



**HAL**  
open science

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

Frédérique Angevin, Hugues Boussard, Thomas Guyet, Alexandre Joannon,  
Claire Lavigne, Florence Le Ber, Herve Monod, Nicolas Parisey, Julie  
Wohlfahrt, Sylvain Poggi, et al.

### ► To cite this version:

Frédérique Angevin, Hugues Boussard, Thomas Guyet, Alexandre Joannon, Claire Lavigne, et al..  
Modélisation de paysages agricoles pour la simulation et l'analyse de processus. 38 p., 2014. hal-  
02800606

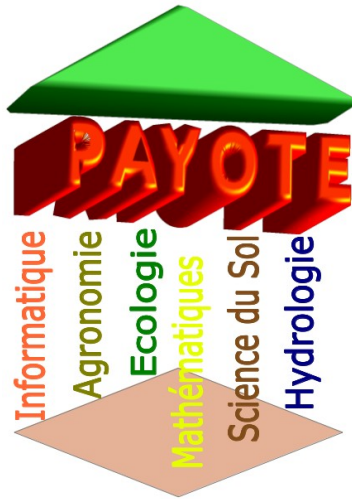
**HAL Id: hal-02800606**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02800606v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**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**

Le 16 et 17 septembre 2014  
FIAP Jean Monet 30 rue Cabanis 75014 Paris

## Présentation du colloque

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 sociotechniques 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.

Quatre thématiques sont particulièrement ciblées :

- la représentation du paysage
- la simulation dynamique des paysages
- la fouille de données et l'initialisation de paysages virtuels
- l'analyse de l'impact du paysage sur les processus

Dans la suite du document vous trouverez le programme détaillé, puis les résumés des présentations selon ces 4 thématiques et dans l'ordre du programme et enfin la liste des participants.

## Organisation et financement du colloque

Ce colloque a été organisé par les membres du bureau du réseau PAYOTE ( [www.reseau-payote.fr](http://www.reseau-payote.fr) ) :

- Frédérique Angevin (INRA/BAP)
- Hugues Boussard (INRA/SAD)
- Thomas Guyet (Agrocampus Ouest/IRISA)
- Alexandre Joannon (INRA/SAD)
- Claire Lavigne (INRA/EA)
- Florence Le Ber (ENGEES/ICube)
- Hervé Monod (INRA/MIA)
- Nicolas Parisey (INRA/SPE)
- Sylvain Poggi (INRA/SPE)
- Benoit Ricci (INRA/SPE)
- Fabrice Vinatier (INRA/EA)
- Julie Wohlfahrt (INRA/SAD)

Il a bénéficié du soutien financier de l'INRA ( [www.inra.fr](http://www.inra.fr) ) :

- Département Sciences pour l'Action et le Développement : <http://www.sad.inra.fr/>
- Département Mathématiques et Informatique Appliquées : <http://www.mia.inra.fr/>
- Département Santé des Plantes et Environnement : <http://www.spe.inra.fr/>
- Département Environnement et Agronomie : <http://www.ea.inra.fr/>
- Métaprogramme Gestion durable de la santé des cultures : <http://www.smach.inra.fr/>



**Programme du séminaire PAYOTE**  
FIAP Jean Monet, 30 rue Cabanis, 75014 Paris

16 septembre 2014

**09:00 - 10:00 : Accueil**

09 h 00 : Remise des badges

09 h 45 : Présentation du programme des journées et du collectif Payote (C. Lavigne et F. Le Ber)

**10 : 00 - 10 :45 : Introduction**

Houet T. (CNRS) Usage(s) de modèles spatiaux en prospective : objectifs, avantages et limites

**10 : 45 - 13 : 50 : Représentation du paysage (animation : H. Bousard)**

10 : 45 – 11 : 15 Straubhaar J. (Université de Neuchâtel) : Simulation multi-points : générer et évaluer l'incertitude de modèles spatiaux complexes

11 : 15 – 11 : 45 Démonstration (J. C. Fabre - INRA) : OpenFLUID : une plate-forme logicielle pour la modélisation et la simulation du fonctionnement intégré des paysages

11 : 45 - 12 : 05 Rabotin M. (INRA) : Représentation du paysage et gestion de la connectivité : structure et algorithmes proposés par la librairie OpenFLUID-landr

12 : 05 – 12 : 25 Gaucherel C. (INRA et IFP) : Pour une étude théorique du paysage

12 : 25 – 12 : 45 Lefevre S. (INP-ENSAT- Dynafor) : L'imagerie satellitaire non classée comme représentation paysagère alternative pour estimer des indicateurs de biodiversité

*Discussion générale sur la session 1*

13 : 15 - 14 : 45 : Repas

**14 : 45 - 16 : 15 : Fouille de données et initialisation de paysages virtuels (animation : H. Monod et S. Poggi)**

14 : 45 – 15 : 05 Lamboni M. (JRC, IES) : Modélisation de l'allocation de terre dans une grille fine

15 : 05 – 15 : 25 Guyet T. (AgroCampus) : Simuler l'assolement d'un paysage par reproduction des structures locales

15 : 25 – 15 : 45 Da Silva S. (LORIA) : Apprentissage et génération de haies dans un paysage : une approche couplant courbes adaptatives de Hilbert et chaînes de Markov

15 : 45 – 16 : 15 Démonstration (K. Kieu – INRA) : RLite et la génération de paysages agricoles

Pause-café de 16 h 15 à 16 h 45

**16 : 45 - 17 : 45 : Fouille de données et initialisation de paysages virtuels (animation : H. Monod et S. Poggi)**

16 : 45 – 17 h 05 Lazrak E. G. (INRA) : Conception d'une typologie fonctionnelle des paysages pour la modélisation territoriale des flux hydriques et atmosphériques de l'azote

17 : 05 – 17 : 25 Leenhardt D. (INRA) : Modéliser les systèmes de culture d'un territoire irrigué par hybridation de savoirs d'acteurs et de bases de données

*Discussion générale sur la session 2*

17 h 45 : Cocktail

17 septembre 2014

**09 : 00 - 11 : 00 : *Caractérisation et simulation dynamique des paysages (animation : F. Angevin et J. Wohlfahrt)***

09 : 00 – 09 : 20 Bamière L. (INRA) : La spatialisation dans les modèles micro-économiques d'offre agricole pour l'analyse des politiques environnementales : application aux cas de la biodiversité et de la biomasse-énergie

09 : 20 – 09 : 40 Martel G. (INRA) : Impact des conduites des systèmes d'élevage sur les continuités écologiques : proposition d'une démarche de modélisation – simulation

09 : 40 – 10 : 00 Guerrin F. (CIRAD) : Modélisation et simulation de la gestion territoriale de produits résiduels organiques

10 : 00 – 10 : 20 Etienne M. (INRA) : Dynamique des paysages agricoles et apiculture : un difficile emboîtement entre entités de gestion et unités fonctionnelles

10 : 20 – 10 : 40 : *Discussion générale sur la session 3*

10 : 40 – 11 : 00 Démonstration (J. P Choisis - INP-ENSAT- INRA) : ATLAS : un simulateur de dynamiques de paysage agricole pour l'étude des interactions entre paysage et dynamiques de populations d'insectes par approche multi-agent.

Pause-café de 11 h à 11 h 30

**11 : 30 - 13 : 00 : *Analyse de l'impact du paysage sur les processus biotiques et abiotiques (animation : B. Ricci et F. Vinatier)***

11 : 30 – 11 : 45 Ciss M. (INRA) : Exploration de la régulation de nuisibles dans le cadre de paysages agricoles dynamiques

11 : 45 – 12 : 00 Bonnefon O. (INRA) : Simulations d'un modèle d'interaction entre parcelles et bordures, application à la simulation de dynamique des populations de ravageurs sur des paysages

12 : 00 – 12 : 15 Leclerc M. (INRA) : Modélisation des trajectoires de lépidoptères dans un paysage hétérogène

12 : 15 – 12 : 30 Riou J. B. (INRA) : Étude comparative de méthodes statistiques d'analyse de la relation entre paysage et abondances d'insectes ravageurs

12 : 30 – 13 : 00 Démonstration (M. Morison – INRA) : PODYAM et MODPEST Deux outils pour la modélisation des dynamiques de plusieurs bioagresseurs à l'échelle du paysage

Repas de 13 h 00 à 14 h 30

**14 : 30 - 15 : 45 : *Analyse de l'impact du paysage sur les processus biotiques et abiotiques (suite)***

14 : 30 – 14 : 45 Delattre T. (INRA) : Fragmentation, instabilité des habitats et processus évolutifs dans les paysages : modélisation basée-individus des syndromes de dispersion

14 : 45 – 15 : 00 Stoeckel S. (INRA) : Impact de motifs paysagers élémentaires sur la structure génétique des populations à petite échelle (SGS)

15 : 00 – 15 : 15 Dupont S. (INRA) : Modélisation mécaniste de la dispersion atmosphérique de particules biotiques et abiotiques à l'échelle du paysage

15 : 15 – 15 : 30 Reulier R. (CNRS) : Impact de la structure paysagère sur les transferts hydro-sédimentaires. Approche par système multi-agents

15 : 30 – 15 : 45 *Discussion générale sur la session 4*

15 : 45 - 16 : 30 : Table ronde (animation : H. Monod)

## **Introduction et session « Représentation du paysage »**

**Houet T.** (CNRS) : Usage(s) de modèles spatiaux en prospective : objectifs, avantage et limites

**Straubhaar J.** (Université de Neuchâtel) : Simulation multi-points: générer et évaluer l'incertitude de modèles spatiaux complexes

**Fabre J.C.** (INRA) : Démonstration plate – forme logicielle Openfluid (Modélisation et simulation du fonctionnement intégré des paysages)

**Rabotin M.** (INRA) : Représentation du paysage et gestion de la connectivité : structure et algorithmes proposés par la librairie OpenFLUID-landr

**Gaucherel C.** (INRA et IFP) : Pour une étude théorique du paysage

**Lefevre S.** (INP-ENSAT- Dynafor) : L'imagerie satellitaire non classée comme représentation paysagère alternative pour estimer des indicateurs de biodiversité



