services, et ont démontré leur importances (Chaplin-Kramer et al. 2011; Kremen et al. 2004).

L'objectif de ce travail est de présenter la démarche d'intégration et formalisation des connaissances pour le développement d'un modèle conceptuel des facteurs liés au paysage et de leur influence sur la régulation biologique des ravageurs, la pollinisation et les interactions entre ces services qui en découlent.

Nous présenterons un formalisme original utilisé pour réaliser cette synthèse, le Fuzzy Cognitive Mapping (FCM) (Özesmi & Özesmi 2004). Les fuzzy cognitive maps sont une application des cartes cognitives, permettant de décrire des réseaux de relations orientées et quantifiées entre plusieurs entités et de simuler le comportement du système en réaction à des modifications des variables. Ce formalisme sera utilisé ici pour déterminer comment et à travers quels processus la composition et la configuration du paysage et les pratiques agricoles influencent les services de biocontrôle par conservation des ravageurs et de pollinisation des cultures.

Ce modèle conceptuel est destiné à servir de support au développement d'un module de simulation dynamique et spatialisée des niveaux de services en relation avec l'hétérogénéité du paysage et les pratiques agricoles. Ce module sera développé dans la plateforme multi-agent MAELIA (<http://maelia-platform.inra.fr/>) afin d'explorer des scénarios de gestion des espaces agricoles.

Références

- Chaplin-Kramer, R. et al., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology letters*, 14(9), pp.922–32.
- Kremen, C. et al., 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology letters*, 7(11), pp.1109–1119.
- Özesmi, U. & Özesmi, S.L., 2004. Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological modelling*, 176(1), pp.43–64.

Prise en compte d'un effet du paysage dépendant de la distance pour modéliser une réponse biologique

[Miguet P.](#)^{1,2*}, [Fahrig L.](#)², [Lavigne C.](#)¹

¹ INRA, UR 1115 PSH (Plantes et Systèmes de culture Horticoles), 84000 Avignon, France

² Geomatics and Landscape Ecology Research Laboratory (GLEL), Department of Biology, Carleton University, Ottawa, Canada

Mots clés

Echelle d'effet, échelle spatiale, écologie du paysage, fonction de pondération, modèle d'habitat

Résumé

L'étude de l'effet du paysage sur une réponse biologique mesurée en un site se fait généralement en calculant les variables du paysage dans des disques centrés sur le site ("threshold-based method", TBM). Cette méthode suppose implicitement que l'effet d'une surface unitaire du paysage est homogène jusqu'à un seuil de distance puis devient nul au-delà de cette distance. Il semble cependant plus réaliste que l'effet du paysage diminue progressivement (i.e. sans seuil) lorsque l'on s'éloigne du site de mesure de la réponse biologique. Nous avons mis au point une méthode pour quantifier l'effet du paysage en pondérant les variables du paysage par des fonctions décroissantes de la distance au site ("distance-weighted method", DWM). Nous illustrons cette méthode en analysant des données d'abondance sur les oiseaux et les insectes, et comparons les résultats avec l'approche habituelle supposant des seuils de distance.

On définit une fonction de pondération de la distance par une famille de fonctions (ex. : exponentielle négative, Gaussienne...) et les valeurs de paramètres pour cette fonction. Notre méthode estime simultanément les paramètres caractérisant l'effet des variables du paysage et les paramètres de la meilleure fonction de pondération. Pour chaque jeu de données testé, nous avons déterminé quelle était la meilleure fonction de pondération (famille et valeurs de paramètres), en nous basant sur l'AIC du modèle.

La méthode de pondération par la distance a amélioré l'AIC du modèle par rapport à la méthode basée sur les seuils de distance pour trois des quatre jeux de données testés, avec la fonction puissance exponentielle sélectionnée comme meilleure fonction pour ces trois situations. Les différences observées entre les estimations de l'effet du paysage par la méthode pondérant par la distance et celle basée sur les seuils ont des implications significatives pour la gestion du paysage. Par exemple, la méthode par pondération suggère que gérer le paysage pour englober 90% de l'effet sur la réponse biologique nécessite une surface environ cinq fois supérieure à la surface estimée par la méthode basée sur les seuils.

La méthode de pondération par la distance est applicable pour modéliser toutes les relations espèce-habitat. Plus de comparaisons sont nécessaires pour déterminer les situations pour lesquelles les estimations de l'effet du paysage pondéré par la distance sont meilleures que celles de la méthode habituelle basée sur les seuils de distance.

Références

Miguet, P., Fahrig, L. and Lavigne, C. (in press), How to quantify a distance-dependent landscape effect on a biological response. *Methods in Ecology and Evolution*. doi:10.1111/2041-210X.12830

Package SILand pour l'étude des observations géolocalisées associées à une description du paysage

[Carpentier F.](#)^{1*}, [Martin O.](#)²

¹ AgroParisTech-INRA, UMR Bioger, Thiverval-Grignon

² INRA, Unité BIOSP, Avignon

florence.carpentier@agroparistech.fr

Mots clés

Paysage, statistique, modélisation, package R

Résumé

Gérer les agrosystèmes à l'échelle du territoire nécessite d'identifier les caractéristiques du paysage influant sur les populations de bioagresseurs et d'auxiliaires. Pourtant peu de méthodes existent pour analyser les effets des données paysagères. La méthode la plus commune consiste à transformer un ensemble de caractéristiques paysagères en une série de variables statistiques calculées autour de chaque donnée ponctuelle d'observation dans des disques de différents rayons croissants appelés 'buffers'. Cependant dans cette approche, l'information spatiale est résumée et donc dégradée : le paysage continu et hétérogène est discrétisé en une variable homogène au sein d'un buffer et un nombre limité de rayons de buffer est testé pour des raisons pratiques. De plus les variables ainsi créées sont corrélées par construction, ce qui entraîne à la fois des problèmes d'estimation mais aussi de sélection de variables. Quelques méthodes alternatives ont été récemment proposées pour estimer l'influence du paysage en utilisant l'information spatiale de manière plus explicite telles que celle de Chandler *et al.* 2016, de Walsh *et al.*, 2014 ou de Miguet *et al.*, 2016.

Néanmoins ces nouvelles approches sont difficiles à mettre en œuvre car elles nécessitent des développements informatiques. Le package SILand est développé sous l'environnement R. Il s'adresse à la communauté des écologues pour l'étude des observations géolocalisées associées à une description du paysage (format shapefile) en s'appuyant en parti sur la modélisation proposée par Chandler *et al.* Différents types d'observations (continue, comptage, présence/absence) peuvent être analysés, et il permet la prise en compte d'effets fixes et aléatoires. Il fournit l'estimation des effets des variables locales et les paramètres des fonctions qui décrivent l'influence des variables paysagères. Le package SILand donne le résultat de tests d'hypothèses pour les variables locales et paysagères, des cartes représentant les effets du paysage ainsi que le critère AIC pour la comparaison de modèles. Les fonctionnalités du package son illustrées par une étude sur le carpocapse du pommier avec un paysage composé de vergers conventionnels et biologiques.

Références

Chandler, R., & Hepinstall-Cymerman, J. (2016). Estimating the spatial scales of landscape effects on abundance. *Landscape Ecology*, 31(6), 1383-1394.

Walsh, C.J. & Webb, J.A. (2014). Spatial weighting of land use and temporal weighting of antecedent discharge improves prediction of stream condition. *Landscape Ecology*, 29, 1171-1185

Miguet, P., Jackson, H.B., Jackson, N.D., Martin, A.E., Fahrig, L. (2016) What determines the spatial extent of landscape effects on species? *Landscape Ecology* 31:1177-1194

Exploration par simulation de processus abiotiques en interaction avec la végétation dans les fossés agricoles à l'échelle du paysage

[Rudi G.](#)^{1*}, [Bailly J.-S.](#)², [Belaud G.](#)³, [Bruchou C.](#)⁴, [Dagès C.](#)⁵, [Lagacherie, P.](#)⁵, [Vinatier F.](#)⁵

¹ SupAgro, UMR LISAH (INRA, IRD, SupAgro), 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

² AgroParisTech, UMR LISAH (INRA, IRD, SupAgro), 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

³ SupAgro, UMR G-EAU, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

⁴ INRA, UMR BioSP, Domaine St. Paul, Site Agroparc, Avignon Cedex 9, 84914, France

⁵ INRA, UMR LISAH (INRA, IRD, SupAgro), 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

gabrielle.rudi@supagro.fr

Mots clés

Simulation spatio-temporelle, écohydrologie, flux abiotiques, couplage, analyse de sensibilité

Résumé

Étudier les bouquets de services fournis par les paysages agricoles nécessite d'intégrer des connaissances venant de disciplines différentes dans un cadre commun. Parmi les éléments du paysage, les fossés agricoles méditerranéens sont un cas d'étude intéressant car ils mêlent des flux abiotiques et biotiques en interrelation. En effet, initialement créés pour drainer les eaux de ruissellements lors des épisodes pluvieux intenses et pour limiter l'érosion, ces fossés participent au transport d'éléments solides dans les paysages, mais également au transport de diaspores végétales par hydrochorie. De plus, ces excavations du sol fournissent des conditions micro-climatiques particulières liées à l'établissement d'une communauté végétale spécifique, cette dernière modifiant physiquement les transferts latéraux et horizontaux des flux abiotiques dans les bassins versants. Ces dynamiques de végétation sont modifiées dans le temps et dans l'espace par diverses pratiques agricoles. La question que l'on souhaite traiter est : Comment, via les pratiques d'entretien de la végétation des réseaux de fossés, peut-on influencer les processus hydro-écologiques impliqués dans la fourniture de services et de disservices ? Et plus spécifiquement, comment la distribution spatiale d'une végétation aux propriétés hétérogènes influence-t-elle les flux abiotiques à l'échelle du réseau ?

Il s'agit ici, à partir de la bibliographie, de présenter les interactions entre flux abiotiques et végétation dans un réseau de fossés méditerranéens. Nous illustrons ces interactions dans un schéma conceptuel pour identifier les propriétés clefs du système et montrons quels sont les manques actuels de connaissance pour traduire ces interactions en équations. L'analyse bibliographique a révélé que les propriétés clefs identifiées dans les processus biotiques et abiotiques sont généralement définies au niveau du bief avec des conséquences à l'échelle du bassin versant. Ces propriétés-clefs sont en particulier le coefficient de rugosité induit par la végétation sur les écoulements, le coefficient d'infiltration lié aux systèmes racinaires des plantes, et le coefficient d'interception induit par les différentes architectures de végétation.