# Usage(s) des modèles spatiaux en prospective : objectifs, avantages et limites

HOUET Thomas

Chargé de recherche CNRS (CR1)

GEODE UMR 5602 CNRS/UTJ2M

[thomas.houet@univ-tlse2.fr](mailto:thomas.houet@univ-tlse2.fr)

Université Toulouse Jean-Jaurès Le Mirail - Maison de la recherche

5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex

05-61-50-36-285

Mots-clés en français (max 5) : Scénarios, Simulation dynamique et spatialement explicite, Validation, Plausibilité

Cet article théorique a pour objectif de faire un état de l'art sur l'usage des modèles spatiaux pour la prospective. Dans un premier temps, il présente un bref historique de la convergence implicite entre prospective et géographie. Dans un second temps, il aborde la question du choix du modèle en présentant les critères à prendre en compte. Dans un troisième temps, il aborde la question de la validation des modèles, vu comme un moyen d'améliorer la plausibilité des scénarios à travers la combinaison de méthodes d'évaluation. Enfin, si on constate un usage de plus en plus important de modèles spatiaux en prospective, les méthodes évoquées sont loin d'être exhaustives et replacent la géoprospective comme une simple communauté de pratiques et de méthodes ayant un objectif commun : mieux explorer les futurs pour éclairer l'action présente. Au final, il apporte un éclairage sur l'apport des modèles aux démarches prospectives et vise à aider les divers utilisateurs possibles (géographes, agronomes, modélisateurs, prospectivistes, etc.) à choisir un modèle approprié à leur problématique et à leurs objectifs afin de tirer parti de tous les avantages qu'ils offrent. Il tente également de clarifier certaines confusions sémantiques qui existent autour de l'usage des modèles couplés à des scénarios.

# Simulation multi-points: générer et évaluer l'incertitude de modèles spatiaux complexes

Julien Straubhaar\* et Philippe Renard,  
Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, Université de Neuchâtel,  
11, Rue Emile-Argand, CH-2000 Neuchâtel

\* julien.straubhaar@unine.ch ; tél. +41 32 718 26 10

Mots-clés : Simulations stochastiques, image d'entraînement, statistiques non paramétriques, reproduction de motifs

Dans nombre d'applications, la modélisation de milieux bi- ou tri-dimensionnels est une étape nécessaire pour résoudre des processus physiques. Par exemple, un modèle spatial de perméabilité du sous-sol est requis pour le calcul d'écoulements. De plus, la quantité de données disponibles est souvent faible, ce qui implique des incertitudes sur les milieux et les processus qui en découlent. Dans ce contexte, la simulation de champs aléatoires permet de réaliser plusieurs scénarios et d'évaluer l'incertitude de prédictions. Les modèles paramétriques basées sur la covariance entre deux points de l'espace (ou variogramme) sont souvent insuffisants pour générer des milieux présentant des structures spatiales complexes. La simulation multi-points est une méthode géostatistique non paramétrique relativement récente (introduite par Guardiano et Strivastava (1993), première implémentation performante par Strebelle (2002)), capable de surmonter certaines limitations des techniques paramétriques classiques. Le principe de la simulation multi-points est de considérer une image d'entraînement (modèle conceptuel) et d'utiliser les statistiques des motifs (configurations spatiales, *patterns*) présents dans cette image pour contrôler la génération de champs aléatoires. Cette méthode permet de simuler des milieux reproduisant des structures spatiales complexes données par l'image d'entraînement. Sa flexibilité offre un large champ d'applications, par exemple: simulation de milieux poreux, rivières tressées, séries temporelles de précipitations, images satellites multi-variées.

# OpenFLUID : UNE PLATEFORME LOGICIELLE POUR LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION DU FONCTIONNEMENT INTÉGRÉ DES PAYSAGES

Fabre Jean.-Christophe\*, Rabotin Michaël, Crevoisier David, Libres Aline

INRA, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), F-34060 Montpellier, France

\*[fabrejc@supagro.inra.fr](mailto:fabrejc@supagro.inra.fr), +33 (4) 0 4 99 61 23 51

Mots-clés en français : paysage, spatio-temporel, modélisation, couplage, plateforme logicielle

Les paysages sont des systèmes complexes où de nombreux processus interagissent dans l'espace et dans le temps. Ils sont également le cadre adéquat pour l'étude et l'évaluation de nombreux services écosystémiques. L'étude du fonctionnement intégré de tels systèmes au travers de la modélisation nécessite i) une représentation fine de l'organisation spatiale et des propriétés de la zone étudiée, ii) l'interaction de modèles simulant les processus spatiaux à prendre en compte, iii) des outils et des méthodes d'analyse des simulations réalisées.

La plateforme OpenFLUID (Fabre et al., 2010, Fabre et al., 2013) propose un environnement logiciel pour la modélisation et la simulation spatio-temporelle du fonctionnement des paysages, principalement focalisée sur les flux, pouvant intégrer différents types de processus locaux ou spatiaux (hydrologie, polluants, agronomie-décision, ...).

Les fondements d'OpenFLUID reposent sur i) une représentation numérique des paysages (RNP) à différentes échelles, ii) le couplage de modèles simulant la dynamique des paysages, iii) l'observation en temps réel des résultats de simulation pour en analyser les données.

La RNP est basée sur une approche de graphes multi-échelles, représentant ainsi les éléments du paysage, leurs propriétés et leur connectivité. La modélisation de la dynamique des processus spatiaux est assurée par des simulateurs (modèles) branchés et couplés automatiquement par la plateforme. Ainsi, le modélisateur peut composer des modèles couplés en fonction des questions scientifiques abordées, en réutilisant des simulateurs existants ou en créant de nouveaux simulateurs.

Du point de vue de l'infrastructure logicielle, l'ensemble de ces concepts et fonctionnalités sont intégrés dans le framework logiciel OpenFLUID qui constitue le socle de la plateforme. Par ailleurs, OpenFLUID propose différentes interfaces pour les utilisateurs (ligne de commande, interface graphique), un package ROpenFLUID pour le pilotage et l'analyse des simulations depuis l'environnement R, ainsi qu'un environnement dédié pour le développement de simulateurs.

OpenFLUID constitue également un support collaboratif, pouvant être partagé dans un groupe de travail, pour le développement, la capitalisation, la diffusion et la réutilisation de modèles et de simulations.

Cette présentation fera donc un tour d'horizon des concepts et des fonctionnalités de la plateforme OpenFLUID, illustrés avec des exemples d'applications scientifiques réalisées, et proposera une démonstration du logiciel.

Les auteurs tiennent à remercier François Colin, Cécile Dagès, Philippe Lagacherie, Xavier Louchart, Roger Moussa, Damien Raclot, Marc Voltz et Jérôme Moléat pour leur expertise et leurs contributions scientifiques dans le projet OpenFLUID.

<http://www.openfluid-project.org/>

# REPRÉSENTATION DU PAYSAGE ET GESTION DE LA CONNECTIVITÉ : STRUCTURE ET ALGORITHMES PROPOSÉS PAR LA LIBRAIRIE OPENFLUID-LANDR.

Rabotin Michael\*<sup>1</sup>, Fabre Jean-Christophe<sup>1</sup>, Libres Aline<sup>1</sup>, Crevoisier David<sup>1</sup>, Lagacherie Philippe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: INRA, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), F-34060 Montpellier, France

\*Corresponding author :Email rabotin@supagro.inra.fr Tel : 04 99 61 23 85

Mots-clés en français : Graphe, connectivité, géométrie, objets du paysage, discrétisation

Parmi les différentes approches de représentation spatiale pour la modélisation intégrative du fonctionnement des paysages, l'une d'elles consiste à utiliser des graphes dont les nœuds correspondent à différents objets du paysage (surfaciques, linéaires ou ponctuels) et les arêtes définissent les connectivités entre ces objets (Lagacherie et al., 2010 ; Gascuel-Oudou et al., 2011). C'est notamment l'approche retenue par la plateforme OpenFLUID (Fabre et al, 2010 ; Rabotin et al, 2013). La création de ces graphes d'espace peut se faire sur la base de dires d'experts, mais également au travers de traitements géomatiques avancés appliqués à des informations spatiales numériques.

En ce sens, la plateforme OpenFLUID intègre la librairie OpenFLUID-landr qui propose une bibliothèque d'algorithmes géomatiques orientés pour la modélisation des paysages (discrétisation de l'espace en objets du paysage, calcul de connectivités ...).

La librairie OpenFLUID-landr se positionne donc comme une couche métier orientée paysage, à l'interface entre les traitements géomatiques génériques et les besoins des modélisateurs. OpenFLUID-landr propose ainsi les briques élémentaires pour i) l'intégration de différents formats de données géographiques (vecteur et raster), ii) la validation et la modification des géométries, iii) la discrétisation de l'espace en objets et iv) la création de la connectivité entre les objets. Ainsi, à partir de ces traitements atomiques, le modélisateur peut composer ses propres chaînes de traitements correspondant à ses propres approches de représentation du paysage. Les fonctionnalités d'OpenFLUID-landr peuvent également être étendues à l'aide de développements supplémentaires ou en s'appuyant sur des librairies extérieures. Les méthodes développées par le modélisateur peuvent être utilisées sous la forme d'exécutables indépendants, de simulateurs OpenFLUID ou d'extensions graphiques OpenFLUID.

L'utilisation de la librairie OpenFLUID-landr sera illustrée par l'exemple d'une extension spécifiquement développée pour la préparation du paysage pour le modèle hydrologique distribué MHYDAS (Moussa et al, 2002) : les concepts de discrétisation du paysage et de connectivité propre à ce modèle hydrologique ont été implémentés dans cette extension qui s'appuie sur des éléments de la librairie OpenFLUID-landr. L'usage de cette extension peut se faire au travers d'une interface graphique (Geo-MHYDAS) intégrée à la plateforme OpenFLUID. Le paysage modélisé devient donc directement accessible pour les simulations effectuées avec le modèle MHYDAS.