Suite à une série d'expérimentations in situ ciblées pour mieux caractériser les liens entre pratiques d'entretien des fossés, végétation et flux abiotiques, ces propriétés clefs ont fait l'objet d'expérimentations numériques (analyse de sensibilité sur simulateur numérique) pour étudier l'impact de leur variabilité spatiale sur les flux abiotiques.

Modélisation des dépôts atmosphériques d'ammoniac dans les territoires à partir de typologies paysagères

Azouz N. ¹ ; [Drouet J.-L.](#) ^{1*} ; Beekmann M. ² ; Siour G. ² ; Lazrak E.-G. ³ ; Puech T. ³ ; Mignolet C. ³ ; Cellier P. ¹

¹INRA, UMR 1402 ECOSYS Ecologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes, Thiverval-Grignon,

²CNRS, UMR 7583 LISA Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, Créteil

³INRA, UR 0055 ASTER Agro-Systèmes Territoires Ressources, Mirecourt

jean-louis.drouet@inra.fr

Mots clés

Ammoniac, dépôt atmosphérique, modèle, changement d'échelle, typologies paysagères

Résumé

Les activités agricoles sont les principales sources d'ammoniac (NH₃) émis dans l'atmosphère (706 kton/an, CITEPA, 2016). Les fortes concentrations et les taux élevés de dépôts de NH₃ sur le sol et la végétation peuvent avoir un impact sur les écosystèmes sensibles situés à proximité des zones d'émissions. La grande variabilité spatiale des flux de NH₃ rend difficile la production de cartes de dépôts de NH₃ sur des échelles spatiales larges sans utiliser un grand nombre de mesures ou des modèles à haute résolution spatiale. Les impacts environnementaux des flux de NH₃ sur les écosystèmes peuvent varier selon le modèle de dispersion, de transfert et de dépôt utilisé.

Nous avons comparé un modèle (OPS-ST, Sauter *et al.*, 2015) permettant de simuler les pertes de NH₃ à l'échelle locale (paysage de quelques km² représenté par des mailles de quelques dizaines de mètres de côté) avec un modèle (CHIMERE, Menut *et al.*, 2014) fonctionnant à l'échelle régionale (paysage de quelques milliers de km² représenté par des mailles de quelques kilomètres de côté). Deux cas d'étude ont été construits pour comparer le comportement des deux modèles : le premier cas était complètement théorique et idéalisé et le second était adapté des typologies paysagères établies sur l'un des territoires mobilisés dans le projet ESCAPADE, le Blavet (2029 km²) en Bretagne, caractérisé par des élevages intensifs (Lazrak *et al.*, 2014). Des scénarios ont été créés pour ces deux cas d'étude en modifiant la résolution spatiale des modèles (*i.e.* tailles des mailles), les conditions météorologiques, la localisation et l'intensité des émissions par les bâtiments d'élevage, ainsi que les occupations des sols des zones agricoles (*e.g.* parcelles cultivées) et semi-naturelles (*e.g.* forêts, prairies permanentes).

Les résultats montrent que les dépôts moyens de NH₃ simulés par chacun des deux modèles sont relativement similaires pour un scénario donné. En revanche, les différences de structure des deux modèles (*i.e.* hypothèses, formalismes), de résolution spatiale, de distribution spatiale des émissions et des occupations des sols ont généré des différences importantes dans les prédictions des concentrations et des dépôts spatialisés de NH₃. Il en résulte des distributions spatiales des dépassements de charges critiques en NH₃ très différentes entre les deux modèles. Ces résultats mettent en évidence de manière quantitative que les modèles régionaux utilisant des mailles de grande taille ne permettent pas de détecter les dépassements de charges critiques en NH₃, en particulier dans les territoires avec des hot-spots d'émission de fortes intensités. Une des perspectives est d'intégrer les connaissances acquises avec les modèles fonctionnant à l'échelle locale dans les modèles régionaux.

Références

- Lazrak EG, Mari JF, Passy P, Barataud F, Mignolet C, 2014. Conception d'une typologie fonctionnelle des paysages pour la modélisation territoriale des flux hydriques et atmosphériques de l'azote. Colloque PAYOTE, 16-17/09/2014, Paris.
- Menut L, Bessagnet B, Khvorostyanov D, Beekmann M, Blond N, Colette A, Coll I, Curci G, Foret G, Hodzic A, Mailler S, Meleux F, Monge JL, Pison I, Siour G, Turquety S, Valari M, Vautard R, Vivanco MG, 2014. CHIMERE 2013: a model for regional atmospheric composition modelling. *Geoscientific Model Development*, 6(4), 981-1028.
- Sauter F, van Jaarsveld H, Van Zanten M, van der Swaluw E, Aben J, de Leeuw F, 2015. The OPS-model. Description of OPS 4.4.4. RIVM Report, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands. 113 pp. www.rivm.nl/media/ops/v4.4.4/OPS-model-v4.4.4.pdf.

Analyse conjointe de la structure des sous bassins-versants du Haut-Loir et de l'azote dans le réseau hydrographique.

[Pasquier C.](#)^{1*}, [Grossel A.](#)¹, [Bourennane H.](#)¹, [Billen G.](#)², [Hénault C.](#)¹

¹ INRA, UR Science du sol, Centre de recherche d'Orléans, CS 40001 Ardon, 45075 Orléans cedex

² CNRS, UMR 7619 METIS Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols, Paris

Mots clés

HYDROGES, nitrate, bassin versant

Résumé

L'agriculture participe aux émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique (GES), notamment par la production d'oxyde nitreux (N₂O) par les sols. Ce GES se caractérise par un très fort pouvoir de réchauffement. Les émissions de N₂O peuvent être directes (produites et émises par les sols) ou indirectes (émises par le réseau hydrologique). D'après le dernier inventaire des émissions de GES en France, réalisé par le CITEPA (CITEPA, 2014), les émissions indirectes de N₂O sont un poste quantitativement important dans cet inventaire, présentant toutefois les plus fortes incertitudes quantitatives notamment en raison du faible nombre de mesures de ce type d'émissions qui apparaissent néanmoins très variables (Turner et al., 2015 ; Grossel et al., 2016).

Que ce soit dans l'eau ou dans les sols, le N₂O est principalement produit lors du fonctionnement des processus de nitrification et dénitrification, respectivement à partir d'azote sous forme NH₄⁺ (ammonium) et sous forme nitrique NO₃⁻ (nitrate) ou NO₂⁻ (nitrite).

Dans le cadre du projet HYDROGES (financement ADEME) qui étudie les composantes hydrologiques des émissions terrestres du gaz à effet de serre N₂O, nous nous intéressons à la circulation de l'azote dans le réseau hydrologique du Haut-Loir. Un territoire de 3420 km² composé de 15 sous bassins-versants a été délimité.

L'étude utilise plusieurs bases de données (IGN, AGRESTE, RPG, RRP) pour accéder aux caractéristiques du milieu ainsi que la base de données OSUR présentant les teneurs en azote dissous de l'eau aux exutoires. L'ensemble de ces données est exploité sur SIG et à l'aide de techniques statistiques. Nous étudions ainsi l'éventuelle structuration spatiale de l'azote dissous dans les eaux aux exutoires de ces 15 sous bassins versant, en lien avec les propriétés physiques du milieu, les conditions climatiques et les activités humaines, principalement agricoles dans cette région.

Il s'agira ensuite d'enrichir cette base de données de teneur en N₂O dissous (proxy des émissions indirectes de N₂O) pour étudier les liens déterministes et les liens spatiaux entre les différentes formes d'azote et les conditions de milieu.

Références

Grossel, A., Nicoulaud, B., Bourennane, H., Lacoste, M., Guimbaud, C., Robert, C., Hénault, C. 2016. The effect of tile-drainage on nitrous oxide emissions from soils and drainage streams in a cropped landscape in Central France Agriculture, Ecosystems and Environment, 2016, 230, 251-260.

CITEPA, 2014. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – format SECTEN.

Turner P., Griffis T.J., Lee X., Baker, J., Venterea R.T., Wood J. 2015. Indirect nitrous oxide emissions from streams within the US Corn Belt Scale with stream order. PNAS. 112: 9839-9843.

Modélisation du fonctionnement agrohydrologique des retenues dans un territoire agricole

[Lebon N.](#)¹, [Leenhardt, D.](#)^{2*}, [Molénat J.](#)¹, [Chataigner C.](#)¹, [Dagès C.](#)¹, [Fabre J.-C.](#)¹, [Lardy R.](#)⁵, [Murgue C.](#)⁴, [Therond O.](#)³, [Zadonina E.](#)¹

¹ INRA, UMR INRA-IRD-SupAgro LISAH, Montpellier

² INRA, UMR INRA-INPT AGIR, Toulouse

³ INRA, UMR INRA-Université de Lorraine LAE, Colmar

⁴ CACG, Toulouse

⁵ ARVALIS - Institut du Végétal - Service Agronomie Economie Environnement
delphine.burger-leenhardt@inra.fr

Mots clés

Retenues, hydrologie, système de culture

Résumé

Les retenues sont des petits barrages construits dans les paysages agricoles pour retenir et stocker l'eau de ruissellement et des rivières. Les retenues, et notamment les retenues collinaires, sont une solution pour stocker l'eau en prévision des périodes de sécheresse dans les bassins versants agricoles. Le recours aux retenues d'eau revêt des enjeux environnementaux, relatifs notamment à l'impact des retenues sur le cycle hydrologique et le débit des rivières, et également des enjeux de gestion de l'eau relatifs à l'optimisation de l'usage de l'ensemble des ressources (rivière, nappe, retenue, ...). La modélisation agro-hydrologique est une approche répondant à ces enjeux.

Modéliser le fonctionnement d'un paysage incluant des retenues à usage agricole nécessite cependant un choix de représentation spatiale des relations entre i) le fonctionnement dynamique de la ressource eau dans la « retenue », ii) le fonctionnement hydrologique du paysage et de ses composantes biophysiques (sol, cours d'eau, aquifère), et iii) le fonctionnement agronomique du paysage, notamment l'organisation spatiale des systèmes de culture, et en fonction des modes de gestion des retenues (intensité, calendrier et localisation des zones de prélèvements et de lâchers). De ce point de vue, les modèles agrohydrologiques mobilisés dans les études d'impact des retenues se caractérisent par deux limites. La première limite porte sur la relation retenue-fonctionnement agronomique, les modèles prenant peu en compte les pratiques de prélèvements dans les retenues, les pratiques d'irrigation des cultures alimentées à partir de ces retenues ainsi que les distributions spatiales de celles-ci au sein du bassin d'alimentation de la retenue. La seconde limite porte sur la relation retenue-fonctionnement hydrologique du paysage, la représentation de la connexion des retenues avec les composantes biophysiques étant souvent très simplifiée sans que la pertinence de ces simplifications n'ait été analysée.

Le projet « Retenue », soutenu par l'Agence Française de la Biodiversité, a pour objectif d'étudier ces modes de représentation, en analysant, sur la base d'un cas d'étude (bassin de l'Arrats – 600 km²), l'intérêt et les limites dans la modélisation agrohydrologique des choix de représentation spatiale des retenues en relation avec le fonctionnement hydrologique et agronomique des paysages agricoles. Cette analyse repose sur une comparaison de simulations réalisées avec deux modèles agro-hydrologiques, celui de la plateforme MAELIA et celui développé sous OpenFLUID. Une des différences entre ces modélisations est la représentation des chemins de l'eau entre les parcelles, les retenues et les rivières : représentation spatialement explicite pour le modèle développé sous OpenFLUID .vs. représentation statistique (sans prise en compte de la localisation spatiale des cultures) au sein des impluviums de retenues sous MAELIA.

Modélisation intégrée du devenir des pesticides dans les paysages agricoles

Voltz M.¹, Bedos C.², Fabre J.-C.¹, Loubet B.², Chataigner M.¹, Bankwal P.², Barriuso E.², Benoit P.², Brunet Y.³, Casellas E.⁴, Chabrier P.⁴, Chambon C.², Crevoisier D.¹, Dagès C.¹, Douzals J.P.⁵, Drouet J.L.², Lafolie F.⁶, Mamy L.², Moitrier N.⁶, Personne E.², Pot V.², Raynal H.⁴, Ruelle B.⁵, Samouelian A.¹, Saudreau M.⁷

¹ INRA, UMR LISAH, INRA, IRD, SupAgro, Montpellier, France

² INRA, UMR ECOSYS INRA, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Thiverval-Grignon, France.

³ INRA, UMR ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRA, Bordeaux, France

⁴ INRA, UR Mathématiques et Informatique Appliquées, Toulouse, France

⁵ IRSTEA, UMR ITAP IRSTEA, SupAgro, Montpellier, France

⁶ UMR EMMAH, INRA, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon, France

⁷ INRA, UMR PIAF, INRA, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France

Mots clés

Pesticides, modélisation spatio-temporelle, dynamique, transfert, paysage

Résumé

L'utilisation des pesticides en agriculture entraîne une contamination de la plupart des compartiments des écosystèmes (sol, eau, air) comme en témoignent les différents monitoring mis en place. Pour estimer le risque de contamination de ces compartiments et identifier les moyens de limiter cette contamination, il est nécessaire de développer une approche de modélisation qui décrive complètement les dynamiques et les voies de transfert des pesticides depuis l'échelle de la parcelle jusqu'à l'échelle du paysage, intégrant l'ensemble des compartiments. Jusque-là, le plus souvent, les approches de modélisation sont partielles car se focalisant chacune sur des dynamiques et compartiments spécifiques comme la dispersion atmosphérique d'une part, le transport par ruissellement de surface d'autre part ou encore la percolation vers les nappes souterraines.

Cette communication présente un projet collaboratif pour la modélisation du devenir des pesticides qui rassemble six unités de recherche, soit une vingtaine de chercheurs et ingénieurs, pour développer un modèle intégré du devenir des pesticides à l'échelle du paysage. Ce modèle intégré permettra de prédire les concentrations en pesticides dans le sol, l'eau et l'air ainsi que les échanges dans et entre les différents compartiments sous l'influence conjointe de l'organisation spatio-temporelle des paysages et des pratiques agricoles à l'échelle d'un bassin versant.

Le principe fondamental de cette démarche collaborative n'est pas de développer un nouveau modèle mais de réutiliser les approches de modélisation déjà développées dans chaque groupe de recherche et de les coupler via des plateformes de modélisation et simulation conçues pour faciliter la modélisation des agroenvironnements (plateformes OpenFLUID, SolVirtuel et RECORD). Cette communication présente alors les principes de la modélisation intégrée des pesticides à l'échelle du paysage qui est actuellement en cours de développement, et plus particulièrement les choix retenus pour i) la représentation spatiale des paysages agricoles (objets spatiaux, propriétés et connectivité spatiale), ii) les principaux processus considérés (distribution entre sol, culture et atmosphère ; transferts dans le sol et à la surface ; équilibres physico-chimiques ; émission vers l'atmosphère par volatilisation et dérive ; dispersion atmosphérique de la fraction volatile ; déposition gazeuse ; ...) et iii) leur couplage spatio-temporel. Un des enjeux clés est de réussir le couplage à l'échelle du paysage de la modélisation de la dispersion atmosphérique avec la modélisation mise en œuvre pour la modélisation des processus hydrologiques, et de représenter les échanges à l'interface surface/atmosphère à cette échelle. Les premiers résultats obtenus sur un bassin-versant viticole seront présentés.

Modéliser les dynamiques spatiales : démonstrateur de la plateforme Ocelet

[Jahel C.](#)¹, [Castets M.](#)¹, [Degenne P.](#)¹, [Lo Seen D.](#)^{1*}

¹ UMR TETIS, CIRAD, Montpellier
danny.lo_seen@cirad.fr

Mots clés

Ocelet, modélisation spatiale, graphes d'interaction

Résumé

La modélisation spatiale, essentielle à la compréhension de nombreux processus, soulève de nombreuses questions d'ordre informatique (manipulation conjointe de rasters et de shapefiles, changement de formes, poids souvent important des fichiers utilisés...) ou concernant la représentation d'un système spatialisé (interactions et rétroactions entre les éléments spatiaux, passage d'une échelle à l'autre, intégration de plusieurs disciplines...). Ces problématiques nous ont amenés à proposer une approche de modélisation de dynamiques spatiales en développant le langage métier (Degenne et al, 2009) et la plateforme de modélisation (Degenne et Lo Seen, 2016) Ocelet. Ocelet est basé sur l'utilisation de graphes d'interactions reproduisant le système à modéliser. Le principe d'Ocelet consiste à fonder la réflexion sur les interactions entre éléments d'un système, ou entités. Les entités sont représentées par les nœuds du graphe et sont reliées entre elles par des arêtes. Chaque arête porte des fonctions dites d'interaction. Le système à modéliser est alors vu comme un ensemble d'entités se partageant une partie de l'espace et interagissant les unes avec les autres, l'évolution du système étant le résultat de ces interactions. Un concept appelé datafacier a été inclus pour permettre la manipulation facilitée des données au format vecteur, raster ou encore de faire le lien avec une base de données. Les données spatialisées peuvent ainsi être transcrites en entités, et de la même manière, les résultats des simulations peuvent être exportés sous différents formats de données.

Nous présenterons tout d'abord trois exemples de modèles développés avec la plateforme Ocelet qui illustrent son utilisation possible dans différents domaines : la modélisation de la dynamique côtière d'écosystèmes de mangroves, la modélisation spatiale des dynamiques paysagères au Burkina Faso et l'utilisation d'Ocelet pour spatialiser un modèle de culture sur toute l'Afrique de l'Ouest. Nous aborderons ensuite les concepts clés d'Ocelet, entités, relation, scénario et datafacier. Nous finirons enfin par une démonstration de son utilisation.

Dynamiques d'intensification durable des systèmes territoriaux : quatre cas d'étude en Europe

[Polge E.^{1*}](#), [Debolini M.¹](#)

¹ INRA, UMR EMMAH, Avignon,
etienne.polge@inra.fr

Mots clés

Systèmes territoriaux (Land systems), intensification durable, dynamiques territoriales, facteurs déterminants, mode d'organisation

Résumé (~400 mots)

La notion d'intensification durable a connu un intérêt croissant ces dernières années. Pourtant sa définition reste floue et les moyens pour augmenter ou maintenir la production agricole tout en améliorant sa contribution au développement durable dépendent fortement du contexte et de l'échelle considérée. L'intensification durable peut alors être appréhendée comme un processus offrant la possibilité d'évaluer les changements au sein des systèmes agraires et plus largement au sein des paysages. Il s'agit de prendre en compte à la fois le développement agronomique, l'usage efficient des ressources, l'attribution de l'usage des terres et l'intégration régionale des systèmes agricoles (Weltin et al., 2017). Dans cette perspective, le projet européen FACCE-JPI VITAL (Viable InTensification of Agricultural production through sustainable Landscape transition) dans lequel vise à élaborer des méthodes d'analyse des dynamiques des systèmes agricoles européens vers l'intensification durable. Quatre cas d'étude européens marqués par des processus d'intensification durable contrastés ont été choisis: le département de Vaucluse, la région viticole autour de Valence (Espagne), Rhinluch (Brandenburg, Allemagne) et Kromme Rijn (Utrecht, Pays Bas). L'objectif spécifique de notre travail est ici d'identifier une série d'indicateurs qui puissent caractériser ces processus et qui nous permettent d'analyser les facteurs qui les déterminent à l'échelle des systèmes territoriaux (land systems). Des indicateurs simples (usage du sol, type de sol, topographie etc.) permettent dans un premier temps de définir les périmètres des paysages en fonction de leur homogénéité puis, dans un second temps, ceux-ci sont classés selon leur trajectoire d'intensification durable en fonction des pratiques agricoles (rendements, usage des intrants, rotations, etc.) et en fonction de leurs retombées sur le territoire (valeur ajoutée du secteur agro-alimentaire, état des cours d'eau, etc.). Dans un troisième temps les facteurs anthropiques déterminants ces trajectoires sont identifiées en distinguant ceux qui ont un caractère exogène au territoire de ceux qui ont un caractère endogène et qui peuvent être appréhendés par les acteurs locaux (Polge et al., 2015). Nous portons une attention particulière aux modes d'organisation, aux dispositifs institutionnels déployés et aux mesures concrètes appliquées. En effet les initiatives des acteurs dans le cadre dispositifs tels que des organisations de producteurs (associations, coopératives), des réserves (natura 2000, réserves biologiques, parc nationaux) ou des intercommunalités de type Pays ou Parc Naturel Régional peuvent jouer un rôle fondamental sur la capacité qu'ont les acteurs à gérer l'usage du territoire et à favoriser les processus d'intensification durable. En intégrant ce type de données à la modélisation des paysages et des territoires, nous cherchons à élargir le champ de l'analyse des systèmes territoriaux (analyse spatiale et temporelle) afin d'enrichir le dialogue entre recherche et acteurs autour de la gestion des territoires et des nouvelles perspectives d'action dans le cadre des politiques de gouvernance foncière et territoriale (Debolini et al. 2015).