La généralité de la librairie OpenFLUID-landr permet ainsi de développer des représentations du paysage et des calculs de connectivité complexes et variées.

## Références bibliographiques :

- Fabre, J.C., Louchart, X., Moussa, R., Dagès, C., Colin, F., Rabotin, M., Raclot, D., Lagacherie, P. and M., Voltz, 2010. OpenFLUID: a software environment for modelling fluxes in landscapes, LANDMOD2010, Montpellier, France
- Gascuel-Oudou C., Arousseau P., Doray T., Squiviant H., Macary F., Uny D., Grimaldi C. (2011) Incorporating landscape features to obtain an object-oriented landscape drainage network representing the connectivity of surface flow pathways over rural catchments. *Hydrological processes*, 25 (23), 3625-3636.
- Lagacherie, P., Rabotin, M., Colin, F., Moussa, R. and Voltz, M., 2010. Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas, *Computers & Geosciences*, 36, p.1021 - 1032.
- Moussa, R., Voltz, M. and Andrieux, P., 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events, *Hydrological Processes*, 16, p.393-412.
- Rabotin, M., Fabre, J.-C., Libres, A., Lagacherie, Ph., Crevoisier, D. and Moussa, R., 2013. Using graph approach for managing connectivity in integrative landscape modelling, Vol. 15, EGU2013-8851, EGU General Assembly 2013, Vienna (Austria).

# Pour une étude théorique du paysage

C. Gaucherel<sup>1,2</sup> ([cedric.gaucherel@ifpindia.org](mailto:cedric.gaucherel@ifpindia.org))

<sup>1</sup> INRA, UMR AMAP, Montpellier F-34000 France

<sup>2</sup> French Institute of Pondicherry (IFP), 11 St Louis Street, 605001 Pondicherry, India.

Mots-clés en français (max 5) : paysage rural ; modélisation ; grammaires formelles ; graphes ; complexité.

## Résumé

Le paysage, qu'il soit étudié pour lui-même ou pour les processus écologiques qu'il porte, est un objet dynamique encore mal compris. L'écologie du paysage semble être une de ces disciplines dans lesquelles les applications ont rattrapé, voire dépassé, les réflexions théoriques. Pourtant, les allers-retours entre expérimentation-théorie-modèles tant vantés dans d'autres disciplines scientifiques seraient indéniablement bénéfiques à ces études du paysage (Gaucherel et al., 2014). Cette présentation espère faire la promotion d'un retour à la théorie, pour aider à mieux comprendre ce qu'est, au fond, le paysage.

Le paysage change, croît et se développe, un peu à la manière d'une plante âgée dont de nouvelles branches remplacent les vieilles, sans modifier sa forme générale. Des outils mathématiques existent pour formaliser ce type de dynamiques, et de telles formalisations apportent une compréhension simplifiée autant que renouvelée de l'objet d'étude. En effet, mettre en équations le paysage, aussi complexe qu'apparaisse une mosaïque agricole, permet de synthétiser sa structure et ses dynamiques en quelques symboles seulement, comme cela a été réussi dans d'autres disciplines des sciences du vivant.

J'ai proposé par le passé de nous appuyer sur une représentation en graphe du paysage, matérialisant les interactions entre ses constituants voisins, et une formalisation grammaticale de ses dynamiques, synthétisant les changements qu'il accueille (Gaucherel et al., 2012). Au-delà de la possible universalité d'un tel « langage du paysage », un intérêt important de cette linguistique est de prendre en compte l'historique de l'objet, ainsi que son indéniable fonctionnement multiéchelle. A partir d'exemples concrets, sur des paysages tempérés comme tropicaux, naturels ou anthropisés, faits de parcelles ou de linéaires, je montrerai l'adéquation d'un tel cadre théorique. Celui-ci reste encore à éprouver à travers d'autres cas d'études et d'autres collaborations.

## Bibliographie

- Gaucherel, C., Houllier, F., Auclair, D., Houet, T., Dynamic landscape modelling: the quest for a unifying theory. *Living Reviews in Landscape Research*, 8 (2014), 2. doi: 10.12942/lrlr-2014-2.
- Gaucherel, C., Boudon, F., Houet, T., Castets, M., Godin, C., Understanding Patchy Landscape Dynamics: Towards a Landscape Language. *PLOS One*, 10.1371/journal.pone.0046064 (2012).

# L'imagerie satellitaire non classée comme représentation paysagère alternative pour estimer des indicateurs de biodiversité

S. Lefevre<sup>1,2</sup>, S. Bonthoux<sup>3</sup>, C. Sausse<sup>4</sup>, D. Sheeren<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Toulouse, INP-ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, Av. de l'Agrobiopôle, BP 32607, Auzeville-Tolosane, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

Correspondant : [david.sheeren@ensat.fr](mailto:david.sheeren@ensat.fr) - 05.34.32.39.81

<sup>2</sup>INRA, UMR 1201 DYNAFOR, 24 chemin de Borde Rouge, Auzeville-Tolosane CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan Cedex

<sup>3</sup>ENSNP, UMR 7324 CITERES, 9 rue de la Chocolaterie, 41000 Blois.

<sup>4</sup>CETIOM, Centre de Grignon, Av. L. Brétignières, 78850 Thiverval Grignon

Mots-clés en français (max 5) : télédétection, NDVI, habitat, modélisation, oiseaux

La télédétection offre plusieurs manières de représenter l'état et la structure des habitats des organismes biologiques. Celle qui prédomine consiste à discrétiser le paysage en unités spectralement homogènes pour établir des cartes d'occupation des sols que l'on assimile aux habitats. Des descripteurs spatiaux peuvent alors être calculés pour expliquer la présence ou l'abondance de certaines espèces.

Bien que très répandue, cette approche impose de faire des choix sur les catégories d'occupation des sols et leur niveau de détail. Elle introduit de ce fait des *a priori* sur la perception du paysage qui peut être très différente de la vision qu'ont les espèces du milieu. De plus, la discrétisation gomme les particularités paysagères auxquelles peuvent être sensibles certaines espèces. Par conséquent, la modélisation des relations entre patrons paysagers et indicateurs de biodiversité peut être biaisée.

Une démarche alternative offerte par la télédétection consiste à conserver une représentation paysagère continue. Elle repose sur la mise en relation directe de la réflectance des images brutes et ses patrons d'hétérogénéités avec des indicateurs de biodiversité. La réflectance des données brutes (ou des indices dérivés) est le reflet de propriétés physiques voire fonctionnelles des habitats. Elle peut donc potentiellement expliquer la présence ou la richesse des espèces étudiées.

Dans ce travail, nous étudions l'effet de la représentation paysagère obtenue par télédétection sur la modélisation des relations oiseaux/habitat. D'abord, nous comparons la performance de modèles intégrant deux représentations différentes de l'état et la diversité des habitats à un instant donné : représentation discrète (CORINE Land Cover) *versus* représentation continue (indice de végétation NDVI). Ensuite, nous comparons les résultats de ces modèles avec d'autres modèles intégrant une représentation fonctionnelle des habitats. Cette représentation est obtenue à partir d'une classification de la signature temporelle des habitats issue d'une série d'images NDVI traduisant la phénologie de la végétation. La modélisation de type GLM est réalisée à l'échelle de la France. Les relevés d'oiseaux sont issus du programme national STOC (Suivi Temporel des Oiseaux Communs) à partir desquels sont calculés plusieurs variables réponses (richesse de groupes d'oiseaux spécialistes ou généralistes). Les images utilisées correspondent aux synthèses NDVI à 16 jours du capteur MODIS (250m de résolution spatiale).

Les premiers résultats obtenus montrent un impact important de la représentation paysagère sur la performance des modèles. On observe notamment que les images non classées offrent toujours un pouvoir explicatif plus élevé que les données classées (gain de déviance expliquée de 10 à 15% selon la date de l'image et la variable réponse considérée). L'utilisation d'images satellites non classées apparaît comme une source de donnée spatiale pertinente pour prédire les patrons de communautés d'oiseaux sur de larges étendues et à moindre coût.

## **Session « Fouille de données et initialisation de paysages virtuels »**

**Lamboni M.** (JRC, IES) : Modélisation de l'allocation de terre dans une grille fine

**Guyet T.** (AgroCampus) : Simuler l'assolement d'un paysage par reproduction des structures locales

**Da Silva S.** (LORIA) : Apprentissage et génération de haies dans un paysage : une approche couplant courbe adaptative de Hilbert et chaînes de Markov

**Kieu K.** (INRA) : Démonstration du package RLite (génération de paysages agricoles)

**Lazrak E. G.** (INRA) : Conception d'une typologie fonctionnelle des paysages pour la modélisation territoriale des flux hydriques et atmosphériques de l'azote

**Leenhardt D.** (INRA) : Modéliser les systèmes de culture d'un territoire irrigué par hybridation de savoirs d'acteurs et de bases de données

## Modélisation de l'allocation de terre dans une grille fine

M. Lamboni\*, R. Koeble, A. Leip

EC-Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra- Italy  
[matieyendou.lamboni@jrc.ec.europa.eu](mailto:matieyendou.lamboni@jrc.ec.europa.eu)

### Abstract

Les activités agricoles exercent une pression considérable sur les ressources environnementales. Quantifier l'impact environnemental de la production agricole pose un grand défi, en particulier pour des grandes zones hétérogènes. Ce papier utilise l'approche bayésienne pour l'inférence spatiale de l'allocation de terre en faisant meilleur usage de deux types de données. Nous modélisons la distribution spatiale de l'allocation de terre dans une zone géographique d'intérêt (grille fine, explicite, homogène par rapport à certains facteurs pédoclimatiques) en utilisant un modèle multinational. La première source de données, d'observations ponctuelles d'utilisation de terre, permet d'estimer les distributions a priori des paramètres du modèle et la seconde source de données (proportion d'allocation de terre) est utilisée pour investiguer les distributions postérieures. En raison du grand nombre de grilles explicites, nous avons fait l'hypothèse d'indépendance entre les différentes grilles afin d'obtenir une expression analytique de distributions postérieures. Un estimateur bayésien contraint et optimale est appliqué pour obtenir des prédictions consistantes de l'allocation de terre dans une grille explicite. Les simulations du modèle montrent l'efficacité de notre approche à travers l'application sur la France (Figure 1).