Références

- Debolini, M., Valette, E., Francois, M., & Chéry, J. P. (2015). Mapping land use competition in the rural–urban fringe and future perspectives on land policies: A case study of Meknès (Morocco). *Land Use Policy*, 47, 373-381.
- Polge E., Pocard-Chapuis R., Piraux M., 2015. Territoires émergents d'Amazonie : analyse comparée des dynamiques territoriales dans le Baixo Amazonas et le Nordeste Paraense. *Confins – revue franco-brésilienne de géographie* 24 [en ligne].
- Weltin M., Zasada I., Piorr A., Debolini M., Geniaux G., Moreno Perez O., Scherer L., Tudela Marco L., Schulp C. Conceptualising Fields of Action for Sustainable Intensification – A Systematic Literature Review and Application to Regional Case Studies. Working paper.

Caractérisation de la distribution spatiale de déterminants biophysiques de services écosystémiques à l'échelle régionale

[Attia F.](#)^{1*}, [Mignolet C.](#)¹, [Thérond O.](#)², [Michel N.](#)², [Wohlfahrt J.](#)¹

¹ INRA, SAD-ASTER Mirecourt

² INRA, UMR 1121 Laboratoire Agronomie et Environnement, Vandœuvre-lès-Nancy
felix.attia@inra.fr

Mots clés

Services écosystémiques, paysages, territoires, évaluation, grande région, diversité

Résumé

L'évaluation des services écosystémiques (SEs) à résolution spatiale fine est souvent réalisée sur de faibles à moyennes étendues (échelles « méso » et « micro »). On recense encore peu ce type d'études d'évaluation fine sur de grandes étendues. Ces études à large échelle, prenant en compte une diversité de SEs permettraient des analyses des bouquets de services et des analyses multi-échelles identifiant les différences et complémentarités entre les SEs (Englund et al., 17).

Nous proposons de présenter un travail préparatoire à une évaluation de SEs à grain fin et large étendu, soit la caractérisation spatialisée de déterminants potentiels de services liés à la biodiversité faunistique et floristique (p.e. : pollinisation, contrôle des ravageurs). Notre étude est centrée sur deux ensembles de déterminants biophysiques que nous cherchons à évaluer de manière spatialement explicite à l'échelle de la Région Grand-Est (57 433 km²) : la diversité cultivée (agro-diversité) et l'organisation de la mosaïque paysagère. Dans un premier temps, chacun de ces déterminants a été évalué séparément. L'agro-diversité a été caractérisée via l'analyse des séquences de cultures reconstituées à partir du traitement des Registres Parcellaires Graphiques de 2008 à 2014 (Leenhardt, Therond et Mignolet, 2012). La diversité de chaque séquence de cultures a été évaluée. Les résultats ont ensuite été spatialisés au grain de l'ilot agricole. L'organisation du paysage a été caractérisée via le calcul de plusieurs métriques (p.e. longueur des linéaires de haies, indices de diversité et d'équitabilité de Shannon) à deux grains spatiaux : le grain régulier d'une maille hexagonale d'un km² et le grain de la commune correspondant au territoire d'organisation et d'action d'une collectivité locale.

Dans un second temps, nous avons analysé les relations entre ces deux ensembles d'indicateurs en prenant en compte leurs distributions spatiales respectives avec des méthodes d'analyse spatiale (p.e. clustering).

Cette communication s'inscrit dans le cadre du projet PSDR ASTRAL (INRA – Région Grand-Est) qui vise à cartographier et évaluer les services écosystémiques dans la région Grand Est.

Références

- Englund, O., G. Berndes and C. Cederberg (2017). "How to analyse ecosystem services in landscapes—A systematic review." *Ecological Indicators* 73: 492-504.
- Leenhardt, D., Therond, O., Mignolet, C., (2012). "Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ?" *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2 (6): 77-90.

Evaluation et cartographie des services écosystémiques des sols à l'échelle du paysage

[Ellili Y.](#)^{1,2*}, [Walter C.](#)^{1,2}, [Michot D.](#)^{1,2}, [Lemerancier B.](#)²

¹ INRA, UMR 1069, SAS, Rennes

² Agrocampus-Ouest, Rennes
yosra.ellili@inra.fr

Mots clés

Evaluation biophysique, sol, services écosystémiques, mesures directes, modélisation, cartographie

Résumé

Le sol est une ressource essentielle rendant plusieurs services écosystémiques (SE) assurant le bien être humain et son développement économique. L'échelle du paysage est considérée comme une échelle spatiale pertinente pour traiter les problématiques agronomiques et environnementales en prenant en compte les interactions entre les processus biophysiques sous-jacents et les processus anthropiques. L'intérêt de l'échelle du paysage est reconnu dans l'évaluation des SE des sols car elle permet la prise en considération des caractéristiques du milieu et les aménagements du territoire. L'objectif de cette étude vise à évaluer et cartographier deux SE des sols : la régulation du climat via la séquestration du carbone et la régulation de l'érosion. A cette fin, le site de Pleine-Fougères (10 km²) au sein de la ZA "Armorique" a été retenu. Au total 64 points ont été choisis par la méthode hypercube latin conditionné en mobilisant 4 variables auxiliaires : l'altitude, un indice d'hydromorphie des sols climatotopographique, les émissions naturelles de potassium et la fréquence d'occupation du sol en prairies. La quantification biophysique du SE de régulation du climat est réalisée par l'intermédiaire d'un indicateur caractérisant la variation des stocks de carbone dans les sols sur une période de 7 ans. La quantification du SE de régulation de l'érosion est assurée par un indicateur caractérisant la différence entre l'érosion potentielle et l'érosion réelle, les deux estimés par la modélisation RUSLE. La représentation spatiale du SE de régulation du climat est assurée par une approche de cartographie numérique au moyen d'une forêt d'arbres de régression (RandomForest). Les incertitudes dérivées sont estimées par la méthode de propagation des erreurs Monte Carlo. Les principaux résultats obtenus montrent que : 1) sur l'ensemble du site d'étude, la fourniture moyenne du service de régulation du climat est estimée à $0,9 \pm 0,18$ t\ha\an et celui de régulation de l'érosion est équivalente à 10 t\ha\an 2) les propriétés inhérentes des sols telles que l'hydromorphie et le type du sol sont les facteurs principaux expliquant la distribution spatiale du service de régulation du climat ; 3) la régulation de l'érosion est fortement corrélée aux aménagements antiérosifs du milieu et aux facteurs topographiques ; 4) les interactions entre les services écosystémiques étudiés (situations de synergie et d'antagonisme) sont principalement dépendantes des caractéristiques du milieu naturel et de l'occupation du sol. Pour l'essentiel, les résultats obtenus ont permis de caractériser les grandes structures paysagères du site mais les unités de gestion ou les parcellaires ont disparu.

Références

- Adhikari, K., and Hartemink, A.E. (2016). Linking soils to ecosystem services. A global review. *Geoderma* 262, 101–111.
- Calzolari, C., Ungaro, F., Filippi, N., Guermandi, M., Malucelli, F., Marchi, N., Staffilani, F., and Tarocco, P. (2016). A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. *Geoderma* 261, 190–203.
- Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais-Hesse, A., and Schwartz, C. (2015). Les services écosystémiques des sols: du concept à sa valorisation. *Agriculture et Foncier-Concurrences entre Usages Des Sols et Entre Usagers Des Sols Agricoles: La Question Foncière Renouvelée* 51–68.

Modélisation du mouvement des chevreuils dans un paysage bocager simulé : premiers résultats, projets

[Parisey N.](#)¹, [Palerme M.](#)¹, [Goulard M.](#)², [Leclerc M.](#)¹, [Morellet N.](#)³, [Hoch T.](#)^{4*}

¹ INRA, Domaine de la Motte, BP 35327, 35653 Le Rheu cedex, France

² INRA, UMR Dynafor, Chemin de Borde Rouge, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex

³ INRA, UR CEFS, Chemin de Borde Rouge, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex

⁴ INRA, UMR BIOEPAR, Oniris, Site de la Chantrerie, CS40706, 44307 Nantes Cedex

thierry.hoch@inra.fr

Mots clés

Paysage, mouvement, chevreuil, EDS, tiques

Résumé

Les tiques, dont *Ixodes ricinus*, espèce la plus répandue en Europe, sont vecteurs de nombreux agents pathogènes, protozoaires, bactéries ou virus, qui peuvent être responsables de maladies touchant l'Homme (Borreliose de Lyme) ou l'animal (babésiose bovine). En vue d'identifier les zones à risque vis-à-vis de ces maladies, il est important de connaître la distribution spatiale des tiques. Cette distribution dépend d'une part des conditions locales de température et d'humidité, d'autre part des mouvements des hôtes des tiques (Estrada-Peña, 2002). Les chevreuils sont notamment reconnus pour influencer fortement la densité de tiques (Ruiz-Fons et Gilbert 2010) et se déplacer sur de longues distances. Dans le cadre de l'estimation spatiale des risques, il est nécessaire de disposer d'un modèle de déplacement des hôtes en fonction des caractéristiques du paysage, dont le développement n'a pas été réalisé à ce jour.

Dans un premier temps, une approche théorique a été privilégiée. Un modèle du paysage a été développé via une tessellation de Voronoï et un processus de marquage. Au sein de ce paysage modélisé, le mouvement du chevreuil est modélisé par des équations différentielles stochastiques. Ce mouvement se décompose donc en deux termes : un de dérive, qui dépend d'une fonction de potentiel reliée aux différents habitats qui composent le paysage, et un terme de diffusion. A partir d'une première fonction potentielle, il est donc possible de simuler le déplacement d'un individu dans un paysage modélisé.

Les développements actuels visent dans un premier temps à tester différentes fonctions de potentiel en fonction de nos connaissances sur le comportement du chevreuil. L'étape suivante consistera à développer des méthodes d'inférence afin d'estimer les paramètres à partir de données simulées ou observées. Par la suite le prototype obtenu pourra être utilisé pour tester l'influence des caractéristiques du paysage sur le mouvement des chevreuils. Enfin, un couplage avec un modèle de dynamique de population de tiques (Hoch et al, 2010) fournira des aires de répartition simulées des vecteurs.

La parcelle comme un paysage pour la prospection des ennemis naturels : modélisation de l'effet de l'organisation spatiale intra-parcellaire sur la lutte biologique par conservation

[Collard B.](#)^{1*} ; [Delattre T.](#)¹ ; [Carval. D.](#)² ; [Lavigne C.](#)¹ ; [Tixier P.](#)²

¹ INRA, UR PSH, Avignon

² CIRAD, UPR GECO, Montpellier

blanche.collard@inra.fr

Mots clés

Organisation spatiale, lutte biologique, ennemis naturels, comportement de prospection, model individu centré.

Résumé

L'utilisation d'ennemis naturels pour la lutte contre les nuisibles des cultures se heurte encore à de nombreuses difficultés incluant notamment l'effet de l'organisation de la diversité végétale (Begg *et al.*, 2017). Ces dernières décennies, de nombreux scientifiques s'y sont intéressés, en particulier les écologues du paysage qui ont cherché savoir comment la structuration d'habitats non cultivés dans le paysage ou à proximité des parcelles pouvait affecter les populations d'ennemis naturels. A cette occasion, un grand nombre de notions, telles que la connectivité ou l'agrégation, ainsi que leurs métriques associées, ont été identifiés pour décrire les structures des éléments du paysage (Wang *et al.*, 2014). Cependant, à des échelles plus fines, au sein de la culture par exemple, la démarche a souvent été différente et seuls des schémas de diversification ont été regardés. On peut se demander donc comment l'organisation spatiale d'habitats alternatifs à une échelle plus fine peut influencer la régulation via des ennemis naturels, en s'aidant des outils – concepts et métriques – développés à plus large échelle.

Pour cela, nous avons développé un modèle individu centré spatialement explicite, où des prédateurs arthropodes se déplacent à l'intérieur d'une parcelle en fonction de la qualité des habitats, favorables ou défavorables, qu'ils rencontrent. Le mouvement des prédateurs est représenté par une marche aléatoire corrélée qui est en moyenne plus lente et sinueuse dans les habitats favorables. Un effet des bordures est également considéré par l'intermédiaire d'une probabilité plus faible de passer d'un milieu favorable à un milieu défavorable. L'objectif de ce modèle est de voir 1) quels types de prédateurs arthropodes terrestres pourraient être concernés, selon leur capacité et leurs stratégies de mouvement de prospection et 2) quelles métriques influencent la visite des plantes cultivées par les prédateurs, et donc leur capacité à consommer les nuisibles s'y trouvant.

Nous avons d'abord sélectionné un ensemble de parcelles avec des organisations variées générées aléatoirement de manière à obtenir un gradient pour différentes métriques spatiales : la proportion d'habitats favorables, l'écart type et la distance moyenne des cultures à l'habitat alternatif le plus proche, la longueur d'interface entre les habitats alternatifs et la culture ainsi qu'un indice d'agrégation (Clumpiness). Ensuite, une analyse de sensibilité des paramètres de prospection des prédateurs dans différents habitats et différents niveau de densités de prédateurs a été réalisée à l'aide de la méthode de Morris. Les résultats sont discutées pour le cas particulier du nuisible du bananier *Cosmopolites sordidus*, et en particulier de la durée de présence de ses oeufs sur les pseudo-troncs, stade le plus sensible à la prédation.

Références

- Begg, G.S., Cook, S.M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lovei, G.L., Mansion-Vaquie, A., Pell, J.K., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S.D., Birch, A.N.E., 2017. A functional overview of conservation biological control. *Crop Protect.* 97, 145-158.
- Wang, X., Blanchet, F.G., Koper, N., 2014. Measuring habitat fragmentation: An evaluation of landscape pattern metrics. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 634-646.

Optimisation multi-critères de la structure des paysages pour le contrôle du carpocapse par ses parasitoïdes

[Memmah M.-M.](#)^{1*}, [Franck P.](#)¹, [Lavigne C.](#)¹

¹ INRA, UR 1115 Plantes et Systèmes de culture Horticoles, Avignon
mohamed.memmah@inra.fr

Mots clés

Lutte biologique par conservation, carpocapse, parasitoïdes, modélisation, optimisation multicritère.

Résumé

La lutte biologique par conservation semble être une alternative crédible à la lutte chimique contre certains bio-agresseurs. La lutte biologique par conservation se base sur la biodiversité naturellement présente dans l'agrosystème et par l'aménagement du paysage agricole afin de renforcer le contrôle des ravageurs par leurs ennemis naturels. La conception de scénarios paysagers favorables à la lutte biologique par conservation peut être étudiée par le biais d'une approche assistée par des modèles. Cette démarche de conception consiste à interfacer des modèles agro-écologiques avec des algorithmes d'optimisation multicritère capables de résoudre des problèmes difficiles.

Dans ce travail, nous proposons d'initier cette démarche pour le contrôle biologique du carpocapse de pomme par ses parasitoïdes. L'objectif est de chercher le meilleur compromis entre des performances de régulation biologique du carpocapse par ses parasitoïdes en verger et des performances agronomiques, écologiques et économiques de l'agrosystème. Trois critères de performances ont été considérés : la moyenne du nombre de carpocapses dans les cultures pour minimiser les dégâts à l'échelle du paysage, la moyenne du nombre de parasitoïdes dans les cultures pour favoriser le contrôle biologique par conservation, le maximum que peut atteindre le nombre de carpocapses dans une parcelle cultivée pour minimiser localement les pics de dégâts.

Pour ce faire, on a utilisé un modèle de dynamique de populations en interaction spatialement explicite (Ciss et al., 2016) adapté au carpocapse et à son principal parasitoïde (Maalouly et al., 2013). Le paysage est représenté par une grille carrée. Quatre usages de sols (habitats semi-naturels, matrice, culture biologique, culture conventionnelle) ont été considérés. Le modèle de dynamique des populations a été paramétré selon les dires d'experts pour le couple carpocapse/parasitoïdes. Puis, nous avons couplé ce modèle à un algorithme d'optimisation multi-objectif bien connu le NSGA-II. Ce choix est justifié par la difficulté du problème traité et par l'efficacité avérée de l'algorithme NSGA-II (Deb et al., 2002).

Nous avons simulé 3 situations contrastées de composition et configuration d'usages de sols dans le paysage. Nous avons ainsi simulé une situation sans contrainte, une situation restreinte, et une situation réaliste.

Les résultats de ce travail, encore préliminaires, mettent en évidence des scénarios paysagers intéressants. L'optimisation propose une diversité de paysages équivalents ce qui laisse une assez grande liberté de choix d'aménagement.

Il serait cependant utile de considérer des paysages encore plus réalistes (par. ex. résolution géographique plus fine) et de considérer d'autres couples proies-prédateurs tels que le carpocapse/carabes.

Références

- Ciss, M., Poggi, S., Memmah, M., Franck, P., Gosme, M., Parisey, N., Roques, L. (2016). A model-based approach to assess the effectiveness of pest biocontrol by natural enemies. arXiv:1602.06584.
- Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T (2002) A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6 (2).182-197.
- Maalouly, M., Franck, P., Bouvier, J.-C., Toubon, J.-F. & Lavigne, C. (2013) Codling moth parasitism is affected by semi-natural habitats and agricultural practices at orchard and landscape levels Agriculture, Ecosystems & Environment, 169, 33-42.

Modélisation spatio-temporelle d'un écosystème pastoral synthétique pour tester des hypothèses théoriques

[Guerrin F.](#)^{1*}

¹ INRA, UMR SELMET, Campus International de Baillarguet, F-34 Montpellier
francois.guerrin@inra.fr

Mots clés

Modèle multi-agent, simulation spatio-temporelle, simulation de paysage, mouvement animal, système pastoral.

Résumé

Le modèle présenté sert à simuler les dynamiques spatio-temporelles issues des interactions entre des agents mobiles (des herbivores) et leur environnement (un paysage). Ce modèle met donc en jeu un troupeau et une prairie. Le but du jeu est de trouver un équilibre dynamique entre la consommation d'herbe par les animaux et la croissance de la végétation.

Deux comportements menacent cet équilibre : le surpâturage, pouvant conduire à l'épuisement de la ressource fourragère et la désertification ; le sous-pâturage, pouvant entraîner le développement excessif de la végétation et la fermeture du paysage. Dans les deux cas, le troupeau est menacé de famine voire d'extinction.

Ce modèle ne prétend pas représenter le fonctionnement d'écosystèmes pastoraux spécifiques mais plutôt offrir un écosystème synthétique générique pour tester des hypothèses ou des théories écologiques.

Bien que conçu de façon très simple, ce modèle a été paramétré avec des valeurs réelles (bovins à l'herbe) et implémenté sur la plate-forme de simulation multi-agents NetLogo.

Des simulations ont été réalisées dans un premier temps pour tester des variantes de structure du paysage et du comportement animal :

- distribution spatiale de la végétation et des animaux ;
- comportements alimentaires : se déplacer ou rester sur place, recherche locale ou globale ;
- modes de déplacement des animaux : marches dirigées ou aléatoires ; déplacements longs ou courts ;
- population homogène ou hétérogène en terme de comportement.

Les critères d'évaluation de ces simulations sont les productions animales et végétales, la démographie du troupeau et la fragmentation du paysage. Les stratégies les plus durables sont celles privilégiant l'occupation de l'espace, la recherche locale de nourriture et l'anticipation de l'épuisement de la ressource.

Le modèle a été utilisé pour comparer plusieurs modes de déplacement animal, montrant ainsi leurs conséquences sur la dynamique du système. L'accent est mis à présent sur d'autres utilisations du modèle :

- explorer la complexification de l'écosystème : introduction d'autres niveaux trophiques, percolation de produits dans l'espace, résilience face à des perturbations ;
- tester des hypothèses théoriques telles que : optimal foraging, distribution libre idéal, théorème de la valeur marginale.