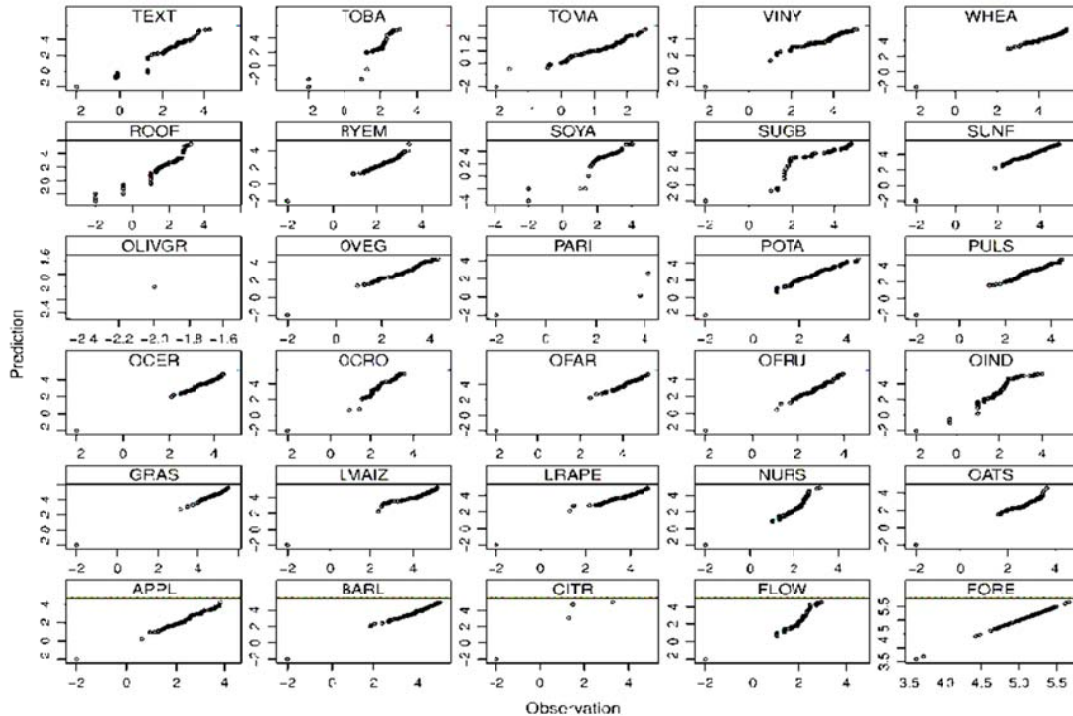


Figure 1: Q-Q plot entre les prédictions de la part de la terre et les observations à l'échelle NUTS3 en France (échelle logarithmique)



# Simuler l'assolement d'un paysage par reproduction des structures locales

Thomas Guyet\* (AGROCAMPUS-OUEST/IRISA), Hugues Boussard (INRA/SAD Paysage), Yves Moinard (INRIA/IRISA), René Quiniou (INRIA/IRISA)

[thomas.guyet@agrocampus-ouest.fr](mailto:thomas.guyet@agrocampus-ouest.fr)

65 rue de Saint Briec

35042 Rennes

02 99 84 75 94

Mots-clés en français (max 5) : Assolement, graphe de parcelles, résolution de contraintes, programmation logique

Le développement d'outils pour la simulation de paysages agricoles virtuels est un enjeu important pour l'étude des relations réciproques entre les paysages, les processus biophysiques et leurs acteurs. L'approche suivie dans ce travail s'inspire de l'approche de simulation neutre de GenExp-LandSite. Elle consiste à simuler des paysages agricoles « réalistes » en reproduisant des colocalisations de cultures qui caractérisent l'organisation d'un paysage réel.

Nous proposons la démarche générale de simulation de paysages suivante : 1) une représentation sous la forme d'un graphe de parcelles composant le paysage agricole réel, 2) la caractérisation d'un paysage numérique réel par une méthode de fouille de motifs fréquents et 3) la reconstruction d'assolements « réalistes » à l'aide de méthodes de programmation logique (ASP).

Nous partons de l'hypothèse qu'un paysage agricole est caractérisé par des structures locales, ou colocalisations de cultures, qui le composent. Un paysage bocagé est structuré par des ensembles des petites parcelles de prairies séparées par des haies, alors qu'un paysage de plaine ouverte sera plutôt structuré par des colocalisations de grandes parcelles des céréales sans haies. Ce sont ces structures caractéristiques que nous cherchons à reproduire lors de la génération d'un assolement. Cette génération est effectuée pour une date donnée, sans tenir compte des rotations de culture.

Un paysage agricole est représenté par un graphe (ensemble de nœuds connectés par des arcs) où chaque nœud représente une parcelle et les arcs encodent l'adjacence de deux parcelles. Cette représentation met en exergue les interfaces de cultures. Nous utilisons des outils de fouille de motifs pour extraire les colocalisations fréquentes de cultures, i.e. les « caractéristiques » d'un paysage réel.

Le cœur de notre proposition est l'utilisation d'un outil de programmation logique (ASP - Answer Set Programming) pour engendrer l'assolement d'un paysage réaliste à partir d'un parcellaire (les limites géométriques des parcelles étant données).

L'approche proposée offre la possibilité de générer un assolement dont l'organisation reproduit des structures locales extraites précédemment. D'autre part, il est possible de contrôler la génération de l'assolement au travers de règles et de contraintes de composition. Il est, par exemple, très aisé d'exprimer qu'il ne faut pas de parcelles de céréales à côté d'un cours d'eau, ou bien que la surface totale en prairie soit au delà de 5000ha.

La présentation s'attachera à présenter les résultats obtenus pour la génération de paysages agricoles et à montrer les possibilités d'un tel outil, en particulier l'expressivité des contraintes.

# Apprentissage et génération de haies dans un paysage : une approche couplant courbes adaptatives de Hilbert et chaînes de Markov

Sébastien da Silva, LORIA, Université de Lorraine, CNRS & INRIA NGE, Nancy  
Claire Lavigne, INRA UR 1115 Plantes de Systèmes de culture Horticoles (PSH), Avignon.  
Florence Le Ber, ICUBE, Université de Strasbourg/ENGÈES, CNRS, Strasbourg  
sebastien.da-silva@loria.fr

Mots-clés : Chaînes de Markov, Courbes de Hilbert-Peano, Haies

Pour linéariser une information spatiale, on utilise souvent une courbe remplissant l'espace, en particulier la courbe de Hilbert-Peano qui s'appuie sur un motif simple. Cependant, si le phénomène spatial étudié présente des irrégularités, des zones très denses et des zones vides d'information, la courbe classique, régulière, est peu appropriée. Il vaut mieux alors utiliser une méthode qui s'adapte localement à l'information : c'est ce que fait la courbe adaptative de Hilbert (CHA), dont l'algorithme est décrit par (Quinqueton et Berthod, 1981). Les chaînes de Markov, quant à elles, sont utilisées couramment dans de nombreuses applications, tant comme outil d'apprentissage automatique que comme outil de simulation, par exemple pour générer des successions de cultures dans un paysage (Castellazzi *et al.*, 2010).

Dans ce travail, nous proposons de coupler CHA et chaînes de Markov pour capter les caractéristiques spatiales des structures de haies dans deux paysages contrastés, en basse vallée de la Durance et en Bretagne. Chaque paysage a été découpé en cellules, elles-mêmes regroupées en classes en fonction du nombre d'éléments linéaires qu'elles contiennent (Le Ber *et al.*, 2012). Pour chaque cellule, a été défini un chemin parcourant les barycentres des segments de haies présents dans la cellule. Les chemins servent ensuite à l'apprentissage de chaînes de Markov. Trois modèles ont été appris, un pour les temps d'attente entre les barycentres (ou distance sur le chemin), un pour les longueurs de haies (discrétisées en 6 classes) et un pour les orientations des haies (6 classes). Ces trois variables sont considérées comme indépendantes. Les résultats obtenus sur l'ensemble des cellules permettent de constituer une bibliothèque de modèles.

Ces modèles appris servent alors à générer des paysages de haies. Nous avons défini pour cela un algorithme, qui opère un parcours sur une cellule vierge selon un chemin moyen et génère successivement les paramètres des haies (barycentre, longueur, orientation) en obéissant à des modèles de Markov choisis aléatoirement dans une classe de cellules. Un post-traitement est ensuite appliqué pour supprimer les croisements et autres défauts. Finalement, en jouant sur les paramètres, on peut générer une variété de paysages permettant de tester des scénarios d'aménagement de linéaires de haies.

## Références

- Castellazzi, M., J. Matthews, F. Angevin, C. Sausse, G. Wood, P. Burgess, I. Brown, K. Conrad et J. Perry (2010). Simulation scenarios of spatio-temporal arrangement of crops at the landscape scale. *Environmental Modelling & Software*, 25 (12), 1881-1889.
- Le Ber F., Lavigne C. et Da Silva S. Structure analysis of hedgerows and other perennial landscape lines in two French agricultural landscapes. *15th AGILE International Conference*, Avignon, 2012, 6 pages.
- Quinqueton, J. et M. Berthod (1981). A Locally Adaptive Peano Scanning Algorithm. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-3 (4)

# RLiTe ET LA GÉNÉRATION DE PARCELLAIRES AGRICOLES

Kiêu, Kiên\* et Adamczyk-Chauvat, Katarzyna

UR341 Mathématiques et Informatique Appliquées, INRA, 78350 Jouy-en-Josas

[kien.kieu@jouy.inra.fr](mailto:kien.kieu@jouy.inra.fr)

01 34 65 28 16

Mots-clés : parcelles agricoles, tessellations, simulation, estimation

RLiTe est un paquetage R dédié aux tessellations aléatoires en T (Kiêu et al. 2013). On montrera comment l'utiliser pour générer des parcellaires agricoles.

La première étape consiste à sélectionner un modèle stochastique de tessellation. Le plus simple est un modèle de tessellation qu'on peut considérer comme complètement aléatoire. Mais du fait de la très grande variabilité des tailles et des formes des parcelles générées par ce modèle, les paysages obtenus ne sont pas très réalistes.

En général, on se dirigera vers des modèles alternatifs définis par une fonction d'énergie pénalisant les configurations considérées comme irréalistes. Des exemples simples de fonctions d'énergie permettant de contrôler les orientations relatives des bordures de parcelles et la variabilité de leurs aires, et implémentés dans RLiTe, seront présentés.

En pratique, une fois la forme de la fonction d'énergie sélectionnée, il faut choisir les valeurs numériques des paramètres du modèle. Des stratégies empiriques d'exploration de l'espace des paramètres basées sur des simulations sont envisageables. On peut aussi partir de parcellaires observés et chercher à déterminer quelles sont les valeurs de paramètres susceptibles de produire ces parcellaires. Cette démarche peut être mise en œuvre dans RLiTe via une méthode d'inférence paramétrique basée sur une pseudo-vraisemblance.

On verra ensuite comment simuler des modèles. L'algorithme itératif implémenté dans RLiTe est de type Metropolis-Hastings. On verra, sur la base d'exemples concrets, comment déterminer que la phase de chauffe est passée et comment sélectionner une période d'échantillonnage pour obtenir un échantillon de paysages.

Kiêu, K. K. Adamczyk-Chauvat, H. Monod, R. S. Stoica. A completely random T-tessellation model and Gibbsian extensions. *Spatial Statistics*, 6, 118-138, 2013.

# Conception d'une typologie fonctionnelle des paysages pour la modélisation territoriale des flux hydriques et atmosphériques de l'azote

El Ghali [Lazrak](#)<sup>1\*</sup>, Jean-François Mari<sup>3</sup>, Paul Passy<sup>2</sup>, Fabienne Barataud<sup>1</sup> et Catherine Mignolet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA-SAD Unité ASTER, 88500 Mirecourt

<sup>2</sup>CNRS, UMR Sisyphe 7619, Box 123, 4 Place Jussieu, 75005 Paris

<sup>3</sup>LORIA : UMR 7503 et INRIA-Grand Est, B.P. 239 54506 Vandœuvre-lès-Nancy

\*lazrak@mirecourt.inra.fr ; 03 29 38 55 00

Mots-clés en français (max 5) : typologie du paysage, cascade de l'azote, chaînes de Markov Cachées, segmentation, fouille de données hétérogènes

Pour modéliser la cascade de l'azote à l'échelle macro-territoriale, il apparaît nécessaire de segmenter le territoire en unités paysagères pertinentes au regard des flux d'azote hydriques et atmosphériques. La reconnaissance de ces unités paysagères nous conduit à proposer une démarche de construction de typologies de paysages à partir de données hétérogènes. Parmi les méthodes de segmentation de territoires en unités homogènes, nous faisons l'hypothèse que les chaînes de Markov cachées (CMC) sont des méthodes adaptées à la reconnaissance d'unités paysagères à partir de corpus de données hétérogènes combinant des variables de natures différentes. La boîte à outils ARPENTAGE est un ensemble de programmes de fouille de données qui s'appuient sur la théorie des CMC pour la segmentation et l'analyse de données spatiales et (ou) temporelles. Dans le cas présenté, ARPENTAGE prend en entrée des variables paysagères relatives au relief, à l'usage des sols, aux structures paysagères telles que les haies ou les zones humides, et à l'agencement spatial de ces différents éléments. Le résultat de la segmentation avec ARPENTAGE est une classification probabiliste où les classes sont représentées par des distributions d'observations, une observation étant un n-uplet constitué d'une séquence de n modalités correspondant aux variables paysagères choisies. Cette approche a été mise en œuvre sur le bassin versant du Grand-Morin en Seine-et-Marne (1200 km<sup>2</sup>). Les premières fouilles de données ont permis d'obtenir des résultats encourageants mais leur interprétation reste difficile en raison du nombre important d'observations qui décrivent une classe. Pour améliorer l'interprétation des classes issues de la segmentation, nous avons implémenté plusieurs procédures : (i) le calcul de la divergence de Kulback-Leibler qui mesure la distance entre deux distributions afin de fusionner les classes proches et d'augmenter le nombre de classes de la typologie pour obtenir des états moins bruités ; (ii) l'algorithme Apriori qui permet la recherche d'items fréquents de différentes longueurs et favorise ainsi une interprétation rapide des classes ; (iii) l'algorithme MBD-LLBORDER qui recherche les items émergents dont la fréquence augmente significativement d'une classe à une autre et permet ainsi d'extraire les différences entre les classes et de mieux les caractériser ; (iv) la bibliothèque graphique JavaScript D3 pour le développement d'un site web qui, à partir des résultats d'ARPENTAGE, fournit une visualisation interactive des types paysagers en même temps que leurs éléments paysagers les plus fréquents. La généralité de cette approche sera testée sur deux autres territoires d'extensions proches mais de caractéristiques paysagères contrastées.

## **Modéliser les systèmes de culture d'un territoire irrigué par hybridation de savoirs d'acteurs et de bases de données**

Clément Murgue, Olivier Therond, Delphine Leenhardt\*

Agronomie, INRA UMR 1248, 24 chemin de Borderouge B.P. 52627 F-31326 Castanet Tolosan

\*delphine.burger-leenhardt@toulouse.inra.fr, +33.(0)5.61.28.50.43

Mots-clés : spatialisation, pratiques agricoles, participation

Le travail restitué ici s'inscrit dans le cadre d'un projet de conception-évaluation pour une gestion spatiale de l'eau, au cours duquel nous avons co-construit, avec les acteurs locaux, un modèle de simulation multi-agent et spatialement explicite qui représente les interactions entre les systèmes institutionnels, hydrologiques et agricoles de ce territoire. Un des principaux enjeux était de décrire la distribution spatiale des systèmes de culture dans le territoire.

Nous avons pour objectif de localiser et décrire les systèmes de culture de manière exhaustive sur les 12000 îlots de culture du territoire d'étude, le bassin aval de l'Aveyron (840 km<sup>2</sup>). Par définition, les systèmes de culture sont qualifiés par les successions de cultures et les itinéraires techniques. Pour simuler les interactions entre dynamique des opérations techniques et variabilité du climat, nous avons choisi de formaliser les itinéraires techniques sous la forme de règles de décisions d'agriculteurs basées sur l'observation de leur environnement et sur l'organisation du travail au sein de l'exploitation. Pour caractériser les 12000 îlots du territoire, nous avons valorisé la diversité des informations disponibles dans des bases de données et les savoirs d'experts locaux au sein d'une démarche hybridant ces différents types de connaissances. Cette démarche s'appuie sur le Registre Parcellaire Graphique (RPG) comme principale source d'information sur les assolements et les séquences de culture, et sur une interaction continue avec une quarantaine d'acteurs dans le cadre d'ateliers de cartographie participative pour préciser les types de rotations et leur localisation géographique, et d'entretiens semi directifs en exploitation pour détailler les règles de décisions associées aux itinéraires techniques.

A l'issue de ce travail, nous sommes en mesure d'attribuer un système de culture (rotation et itinéraires techniques) à chacune des parcelles du bassin aval de l'Aveyron. Une trentaine d'itinéraires techniques (jeux de règles de décision) pour 17 cultures différentes, dont 7 variétés différentes de maïs ont été modélisés. Cette modélisation est intégrée dans un simulateur multi-agent qui permet de simuler la dynamique des prélèvements en eau d'irrigation de chacun des îlots irrigués dans les différentes ressources en eau (cours d'eau, retenues, nappes) du territoire d'étude. Cette étape de co-représentation du territoire a été cruciale car elle a permis de familiariser les acteurs avec nos approches de modélisation participative et nos objectifs, et a suscité leur curiosité pour la suite du processus de conception-évaluation d'alternatives de distributions spatiales de systèmes de cultures en vue de minimiser l'occurrence de crises de gestion de l'eau.

## **Session « Caractérisation et simulation dynamique des paysages »**

**Bamière L.** (INRA) : La spatialisation dans les modèles micro-économiques d'offre agricole pour l'analyse des politiques environnementales : application aux cas de la biodiversité et de la biomasse-énergie

**Martel G.** (INRA) : Impact des conduites des systèmes d'élevage sur les continuités écologiques : proposition d'une démarche de modélisation – simulation

**Guerrin F.** (CIRAD) : Modélisation et simulation de la gestion territoriale de produits résiduaux organiques

**Etienne M.** (INRA) : Dynamique des paysages agricoles et apiculture : un difficile emboîtement entre entités de gestion et unités fonctionnelles

**Choisis J.P.** (INP-ENSAT- INRA) : Démonstration du modèle ATLAS : un simulateur de dynamiques de paysage agricole pour l'étude des interactions entre paysage et dynamiques de populations d'insectes par approche multi-agent.

# La spatialisation dans les modèles micro-économiques d'offre agricole pour l'analyse des politiques environnementales : application aux cas de la biodiversité et de la biomasse-énergie

Bamière\* Laure, UMR 210 INRA-AgroParisTech Economie Publique, 1 avenue Lucien Brétignière, 78850 Thiverval-Grignon.  
[laure.bamiere@grignon.inra.fr](mailto:laure.bamiere@grignon.inra.fr), 01 30 81 59 12

Mots-clés en français (max 5) : modélisation spatiale, programmation mathématique, micro-économie, politique agro-environnementale, offre agricole.

Nous nous sommes intéressés à la problématique générale de l'élaboration de politiques publiques permettant une répartition spatiale des activités agricoles efficace du point de vue environnemental, dans les domaines de la protection de la biodiversité et de la production de biomasse-énergie. Les modèles que nous avons construits pour concevoir et évaluer de telles politiques permettent de rendre compte des changements d'activités et pratiques agricoles et de leur localisation. Cela nécessite de prendre en compte à la fois les aspects spatiaux, la prise de décision au niveau des exploitations agricoles et une modélisation fine des systèmes d'exploitation.