Pour cela, un ensemble d'améliorations ont été apportées au modèle ou sont en train de l'être :

- interactions entre agents pour simuler le comportement grégaire des animaux et la propagation de la végétation ;
- éléments de structure du paysage influençant les mouvements animaux (points d'eau, préférence ou aversion pour certains types de végétation) ;
- saisonnalité induisant des différences dans la pousse de la végétation et le comportement animal ;
- introduction d'hétérogénéité dans le troupeau (variations inter-individuelles) et dans le paysage (zones de peuplement végétal différencié) ;
- nouveaux critères et métriques d'évaluation du paysage.

La structure et les fonctionnalités du modèle seront présentées avec des exemples illustrant sa capacité à tester des hypothèses théoriques.

APILand, un outil de gestion concertée des paysages agricoles

[Boussard, H.^{1*}](#), [Dechatre H.¹](#), [Roche B.¹](#), [Pain G.¹](#), [Baudry J.¹](#)

¹ INRA, UMR 0980 BAGAP Biodiversité, AgroEcologie et Aménagement des Paysages, Rennes
hugues.boussard@inra.fr

Mots clés

Boîte à outils logiciels, allocation de cultures, métrique paysagère, transition agro-écologique

Résumé

Depuis 2008, une équipe d'écologues, d'agronomes et d'informaticiens ont travaillé sur la mise en place d'une boîte à outils logiciels utilisable pour des applications variées comme l'évaluation de la trame verte et bleue ou la lutte biologique. APILand est un outil innovant pour mettre en œuvre une démarche de modélisation intégrative du paysage. En articulant différents points de vue disciplinaires dans un cadre commun de représentation, APILand permet de disposer d'un laboratoire virtuel pour tester des scénarios à l'interface entre processus agricoles, objectifs d'aménagement (ex : trame verte et bleue définie au niveau des collectivités) et processus écologiques.

APILand permet de simuler et d'analyser des paysages agricoles et leurs processus agro-environnementaux. Elle comprend notamment :

1. une méta-représentation du paysage : ie. une structure de données générique qui prend en compte trois dimensions essentielles pour coupler processus agricoles et environnementaux dans les paysages, l'espace, le temps et la perception.
2. un logiciel de cartographie Chloé qui est un outil d'analyse de la structure paysagère qui calcule des métriques paysagères.
3. et un modèle d'allocations de couverts agricoles sous contraintes agronomiques, nommé CAPFarm.

Fort des projets de recherche dans lesquels il a été mobilisé (Agriconnect, Tramix, Gester), APILand est aujourd'hui suffisamment mûr pour s'orienter vers un outil d'aide à l'action et notamment dans le cadre de la transition agro-écologique.

Une méthode de modélisation d'accompagnement est en cours de construction autour d'APILand pour permettre à un collectif d'agriculteurs et de gestionnaire de territoire 1. de positionner la dynamique de leur territoire dans un cadre de possibles (ie. d'alternatives envisageables) et 2. de fournir les éléments de discussion nécessaires à la réalisation d'objectifs paysagers co-construits dans le cadre d'une transition agro-écologique.

Scénarios d'allocation des cultures de blé et de colza en fonction des stratégies des coopératives et des agriculteurs

[Angevin F.^{1*}](#), [Lairez J.^{1,2}](#), [Pasquier C.³](#), [Boussard H.⁴](#), [Papaïx J.⁵](#), [Coléno F.-C.³](#)

¹ INRA, UAR Eco-Innov, 78850 Thiverval-Grignon, France

² CIRAD GECO, CANSEA, Ventiane, Laos

³ INRA, UMR SAD-APT, 78850 Thiverval-Grignon, France

⁴ INRA, UMR BAGAP, Rennes, France

⁵ INRA, UR BioSP, Avignon, France

frederique.angevin@inra.fr

Mots clés

Allocation, stratégie, résistance variétale, couplage

Résumé

L'élaboration de scénarios d'allocation des systèmes de culture sur un territoire doit tenir compte de la stratégie des acteurs : les agriculteurs, les coopératives, les négoceurs, ... L'enjeu dans le projet ANR GESTER était de modéliser ces stratégies afin de générer des scénarios d'allocation représentant la situation actuelle mais aussi de caractériser des scénarios prospectifs pouvant présenter un intérêt pour la gestion à long terme des résistances variétales conjointement pour deux cultures, le colza et le blé.

Les stratégies élaborées par les coopératives/négoceurs sur la gestion du risque de contournement des résistances ont été étudiées par voies d'enquêtes. Il en est ressorti que ces entreprises n'élaboraient pas de stratégies particulières à l'échelle des territoires, comme par exemple la mise en place d'une utilisation obligatoire d'une alternance temporelle ou spatiale des résistances.

Pour le colza (région Centre-Val de Loire) et le blé dur (en Haute Garonne), la conduite d'entretiens semi-directifs a permis de connaître puis d'analyser les stratégies des agriculteurs pour choisir leurs variétés et cultures, leurs lieux d'implantation et construire leurs itinéraires techniques. Ce travail a débouché sur la constitution de typologies de producteurs de colza et de blé dur qui explicitent leurs stratégies et productions particulières, leurs contraintes spécifiques ainsi que la variabilité des déterminants du choix des cultures/variétés.

Ces résultats ont été traduits sous forme de jeux de contraintes agronomiques et structurelles. Ceux-ci sont des données d'entrée du modèle CAPFarm, un modèle d'allocation de cultures (Boussard, 2016). Il a été initialement conçu pour la génération d'assolements dans des exploitations agricoles de polyculture –élevage afin d'être couplé à un modèle écologique de façon à pouvoir évaluer l'impact de la répartition des systèmes de production sur la biodiversité. Il a été adapté lors du projet GESTER pour générer des allocations à des échelles plus grandes (paysage agricole, bassin de collecte) dans les systèmes de grande culture étudiés (prise en compte des cultures possibles pour chaque type, délai de retour des cultures, irrigation, ...). Il a ensuite été utilisé pour générer des séries de paysages agricoles correspondant à des scénarios faisant varier les types d'exploitations sur le territoire et le mode de gestion des résistances variétales (100 simulations par scénario). Ces paysages (allocation des cultures x rotation à la parcelle sur 10 ans) ont été utilisés comme données d'entrée des modèles d'épidémiologie DEPCI blé et colza (Papaïx et al., 2014a et b). Ce couplage original a permis de tester l'effet de ces scénarios paysagers et de leur variabilité sur la durabilité des résistances à plus ou moins terme pour les deux espèces cultivées et de déterminer ainsi ceux qu'il s'avèrerait intéressant de promouvoir sur le terrain.

Références

Boussard, H. (2016). CAPFarm : un solveur de problème d'allocation de cultures à l'échelle de l'exploitation agricole, mise en application et changement d'échelle vers le paysage. Présenté à l'école chercheurs Paysage et Santé des Plantes, Rennes, FRA (2016-01-18 - 2016-01-22).

Papaïx, J., Touzeau, S., Monod, H., Lannou, C., 2014. Can epidemic control be achieved by altering landscape connectivity in agricultural systems? *Ecological Modelling* 284:35–47.

Papaïx, J., Adamczyk-Chauvat, K., Bouvier, A., Kiêu, K., Touzeau, S., Lannou, C., Monod, H., 2014. Pathogen population dynamics in agricultural landscapes: The Ddal modelling framework. *Infection, Genetics and Evolution* 27:509-520.

Gestion coordonnée des carabes à l'échelle du paysage : l'impact des coûts de coordination

[Bareille F.](#)^{1*}, [Boussard H.](#)², [Thenail C.](#)³

¹ INRA, UMR SMART-LERECO, Rennes

² INRA, UMR BAGAP, Rennes

francois.bareille@inra.fr

Mots clés

Paysage, services écosystémiques, microéconomie, ressource commune, coordination

Résumé

La structure d'un paysage agricole, définie par sa composition et sa configuration, est déterminée par l'ensemble des choix d'assolements des agriculteurs. Cette structure influence la fourniture de fonctionnalités écologiques, e.g. un paysage a d'autant plus de probabilité de présenter une densité de carabes importantes que le nombre d'interfaces entre le blé et le maïs est important (Martel et al., 2015). Ces fonctionnalités écologiques peuvent améliorer la rentabilité des cultures des agriculteurs, e.g. les agriculteurs bénéficient d'économies d'application de pesticides grâce aux carabes. Selon la théorie microéconomique, les agriculteurs prennent en compte les effets de leurs choix d'assolement sur les services écosystémiques pour maximiser leur profit. Toutefois, à cause de la fragmentation des exploitations agricoles au sein du paysage, la densité de services écosystémiques dépend de l'ensemble des choix des agriculteurs du paysage. Un agriculteur seul ne peut gérer que partiellement les services écosystémiques. Les choix d'assolements de chaque agriculteur génèrent donc des externalités de production aux autres agriculteurs, i.e. modifient la rentabilité des cultures des agriculteurs voisins sans que ceux-ci en aient conscience. Chaque agriculteur doit donc anticiper les choix d'assolement des agriculteurs voisins afin d'optimiser le choix de son propre assolement. Les anticipations des agriculteurs peuvent être d'autant plus faciles que les agriculteurs se coordonnent pour gérer en commun les services écosystémiques. A notre connaissance, seuls Cong et al. (2014) ont étudié la gestion coordonnée des services écosystémiques au sein d'un paysage agricole. En comparant les profits entre une gestion individuelle et une gestion collective (entre tous les agriculteurs du paysage) des pollinisateurs, ils concluent à un effet bénéfique de la coordination pour l'ensemble des agriculteurs. Toutefois, ces comportements de coordination ne sont que rarement observés dans la réalité. Une explication entre ce décalage théorique et les observations peut être liée à l'absence de prise en compte de complexités liées à la gestion de la coordination. En effet, des travaux en économie expérimentale illustrent que les coûts de coordination sont d'autant plus élevés que le nombre d'agent à se coordonner est important (Banerjee et al., 2017). En ne prenant en compte que les bénéfices de la coordination, Cong et al. (2014) ont donc surévalué les bénéfices de la coordination. Grâce à un couplage entre un module de microéconomie et un modèle d'écologie du paysage spatial et dynamique (APILand), notre objectif est d'étudier l'intérêt de la coordination pour la gestion commune des carabes lorsque les coûts de la coordination sont pris en compte. Contrairement à Cong et al. (2014), nous illustrons l'intérêt des coordinations intermédiaires (entre certains agriculteurs du paysage) pour la gestion efficace des services écosystémiques.

Références

- Banerjee, S., Cason, T. N., de Vries, F. P., & Hanley, N. (2017). Transaction costs, communication and spatial coordination in Payment for Ecosystem Services Schemes. *Journal of Environmental Economics and Management*, 83, 68-89.
- Cong, R. G., Smith, H. G., Olsson, O., & Brady, M. (2014). Managing ecosystem services for agriculture: Will landscape-scale management pay?. *Ecological Economics*, 99, 53-62.
- Martel, G., Aviron, S., Boussard, H., Joannon, A., & Roche, B. (2015). Impact of farming systems on agricultural landscapes and biodiversity: from plot to farm and landscape. In *AGRO2015, 5th International Symposium for Farming Systems Design* (pp. 553-p).

Utilisation du raisonnement à partir de cas pour modéliser l'introduction d'une nouvelle culture

[Le Ber F.](#)^{1*}, [Wohlfahrt J.](#)², [Benoît M.](#)²

¹ ICube, Université de Strasbourg, ENGEES, CNRS, Illkirch-Graffenstaden, France

² INRA, SAD ASTER, Mirecourt, France

florence.leber@engees.unistra.fr

Mots clés

Raisonnement à partir de cas, culture énergétique, allocation de culture, règles de décision

Résumé

Le modèle du raisonnement à partir de cas (RÀPC), introduit par Riesbeck et Schank (1989), permet d'appréhender des domaines où les connaissances générales sont mal formalisées et où l'expertise repose majoritairement sur l'expérience. C'est le cas lors de l'introduction dans des exploitations agricoles d'une nouvelle culture, ici le Miscanthus, pour laquelle il n'existe pas encore de référentiel agronomique. Nous avons ainsi développé une démarche et un outil de RÀPC qui s'appliquent à une expérience en construction. Les questions à résoudre sont : quel est le processus de décision qui conduit un agriculteur à planter du miscanthus dans une parcelle ? Ce processus est-il généralisable ou adaptable pour prévoir ce que fera un autre agriculteur sur une autre parcelle ? Pour répondre à ces questions, un prototype a été développé en exploitant les connaissances collectées à partir d'enquêtes menées chez des agriculteurs ayant récemment introduit du Miscanthus dans leur assolement en Bourgogne, sous l'impulsion d'une coopérative. Ces connaissances d'agriculteurs sont de deux types, d'une part des descriptions des caractéristiques des parcelles et d'autre part des explications sur les raisons de leur choix d'implanter ou non du miscanthus dans une parcelle (Martin *et al.*, 2012).

Le choix du raisonnement à partir de cas est le pendant d'une approche par apprentissage automatique, expérimentée par ailleurs (Rizzo *et al.*, 2014) ; le RÀPC permet de mieux explorer les modes de raisonnement et les critères de choix exprimés par les agriculteurs. L'utilisateur final visé est soit (i) un décideur, en charge d'une coopérative agricole ou d'une unité de production de chaleur, qui, dans un cadre prospectif, voudrait estimer la capacité d'un territoire à produire du miscanthus en tenant compte des critères propres aux agriculteurs, soit (ii) un décideur en charge de l'évolution d'un territoire dont il veut connaître les dynamiques paysagères.

Le prototype construit est constitué d'une base de cas, d'une base de règles, d'une base de connaissances (connaissances de similarité et d'adaptation) et d'un module de raisonnement. Un cas est la description d'une parcelle agricole, dite parcelle *source*, assortie d'un potentiel d'allocation du miscanthus. Les règles formalisent les critères de décision des agriculteurs. L'objectif est d'attribuer un potentiel d'allocation à une parcelle, dite parcelle *cible*. Le raisonnement s'effectue en deux étapes principales, la *remémoration* et l'*adaptation*. La remémoration consiste à sélectionner une parcelle jugée « similaire » à la parcelle cible. L'adaptation utilise la parcelle source remémorée et les règles de l'agriculteur associé pour définir le potentiel d'allocation de la parcelle cible. Différentes options d'adaptation ont été définies et des expérimentations ont été menées.

Références

- Martin L., Wohlfahrt J., Le Ber F., Benoît M. (2012). L'insertion territoriale des cultures biomasses pérennes. Etude de cas sur le miscanthus en Côte d'Or (Bourgogne, France). *L'Espace Géographique*, no 2, p. 138-153.
- Riesbeck C. K., Schank R. C. (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- Rizzo D., Martin L., Wohlfahrt J. (2014). Miscanthus spatial location as seen by farmers: A machine learning approach to model real criteria. *Biomass and Bioenergy*, vol. 66, p. 348– 363.

Modélisation de changements spatialisés de l'utilisation des sols pour réduire la pollution azotée.

Casal L.^{1*}, Durand P.¹, Benhamou C.², Nouraya-Akkal N.¹, Ferrant S.³, Drouet J.-L.², Vertes F.¹, Probst A.⁴, Laurent F.⁵

¹ UMR1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, INRA, F-35000 Rennes, France

² UMR1402 ECOSYS, INRA, F-78850 Thiverval-Grignon, France

³ CESBIO, Université Toulouse III Paul Sabatier, 31401 Toulouse, France

⁴ ECOLAB, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, France

⁵ Institut du végétal, Arvalis, F-91700 Boigneville, France

*laurene.casal@inra.fr

Mots clés

Cascade de l'azote, bassin versant agricole, aménagement du paysage, modélisation intégrée spatialisée, scénarios d'utilisation du sol.

Résumé

L'activité agricole repose sur une modification profonde du cycle de l'azote caractérisée par le recours aux intrants pour augmenter sa production, conduisant à l'émission de composés indésirables vers l'environnement (solubles vers l'eau et gazeux vers l'atmosphère). La conception de stratégies d'atténuation à l'échelle du paysage pour améliorer l'utilisation globale de N et réduire les émissions indésirables est un défi majeur (Cellier et al., 2011). Les leviers de contrôle de ces émissions à l'échelle de la parcelle ou des ateliers d'élevage sont bien connus et intégrés pour partie à la réglementation, mais ils ont aussi montré leurs limites. Dans le cadre du projet ESCAPADE l'objectif est de contribuer, à l'échelle du paysage et du territoire, à améliorer les connaissances sur l'efficacité et la faisabilité des leviers d'actions par le biais d'une analyse de scénarios et de modèles intégrés spatialisés du cycle de l'azote. Les scénarios, construits en dialoguant avec divers acteurs, intègrent des actions au niveau des systèmes agricoles et différents patterns d'organisation spatiale de ces systèmes et de différentes infrastructures écologiques, dans des contextes variés. Un jeu de scénarios incluant pratiques réelles, optimisées, implantation de zones d'interception et de dilution, a été testé sur deux petits bassins versants agricoles. Ces sites d'études, Naizin en Bretagne et Auradé en Occitanie, sont contrastés d'une part en termes de système agricole. (Auradé est caractérisé par un système grandes cultures alors que Naizin est caractérisé par de la polyculture élevages) et d'autre part par le contexte physiographique (sol, climat, relief...) et structures paysagères. Les scénarios sont simulés avec le modèle TNT2 pour le site Auradé et les modèles TNT2 et NITROSCAPE pour le site de Naizin qui sont des modèles agro-hydrologiques spatialement distribués (TNT2 (Beaujouan et al., 2002) NITROSCAPE(Duret et al., 2011)). Les résultats montrent d'abord des tendances similaires entre les deux sites. En termes de réduction des pertes nitriques, les scénarios se classent toujours ainsi réel>optimisé>dilution>interception ; on constate aussi qu'en exprimant les résultats en terme de rétention apparente des excès d'azote (différence entre surplus agricoles (N intrants -N exporté par les récoltes) et flux nitriques à l'exutoire), c'est toutefois le scénario réel qui offre la plus forte rétention, illustrant à la fois la forte dépendance de cette rétention au niveau d'intrants. Dans le bassin de Naizin, on constate aussi que l'augmentation des surfaces d'interception de 14 à 20% de la surface totale du bassin n'a que peu d'effets sur les flux à l'exutoire, ce qui montre que c'est plus la continuité de la zone d'interception autour du cours d'eau que sa surface totale qui est déterminante. Le fait d'avoir des résultats somme toute concordant sur ces deux sites contrastés suggère une bonne généralité des conclusions obtenues. Les impacts de ces scénarios sur les dépôts atmosphériques et les émissions indirectes de N₂O sont en cours d'analyse.

Références

- Beaujouan, V., Durand, P., Ruiz, L., Arousseau, P., and Cotteret, G. (2002). A hydrological model dedicated to topographybased simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphologydenitrification relationship. *Hydrological Processes* **16**, 493-507
- Cellier, P., Durand, P., Hutchings, N., Dragosits, U., Theobald, M., Drouet, J. L., Oenema, O., Bleeker, A., Breuer, L., Dalgaard, T., Duret, S., Kros, J., Loubet, B., Olesen, J. E., Merot, P., Viaud, V., de Vries, W., and Sutton, M. A. (2011). Nitrogen flows and fate in rural landscapes. In: Sutton, M. A., Howard, C. M., Erisman, J. W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H., Grizzetti, B., (eds.) The European Nitrogen Assessment Sources, Effects and Policy Perspectives. *Cambridge University Press*, 229-248.
- Duret, S., Drouet, J. L., Durand, P., Hutchings, N. J., Theobald, M. R., Salmon-Monviola, J., Dragosits, U., Maury, O., Sutton, M. A., and Cellier, P. (2011). NitroScape: a model to integrate nitrogen transfers and transformations in rural landscapes. *Environ Pollut* **159**, 3162-70.

BV Service : un outil web pour le diagnostic et la définition d'actions correctives vis-à-vis du ruissellement superficiel en petit bassin versant agricole

[Lagacherie P.](#)^{1*}, [André M.](#)¹, [Béra R.](#)², [BenChekroun Y.](#)², [Fabre J.-C.](#)¹, [Ruiz L.](#)³, [Saadni M.](#)², [Squidant H.](#)², [Zadonina E.](#)¹

¹ INRA, UMR LISAH Montpellier

² AGROCAMPUS-Ouest, UMR SAS Rennes-Quimper

³ INRA, UMR SAS Rennes-Quimper

Mots clés

Paysage, eau, connectivité, géomatique, service web

Résumé

La protection des milieux aquatiques à l'aval des bassins versants agricoles nécessite de mener des actions correctives pour réduire la connectivité des ruissellements, soit au niveau des parcelles émettrices (changement d'occupation du sol ou des pratiques agricoles) soit au niveau des structures paysagères linéaires (haies sur talus, bandes enherbées, fossés et bassins de retenue). BV service est un outil assistant les animateurs et gestionnaires de petits bassins versant pour élaborer des diagnostics sur la connectivité des bassins versant et pour définir et évaluer les actions correctives à mettre en place.