Dans le premier cas, nous nous plaçons en amont de la conception d'une politique publique et nous essayons de déterminer si la production de biomasse-énergie peut se faire de manière durable sans intervention. Nous développons un modèle régional d'offre de biomasse agricole et forestière, spatialement explicite et à maille cantonale. Les aspects spatiaux y sont abordés à la fois par la prise en compte du contexte agro-pédo-climatique et des distances et coûts de transport entre les lieux de production et d'utilisation de la biomasse. Nous appliquons le modèle à la région Champagne-Ardenne pour analyser l'offre de biomasse et les impacts de sa production, face à une demande accrue. Les résultats mettent en évidence la compétition, potentiellement problématique, entre cultures alimentaires et énergétiques sur les terres les plus fertiles.

Dans le deuxième cas, nous nous penchons sur la conception d'une politique agro-environnementale coût-efficace, qui génère une configuration spatiale non-agrégée des parcelles contractualisées, adaptée à la conservation de l'Outarde Canepetière dans la Plaine de Niort. Nous développons un modèle associant une représentation fine des systèmes d'exploitation à une approche spatialement explicite, basée sur la prise en compte du contexte agro-pédo-climatique, des interactions entre les échelles parcelles, exploitation et paysage, ainsi que sur le calcul d'un indicateur spatial. Nous comparons, entre autres, le coût budgétaire et l'efficacité de différents instruments incitatifs.

La prise en compte simultanée, dans les modèles de programmation mathématique, de la dimension spatiale et de la prise de décision au niveau des exploitations agricoles permet d'une part d'évaluer finement les coûts et, d'autre part, de mettre en évidence et d'étudier des arbitrages entre coûts et efficacité environnementale des politiques publiques. Ainsi, cette approche permet d'éclairer la conception et l'évaluation des politiques environnementales dans le secteur agricole.

# **Impact des conduites des systèmes d'élevage sur les continuités écologiques : proposition d'une démarche de modélisation - simulation.**

Martel Gilles\*, Aviron Stéphanie, Boussard Hugues, Joannon Alexandre, Roche Bénédicte  
INRA, SAD-Paysage, 65 Rue de Saint Briec, CS 84215, 35042 Rennes Cedex, France  
\*gilles.martel@rennes.inra.fr, 02 23 48 70 25

Mots-clés : Système d'élevage, Continuité écologiques, Modélisation spatiale, Scénarios

Jusqu'à présent la politique des trames vertes s'est focalisée sur les continuités entre éléments semi-naturels (haie, prairie permanente, bois), les autres éléments constituant le paysage agricole étant souvent considérés comme une matrice neutre ou hostile à la biodiversité. Des travaux récents montrent que la part de couverts cultivés dans le paysage et les continuités entre couverts cultivés au sein des parcelles agricoles peuvent également avoir un impact positif sur la biodiversité des paysages agricoles. Or ces éléments sont directement influencés par les décisions des agriculteurs relatives aux choix de couverts et à leur allocation sur les parcelles de leur exploitation. Dans des régions d'élevage, ces décisions sont fortement liées aux systèmes d'élevage mis en œuvre.

Aussi l'objectif du travail que nous présentons est d'analyser l'impact des modes de conduite des systèmes d'élevage, principalement les choix de production animale et les choix d'alimentation, sur l'organisation des paysages agricoles. Pour cela nous avons développés une démarche en 5 étapes :

1. Analyse des décisions d'assolement par enquêtes dans une diversité d'exploitations d'élevage bretonnes (bovins lait, porcins, avicoles, mixtes...)
2. Modélisation des décisions d'allocation des cultures dans ces différents systèmes
3. Validation du modèle à dire d'expert (agriculteurs) sur la base de sorties de simulation
4. Simulation de scénarios contrastés : deux paysages (contrastés sur les longueurs de haies) dans lesquels la proportion de différents systèmes de production (lait ou porc) varie.
5. Analyse de la diversité des paysages simulés vis-à-vis de descripteurs potentiellement explicatifs de l'abondance et de la richesse spécifique des carabes.

Nous présenterons l'ensemble de la démarche et des premiers résultats sur deux scénarios contrastés.



# Modélisation et simulation de la gestion territoriale de produits résiduaux organiques

François Guerrin\*

Inra MIA et Cirad, UR Recyclage et risque

TA B-78/01 - Avenue Agropolis - F-34398 Montpellier Cedex 5

Mail : [francois.guerrin@cirad.fr](mailto:francois.guerrin@cirad.fr)

Tél : 04 67 61 71 95

Mots-clés en français : simulation ; dynamique des systèmes ; représentation de l'action ; gestion de production ; produits résiduaux organiques

## Résumé

La population mondiale en forte croissance, notamment dans les villes, nécessite une augmentation de la production alimentaire et accroît corrélativement la production de déchets. Dans ce contexte, le recyclage agricole de produits résiduaux organiques (PRO) contribue à améliorer la durabilité de l'agriculture, en particulier, en réduisant son impact environnemental par la substitution d'engrais chimiques pour fertiliser les cultures.

Concevoir des systèmes de production faisant appel au recyclage de PRO et raisonner leur organisation à l'échelle de territoires, nécessite l'usage de connaissances nombreuses et hétérogènes, à la fois sur les composants biophysiques (PRO, sols, cultures, environnement) et humains (pratiques de gestion des agriculteurs, organisation collective) de ces systèmes.

Nous développons pour cela des modèles de simulation dynamique permettant d'intégrer ces connaissances pour représenter ces systèmes comme des ensembles d'unités de production et de consommation réparties spatialement. Ces modèles permettent de simuler des scénarios de gestion de PRO aux niveaux de l'exploitation et du territoire et d'évaluer leurs performances agronomiques et environnementales.

On présentera brièvement les deux aspects de la problématique du recyclage agricole de PRO : configuration de réseaux d'unités de production et de consommation de PRO ; synchronisation des flux d'offre et de demande de PRO. L'ontologie Action-Flux-Stock et le formalisme conçus pour créer des modèles de simulation dynamique de ces systèmes seront décrits. L'utilisation de ces modèles sera illustrée sur quelques cas.

# Dynamique des paysages agricoles et apiculture : un difficile emboîtement entre entités de gestion et unités fonctionnelles

Etienne Michel\*, INRA, Ecodevelopment Unit, Site Agroparc, 84914 Avignon, France  
Allier Fabrice, ITSAP, UMT PrADE, Site Agroparc, 84914 Avignon, France  
Decourtye Axel, ACTA, UMT PrADE, Site Agroparc, 84914 Avignon, France  
Gourrat Marine, ITSAP, 149 rue de Bercy, 75595 Paris, France  
[etienne@avignon.inra.fr](mailto:etienne@avignon.inra.fr), tel : 0432722577

Mots-clés en français (max 5) : agriculture, apiculture, entité de gestion, paysage, système socio-écologique

## Résumé

L'apiculture moderne a progressivement transformé une activité de loisir en une activité commerciale avec un accroissement important des interactions entre abeilles et zones cultivées. Trois situations contrastées sont représentées en France : des agriculteurs cultivent des plantes aromatiques dont le nectar permet de produire un miel labellisé à forte valeur marchande (systèmes céréales-lavande des plateaux de haute Provence), des arboriculteurs ou des maraichers contractualisent la présence de ruches sur leur exploitation pour assurer la production de fruits ou de graines potagères (systèmes arboricoles de la vallée du Rhône, producteurs de semences maraîchères de la région Centre), des apiculteurs profitent du nectar produit par des plantes de grande culture comme le colza ou le tournesol (systèmes de grandes cultures). Ces situations posent un problème particulier de modélisation de la dynamique des paysages, dans la mesure où agriculteurs et apiculteurs ne raisonnent pas sur les mêmes échelles d'espace et de temps. De plus les entités de gestion propres à chaque activité sont plutôt topologiques chez l'agriculteur et centre-périphérie chez l'apiculteur.

Une recherche participative est en cours de développement pour promouvoir la collaboration et la coopération entre agriculteurs et apiculteurs via un processus de modélisation d'accompagnement dans lequel un modèle de dynamique des paysages sert d'objet médiateur entre ces deux types d'acteurs. Il s'agit de représenter la dynamique du paysage agricole et son effet sur la dynamique et la productivité des ruches pour faire comprendre et discuter la complexité des interactions entre abeilles et cultures. Les trois systèmes socio-écologiques évoqués sont représentés sous la forme d'un paysage fictif mais réaliste (type de cultures, taille des exploitations et des parcelles) représentant un paysage agricole typique adaptable à des contextes particuliers de pratiques agricoles (bio vs conventionnel, bocager vs non bocager, grandes cultures exclusives vs grandes cultures et élevage). La dynamique du paysage agricole est dictée par les règles d'assolement et de rotation des agriculteurs, alors que la dynamique des ruches est liée aux décisions d'emplacement et de préparation des ruchers des apiculteurs et à l'impact des pratiques agricoles sur leur santé.

Les difficultés liées à l'emboîtement entre entités de gestion des agriculteurs et des apiculteurs et unités fonctionnelles pour les abeilles sont discutées. Les problèmes liés aux décalages temporels entre l'état d'un paysage et ses effets sur le fonctionnement du système socio-écologique sont soulevés. Les modalités de modélisation de ce fonctionnement au moyen d'un système multi-agent sont présentées.

# **ATLAS : un simulateur de dynamiques de paysage agricole pour l'étude des interactions entre paysage et dynamiques de populations d'insectes par approche multi-agent.**

\*Hugo Thierry<sup>a</sup>, Aude Vialatte<sup>a</sup>, Jean-Philippe Choisis<sup>b</sup>, Benoit Gaudou<sup>c</sup> and Claude Monteil<sup>a</sup>

a Université de Toulouse, UMR 1201 DYNAFOR, F-31326 Castanet Tolosan, France.

b INRA, UMR 1201 DYNAFOR, F-31326 Castanet Tolosan, France.

c Université de Toulouse, UMR 5505 IRIT, F-31042 Toulouse, France.

Auteur correspondant : Hugo.thierry@ensat.fr ; tel : 0777306884

Mots-clés en français (max 5) : Paysage Agricole, Rotations de cultures, Phénologie, Simulateur, GAMA

Dans un contexte visant à réduire l'utilisation de pesticides dans les paysages agricoles, la sollicitation et la favorisation de services écosystémiques de régulation, notamment via des ennemis naturels de ravageurs des cultures, constituent une solution alternative dont il importe d'analyser l'efficacité selon divers scénarios de mise en œuvre.

Les paysages agricoles sont des écosystèmes dotés d'une forte variabilité spatio-temporelle. La rotation et la phénologie des cultures définissent une mosaïque dynamique du paysage qui influence de manière importante le cycle de vie des ravageurs et de leurs ennemis naturels.

Afin de tester des scénarios d'organisation paysagère spatio-temporelle pour favoriser la régulation de ravageurs, nous avons développé sur une plateforme multi-agent le modèle ATLAS (Agricultural Landscape Simulator) simulant de manière simple et générique la dynamique d'un paysage agricole. Ce modèle est basé sur l'association d'une rotation à chacune des parcelles cultivées d'un paysage agricole et prend en compte la phénologie des cultures avec des périodes de semis et des seuils de degrés-jours pour les différents stades phénologiques de la culture. Les données spatiales d'entrée se limitent à la connaissance de l'occupation des sols pour une année initiale unique. A partir de rotations-types définies par l'utilisateur, le modèle attribue de manière statistique une rotation à chaque parcelle en cohérence avec les couverts définis dans le fichier SIG d'entrée.

Le modèle ATLAS a été validé sur un paysage issu de la zone LTER (LongTerm Ecological Research Site) des coteaux de Gascogne au sud-ouest de Toulouse en comparant les mosaïques et l'hétérogénéité des couverts produits par simulation avec des données terrain de suivi des couverts.

Le modèle ATLAS permet donc d'obtenir un paysage agricole dynamique dans lequel sont intégrées à la fois les rotations des cultures et leur phénologie, lesquelles influencent directement la disponibilité spatio-temporelle des ressources pour les populations de ravageurs et d'auxiliaires considérés. Couplé à des modèles de dynamiques de populations de type prédateur-proie, il constitue un outil pour tester des scénarios d'organisation spatio-temporelle des cultures et des éléments semi-naturels (prairies, bois), de pratiques culturales (dates de semis) et de changements climatiques (sur la base de données météorologiques) et leurs conséquences sur les processus de régulation des ravageurs par leurs ennemis naturels.

## **Session « Analyse de l'impact du paysage sur les processus biotiques et abiotiques »**

**Ciss M.** (INRA) : Exploration de la régulation de nuisibles dans le cadre de paysages agricoles dynamiques

**Bonnefon O.** (INRA) : Simulations d'un modèle d'interaction entre parcelles et bordures, application à la simulation de dynamique des populations de ravageurs sur des paysages

**Leclerc M.** (INRA) : Modélisation des trajectoires de lépidoptères dans un paysage hétérogène

**Riou J. B.** (INRA) : Étude comparative de méthodes statistiques d'analyse de la relation entre paysage et abondances d'insectes ravageurs

**Morison M.** (INRA) : Démonstration de PODYAM ET MODPEST, deux outils pour la modélisation des dynamiques de plusieurs bioagresseurs à l'échelle du paysage

**Delattre T.** (INRA) : Fragmentation, instabilité des habitats et processus évolutifs dans les paysages : modélisation basée-individus des syndromes de dispersion

**Stockel S.** (INRA) : Impact de motifs paysagers élémentaires sur la structure génétique des populations à petite échelle (SGS)

**Dupont S.** (INRA) : Modélisation mécaniste de la dispersion atmosphérique de particules biotiques et abiotiques à l'échelle du paysage

**Reulier R.** (CNRS) : Impact de la structure paysagère sur les transferts hydro-sédimentaires. Approche par système multi-agents

# Exploration de la régulation de nuisibles dans le cadre de paysages agricoles dynamiques

Mamadou Ciss<sup>a,b\*</sup>, Sylvain Poggi<sup>b</sup>, Lionel Roques<sup>c</sup>, Mohamed Mahmoud Memmah<sup>a</sup>, Vincent Martinet<sup>d</sup>, Marie Gosme<sup>e</sup>, Benoit Ricci<sup>f</sup>, Nicolas Parisey<sup>b</sup>

<sup>a</sup>INRA, UR 1115 PSH, F-84914 Avignon, France : [mamadou.ciss@rennes.inra.fr](mailto:mamadou.ciss@rennes.inra.fr) tel : 02 23 48 70 29

<sup>b</sup>INRA, UMR 1349 IGEPP, F-35653, Le Rheu, France

<sup>c</sup>INRA, UR 546 BioSP, F-84914 Avignon, France.

<sup>d</sup>INRA, UMR 210 Economie Publique, F-78850, Thiverval Grignon, France

<sup>e</sup>INRA, UMR 211 Agronomie, F-78850, Thiverval-Grignon, France

<sup>f</sup>INRA, UMR 1347 Agroécologie, F-21000 Dijon, France

Mots-clés: Modèle de paysage dynamique, dynamique de populations, régulation biologique, fragmentation, hétérogénéité spatio-temporelle.

Compte tenu de la prise de conscience des effets néfastes des pesticides sur la santé et l'environnement, les méthodes alternatives de lutte contre les organismes nuisibles sont amenées à être évaluées de plus en plus. Parmi celles-ci, la régulation biologique par leurs ennemis naturels apparaît comme un levier d'action important. Par exemple, il est communément admis que la densité de la plupart des ennemis naturels des ravageurs dans les champs est fortement liée à la présence d'habitats non agricoles [1]. En outre, l'environnement physique et/ou les systèmes d'exploitation entraînent la formation de divers habitats (tels que les champs de cultivés, les bois, etc.) qui influent sur la survie des insectes nuisibles et de leurs ennemis naturels.

Ainsi, afin d'étudier le rôle de la fragmentation du paysage et/ou de la rotation culturale sur la régulation des ravageurs, nous avons exploré la distribution des ravageurs à l'échelle du paysage à travers des expériences *in silico* en combinant un modèle de paysage dynamique avec un modèle de dynamique des populations. La composante spatialement explicite de notre modèle de paysage agricole a été basée sur une mesure de Gibbs qui nous a permis de contrôler la configuration du paysage. Nous avons considéré quatre classes d'utilisation des sols: les habitats semi-naturels, les cultures non traitées (i.e. sans insecticides), les cultures faiblement traitées (utilisation modérée des insecticides) et les cultures conventionnellement traitées (utilisation excessive d'insecticides). La configuration du paysage a été définie par la proportion de chaque type d'occupation du sol et par son indice de fragmentation [2]. L'évolution du paysage au fil du temps a été modélisée comme un processus markovien définissant les rotations culturales. Couplé à ce modèle de paysage, le modèle de dynamique des populations est essentiellement fondé sur un système de type Lotka-Volterra simulant la dynamique des ravageurs (proies) et de leurs ennemis naturels (prédateurs).

Sur la base de ces modèles couplés, nous avons étudié l'impact de l'hétérogénéité spatio-temporelle du paysage par le biais d'une fonction de densité de nuisibles que nous avons utilisée comme un proxy pour la régulation des ravageurs.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR PEERLESS en cours dont les objectifs consistent à évaluer l'acceptabilité économique des pratiques agricoles alternatives et la réalisation d'une analyse coûts-avantages des politiques proposées pour lutter contre les insectes ravageurs et les mauvaises herbes.

# Simulations d'un modèle d'interaction entre parcelles et bordures, application à la dynamique des populations de ravageurs sur des paysages

Olivier Bonnefon\*, Lionel Roques  
INRA, UR 546 BioSP, F-84914 Avignon, France.  
Mail: [obonnefon@avignon.inra.fr](mailto:obonnefon@avignon.inra.fr)  
Tél: 04 32 72 21 58

Mots-clés : dynamique des populations, équations aux dérivées partielles, lutte biologique, couplage multidimensionnel.

Le récent travail de recherche [1] étudie l'influence d'un élément linéaire (1D) lors d'une invasion biologique dans un espace bidimensionnel (2D). Les auteurs proposent un modèle de diffusion avec un terme de croissance logistique couplant des éléments de support 2D et 1D. Ils démontrent que la présence d'éléments linéaires peut accélérer la colonisation de tout le domaine.

Nous proposons ici d'adapter ce modèle à des géométries plus complexes, notamment des géométries parcellaires. Cela nous permet d'étudier l'influence des bordures linéaires sur l'efficacité d'auxiliaires de culture à lutter contre des ravageurs.

A cet effet, nous simulons un modèle de type Lotka-Volterra spatialisé comportant deux types d'habitats: des parcelles 2D et des bordures 1D. Chaque élément géométrique est associé à une dynamique particulière. Ces dynamiques sont couplées par des flux. L'originalité de ce travail est le couplage fort d'équations aux dérivées partielles 1D et 2D pour la modélisation d'une dynamique de populations.

Nous avons développé un code de simulation permettant de simuler ce modèle à partir d'une description géométrique du paysage. Nous présenterons des simulations comparant des stratégies de lutte. Ces simulations soulignent le rôle potentiellement important des bordures dans la dynamique des populations d'auxiliaires et de ravageurs des cultures.

## Références

[1] Henri BERESTYCKI, Jean-Michel ROQUEJOFFRE, Luca ROSSI : The influence of a line with fast diffusion on fisher-kpp propagation. *Journal of Mathematical Biology*, (March 2013, Volume 66, Issue 4-5, pp 743-766), 2013.