Deux défis majeurs ont été relevés afin d'assurer une utilisation potentielle de BV service sur le territoire Français : i) construire un outil de représentation et de simulation des connectivités au sein des bassins versant qui puisse être entièrement automatisé et adaptable à la variété des paysages du territoire national. Cet outil a été développé sous la plate-forme OpenFluid. ii) assurer l'utilisation de cet outil depuis un site web en mobilisant au maximum les données (MNT, parcellaire, réseau hydrographique,) disponibles dans les infrastructures de données géographiques régionales. Ceci a été réalisé à partir des fonctionnalités disponibles dans l'infrastructure de données spatiales geOrchestra.

BV service a été appliqué et testé sur 5 bassins versants localisés sur le territoire Français. Sur le plan technique, les connectivités générées par BV services ont été confrontées avec succès à celles produites par les animateurs de bassin versant. Sur le plan fonctionnel, les animateurs de bassin versant ont manifesté leur intérêt pour utiliser BV Service dans les phases de construction de plan d'action et ont formulé des recommandations qui ont été prises en compte lors de la construction de l'outil. Une phase d'évaluation a posteriori de l'outil par ces animateurs reste à conduire.

Modélisation spatiale et multiscalaire des dynamiques paysagères, le cas du Burkina Faso

[Jahel C.](#)^{1*}, [Castets M.](#)¹, [Baron C.](#)¹, [Bégué A.](#)¹, [Lo Seen D.](#)¹

¹ UMR TETIS, CIRAD, Montpellier
camille.jahel@cirad.fr

Mots clés

Modélisation spatiale, changement d'échelle, Ocelet, graphes d'interaction, Burkina Faso

Résumé

Les paysages d'Afrique de l'Ouest sont aujourd'hui marqués par d'importantes évolutions, principalement dues à une croissance démographique inédite, accompagnée de changements structurels rapides. Les campagnes de l'Ouest du Burkina Faso ont ainsi vu leur population tripler en l'espace de 20 ans, entraînant une déforestation massive. Dans le même temps, l'introduction de nouvelles méthodes culturales et la diminution des jachères ont provoqué un épuisement progressif des sols. Ces pressions sur les ressources naturelles sont à l'origine de l'émergence de premiers conflits ethniques. Il devient donc urgent de prendre la mesure de ces changements pour pouvoir en limiter les conséquences.

Dans ce contexte, la modélisation des dynamiques paysagères est un moyen largement utilisé pour réaliser le suivi prospectif de ces changements, mais se heurte à plusieurs difficultés méthodologiques. Ainsi, modéliser les dynamiques paysagères revient à modéliser une réalité complexe qui résulte des interactions et rétroactions de différents éléments de nature et de niveaux d'organisations différents, le tout évoluant avec le temps.

La question se pose alors de comment intégrer dans un même modèle des éléments et processus interagissant et issus de niveaux d'organisation différents ?

Nous proposons une méthode pour modéliser de manière dynamique les relations entre différents éléments d'un paysage en utilisant la plateforme de modélisation Ocelet, basée sur les graphes d'interaction (Degenne & Lo Seen, 2016). Ocelet permet de construire un modèle de paysage à partir de ses composants (systèmes de culture, systèmes de production ou autres entités spatiales), et de simuler leurs évolutions en tenant compte de leurs interactions.

La zone d'étude est la province du Tuy, située à l'ouest du Burkina Faso, d'environ 6000 km². Le modèle réalisé utilise les graphes d'interaction pour simuler des processus inter-corrélés allant du niveau de la parcelle à celui de la région (évolution des rendements, évolution des assolements, déforestation) (Jahel et al., 2016). Nous montrons ainsi qu'il est possible d'effectuer un croisement d'échelles dans un modèle sans avoir recours aux méthodes d'agrégation ou de désagrégation habituellement employées pour ce type d'étude. Les sorties du modèle sont ensuite utilisées pour quantifier le poids de différents facteurs et processus dans les changements de paysages et d'estimer des évolutions plausibles du paysage pour les années à venir (Jahel et al., 2017).

Références

Degenne, P., & Lo Seen, D. (2016). Ocelet: Simulating processes of landscape changes using interaction graphs. *SoftwareX*, 5, 89-95.

Jahel C., Baron C., Vall E., Karambini M., Castets M., Coulibaly K., Bégué A., Lo Seen D. (2016). Spatial modelling of agro-ecosystem dynamics across scales: A case in the cotton region of West-Burkina Faso. *Agricultural Systems*.

Jahel C., Vall E., Zermeño A., Augusseau X., Lo Seen D. (2017). Analysing past and future patterns of land change in West Burkina Faso. *Land Use Policy* (en revision).

Participants

Prénom	Nom	E-mail	Institut	Ville
Katarzyna	Adamczyk-Chauvat	Katarzyna.Adamczyk@inra.fr	INRA	
Frédérique	Angevin	frederique.angevin@inra.fr	INRA - Eco-Innov	Thiverval-Grignon
Félix	Attia	felix.attia@inra.fr	SAD ASTER	
Niramson	Azouz	niramson@yahoo.fr	INRA	Thiverval-Grignon
Aude	Barbottin	aude.barbottin@inra.fr	INRA	Thiverval-Grignon
François	Bareille	francois.bareille@inra.fr	INRA	
Enrique	Barriuso	enrique.barriuso@inra.fr	INRA - ECOSYS	Thiverval-Grignon
Colette	Bertrand	colette.bertrand@inra.fr	INRA - ECOSYS	Versailles
Christian	Bockstaller	christian.bockstaller@inra.fr	INRA - LAE	Colmar cedex
Laurent	Bouchet	laurent.bouchet@envilys.com	ENVILYS	Villeneuve les Maguelone
Hugues	Boussard	hugues.boussard@inra.fr	INRA - BAGAP	Rennes
Florence	Carpentier	florence.carpentier@agroparistech.fr	AgroParisTech/INRA	
Laurene	Casal	laurene.casal@inra.fr	INRA	
Blanche	Collard	blanche.collard@inra.fr	INRA - PSH / CIRAD - GECO	Avignon
Michael	Corson	michael.corson@inra.fr	INRA	Rennes
Christian	Dron	christian.dron@agriculture.gouv.fr	DRAAF Île-de-France	Cachan
Rémi	Dupas	remi.dupas@inra.fr	INRA - SAS	Rennes
Yosra	Elili	yosra.elili@inra.fr	INRA - SAS	Rennes
Jean-Christophe	Fabre	jean-christophe.fabre@inra.fr	INRA - LISAH	Montpellier
Mireille	Fargette	Mireille.Fargette@ird.fr	IRD - Espace-Dev	Montpellier
Mathieu	Fauvel	mathieu.fauvel@ensat.fr	ENSAT - Dynafor	Castanet Tolosan
François	Guerrin	francois.guerrin@cirad.fr	INRA	Montpellier
Carine	Herbin	carine.herbin@vignevin.com	Institut Français de la Vigne et du vin	Epemay
Thierry	Hoch	thierry.hoch@inra.fr	INRA	Nantes
Camille	Jahel	camille.jahel@cirad.fr	CIRAD	Montpellier
Philippe	Lagacherie	philippe.lagacherie@inra.fr	INRA - LISAH	Montpellier
Claire	Lauvermet	claire.lauvermet@irstea.fr	IRSTEA	villeurbanne
Claire	Lavigne	claire.lavigne@inra.fr	INRA	
Florence	Le Ber	florence.leber@engees.unistra.fr	ENGEES - Univ. de Strasbourg	Strasbourg
Antoine	Le Gal	antoine.legal@agroparistech.fr	INRA - ESE	
Nicolas	Lebon	nicolas.lebon@inra.fr	INRA - LISAH	Montpellier
Nathalie	Leroy	nathalie.leroy@inra.fr	INRA Centre de Nancy	Champenoux
Benjamin	Loubet	benjamin.loubet@inra.fr	INRA - ECOSYS	Thiverval-Grignon
Xavier	Louchart	xavier.louchart@envilys.com	ENVILYS	Villeneuve les Maguelone
Lucie	Martin	lucieccmartin@gmail.com	INRA	
Olivier	Martin	olivier.martin@inra.fr	INRA - BioSP	Avignon
Mohamed-Mahmoud	Memmah	mohamed.memmah@inra.fr	INRA	Avignon
Paul	Miguet	paul.miguet@gmail.com	INRA	
Guillaume	Pain	g.pain@groupe-esa.com	ESA - BAGAP	Angers
Julien	Papaix	julien.papaix@inra.fr	INRA - BioSP	Avignon
Catherine	Pasquier	catherine.pasquier.orleans@inra.fr	INRA	Ardon
Sandrine	Petit	sandrine.petit-michaut@inra.fr	INRA - Agroécologie	Dijon
Sylvain	Poggi	sylvain.poggi@inra.fr	INRA	Le Rheu
Etienne	Polge	etienne.polge@inra.fr	INRA	Avignon
Pierre-Antoine	Précigout	pierre-antoine.precigout@cri-paris.org	INRA - ECOSYS	Thiverval-Grignon
Nirina	Ratsimba	nirina.ratsimba@inra.fr	INRA - Dynafor	Castanet Tolosan
Benoit	Ricci	benoit.ricci@inra.fr	INRA - Agroécologie	Dijon
Corinne	Robert	corinne.robert@inra.fr	INRA	Thiverval Grignon
Emilie	Rouzier	emilie.rouzier@irstea.fr	IRSTEA	Villeurbanne
Gabrielle	Rudi	gabrielle.rudi@supagro.fr	INRA/Supagro - LISAH	
Christophe	Sausse	c.sausse@terresinovia.fr	Terres Inovia	
Mathieu	Steffen	Mathieu.Steffen@asta.etat.lu	ASTA Luxembourg	Ettelbruck
Iamine	Tall	tallamine@yahoo.fr	Revue Infos Lumiere	Paris
Vincent	Thierion	vincent.thierion@inra.fr	INRA - CESBIO	Toulouse
Julie	Wohlfahrt	julie.wohlfahrt@inra.fr	INRA	Colmar
Alejandro	Zemeno	alejandro.zemenorodriguez@inra.fr	INRA - BAGAP	Rennes