# Modélisation des trajectoires de Lépidoptères dans un paysage hétérogène

Melen Leclerc<sup>\*1,2</sup>, Maya Guéguen<sup>1</sup>, Etienne K. Klein<sup>1</sup>, Jérôme Coville<sup>1</sup>, Olivier Bonnefon<sup>1</sup>, Lionel Roques<sup>1</sup>, Antoine Messéan<sup>2</sup>, Samuel Soubeyrand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UR 546 Biostatistique et Processus Spatiaux, Inra - Domaine Saint Paul, 84914 Avignon Cedex 9

<sup>2</sup>UAR 1240 Impacts Ecologiques des Innovations en Production Végétale, Inra - Avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon

[\\*melen.leclerc@avignon.inra.fr](mailto:melen.leclerc@avignon.inra.fr)

04 32 72 21 45

Mots-clés : modélisation individu-centrée, paysage aléatoire, trajectoires, Lépidoptères

Comprendre la dynamique spatio-temporelle des populations (nuisibles, auxiliaires, espèces d'intérêt patrimonial ...) à l'échelle du paysage est essentiel afin de construire des stratégies de gestion efficaces pour ces mêmes populations. Les organismes inféodés aux agro-écosystèmes vivent dans un habitat fortement anthropisé qui est généralement fragmenté et hétérogène. La structure du paysage pouvant impacter des processus tels que la dispersion, l'appréhension et la prédiction de la dynamique des populations à l'échelle régionale peuvent se révéler difficiles.

Dans le cas particulier des Lépidoptères on peut, en général, distinguer les éléments du paysage qui sont attractifs (zones présentant des plantes néctarifères et/ou des plantes hôtes) de ceux qui sont répulsifs ou qui ont un effet de barrière (haies pour certaines espèces). Nous présentons ici un cadre de modélisation qui permet de simuler les trajectoires des papillons dans un paysage agricole hétérogène qui influe sur le mouvement des individus. Nous commençons par exposer le modèle individu-centré, construit à partir d'un système d'équations différentielles stochastiques, qui correspond à un modèle de trajectoire décrivant le mouvement de particules dans un champ de forces. Nous proposons ensuite une méthodologie qui permet de i) simuler des paysages présentant des zones attractives et/ou répulsives situées en bordure de champ, et, ii) construire un champ de force dans lequel les Lépidoptères évoluent. Enfin, nous présentons des résultats de simulations afin d'illustrer comment ce cadre de modélisation peut être utilisé pour étudier les effets de la structure du paysage agricole sur la dynamique spatio-temporelle d'organismes tels que les Lépidoptères.

## Etude comparative de méthodes statistiques d'analyse de la relation entre paysage et abondances d'insectes ravageurs

Riou Jean-Baptiste<sup>1</sup>, Gosme Marie<sup>2</sup>, Parisey Nicolas<sup>1</sup>, Poggi Sylvain\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR1349 IGEPP, F-35653 Le Rheu / <sup>2</sup>INRA, UMR211 Agronomie, F-78850 Thiverval-Grignon / \* Auteur correspondant : sylvain.poggi@inra.rennes.fr - 02 23 48 51 52

**Mots-clés** : méligèthe, métriques paysagères, modèle de simulation, modèles linéaires généralisés, random forests

La gestion des populations de ravageurs des cultures revêt une importance capitale pour la production agricole. Les conséquences environnementales du recours systématique aux produits phytopharmaceutiques nous obligent à chercher de nouveaux moyens de contrôle. Or, la structure et la composition du paysage influencent la dynamique de ces populations en créant une mosaïque d'habitats plus ou moins favorables et fournissant plus ou moins de ressources. Avant de pouvoir envisager la structure du paysage comme un levier de gestion des ravageurs, il convient de déterminer les effets du paysage agricole sur les abondances de ravageurs dans les parcelles. Cette question se heurte à plusieurs difficultés méthodologiques, qui vont du choix de l'étendue de la zone d'étude [1] à la sélection des méthodes d'analyses statistiques en passant par la définition des métriques paysagères utilisées pour caractériser le paysage [2]. Cette étude se concentre sur le système colza/méligèthe (*Meligethes aeneus*)/parasitoïde (*Tersilochus heterocerus*), connu pour être largement soumis à l'influence du paysage [3], et pour lequel il existe à la fois des données d'observation [4] et un modèle de simulation [5].

La résolution thématique de ces données (classification des occupations du sol) nous a permis de tester différentes métriques paysagères caractérisant le paysage en termes de proportion des différents habitats ou en termes de forme ou de configuration des parcelles. Plusieurs approches de modélisation statistique du lien entre l'abondance d'insectes et le paysage, à savoir principalement, le modèle linéaire généralisé avec plusieurs procédures de sélection de variables, une approche d'inférence multi-modèle et l'approche random forests sont comparées sur des jeux de données réels et simulés. Les consensus et les différences entre ces approches dans la détection d'effets sont analysés. Le travail sur données simulées permet, connaissant le signal à détecter, d'analyser si et dans quelle mesure, les approches utilisées retrouvent ce signal. L'effet majeur confirmé par l'ensemble des méthodes est la proportion de zone boisée dans le paysage. Les résultats confirment également la validité de l'utilisation de métriques de proportions d'habitats, qui sont par ailleurs plus facilement calculables, interprétables et éventuellement utilisables pour gérer les ravageurs que des métriques plus complexes prenant en compte la taille et la forme des parcelles.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet COPACABANA (financé par le méta-programme SMaCH de l'INRA), dont l'objectif principal est de déterminer l'influence du paysage sur la structure génétique et la dynamique des populations de ravageurs.

### Références

- [1] Jackson, H.B., and Fahrig, L. (2012). *Landsc. Ecol.* 27, 929-941.
- [2] Leitão, A.B. (2006). Washington, DC: Island Press.
- [3] Thies, C., Steffan-Dewenter, I., and Tscharrntke, T. (2003). *Oikos* 101, 18-25.
- [4] Rusch, A. et al (2011). *Landsc. Ecol.* 26, 473-486.
- [5] Vinatier, F., Gosme, M., and Valantin-Morison, M. (2012). *Landsc. Ecol.* 27, 1421-1433.



# PODYAM et MODPEST

## Deux outils pour la modélisation des dynamiques de plusieurs bioagresseurs à l'échelle du paysage

*Marie Gosme\**, *Muriel Valantin-Morison*

UMR Agronomie - Avenue Lucien Bretignière - BP 01 - 78850 Thiverval Grignon

\*UMR System, 2 place Pierre Viala, 34000 Montpellier marie.gosme@supagro.inra.fr

Mots-clés en français (max 5) : modèle, épidémiologie, dynamique de population, régulation biologique des bioagresseurs, multi-bioagresseurs

Résumé en Français - max 400 mots

La protection intégrée des cultures nécessite de combiner plusieurs méthodes de lutte et de considérer leurs effets sur plusieurs bioagresseurs simultanément. Il existe de nombreux modèles qui simulent le développement et les attaques d'un bioagresseur donné sur une culture donnée, mais il est difficile de les utiliser pour concevoir des stratégies de protection intégrée des cultures car ils n'utilisent pas les mêmes formalismes. Il est donc impossible de simuler les effets des pratiques sur l'ensemble du cortège de bioagresseurs d'une culture, ou les effets non intentionnels des pratiques d'une culture sur les autres cultures de la rotation ou du paysage. Nous proposons une structure générique qui permet de modéliser la dynamique de population de plusieurs bioagresseurs (pathogènes, insectes ravageurs, adventices) et auxiliaires dans un paysage afin de prédire l'effet de la configuration spatiale des stratégies de gestion sur les principaux bioagresseurs d'un territoire. Cette plateforme de modélisation combine à la fois une base de données (ModPest) des formalismes de modèles existants pour plusieurs bioagresseurs et des traits fonctionnels de certains auxiliaires avec une structure de modélisation des dynamiques et dispersion des bioagresseurs de grandes cultures (PODYAM). Dans Podyam, l'espace est représenté sous forme de pixels de différentes tailles emboîtés afin de représenter chaque espèce à une échelle pertinente. Les populations de chaque espèce sont divisées en plusieurs compartiments représentant soit le stade de développement (insectes), soit les différentes formes (pathogènes), soit les différents organes (plantes). Le cycle de vie des organismes ainsi que les pratiques culturales sont représentés grâce à des processus génériques qui modifient les matrices d'abondance (pixel x compartiment), et qui utilisent différentes fonctions interchangeables et paramétrables à volonté pour représenter les bioagresseurs voulus. Une interface graphique permet de guider l'utilisateur dans l'assemblage de ces fonctions et une base de données de fonctions et de paramètres concernant plusieurs bioagresseurs vient compléter les outils mis à disposition des modélisateurs pour construire facilement des modèles multi-bioagresseurs spatialement explicites. Afin de démontrer la généralité de la structure, trois modèles existants, représentant la rouille brune du blé, le méligèthe, son parasitoïde et le phoma du colza ont été adaptés dans cette structure.

# Fragmentation, instabilité des habitats et processus évolutifs dans les paysages : modélisation basée-individus des syndromes de dispersion

Thomas Delattre\* (INRA UR PSH, AVIGNON) & Michel Baguette (CNRS USR EcoEx, Moulis).

\*[thomas.delattre@avignon.inra.fr](mailto:thomas.delattre@avignon.inra.fr) / 06,89,21,68,73

Mots-clés en français (max 5) : dispersion ; écologie évolutive ; écologie du paysage ; modélisation basée-individus

La dispersion est un processus central dans de nombreux domaines de l'écologie et de la biologie évolutive (e.g. Clobert et al. 2012). C'est également l'un des principaux processus à l'interface entre la structure, la dynamique des paysages, et le fonctionnement des populations. Dans l'ère actuelle de changements globaux, la dispersion est particulièrement cruciale, en permettant par exemple aux individus et aux espèces de tamponner localement les conditions changeantes, ou de suivre les glissements géographiques de leurs niches (e.g. Travis, 2003). L'acquisition de connaissance sur les liens entre paysage et dispersion est donc une priorité importante pour anticiper l'effet des changements globaux sur la distribution des espèces, la composition des communautés et les services écosystémiques. La dispersion a longtemps été considérée comme un trait fixe au sein des populations et des espèces, mais un nombre croissant d'indices suggèrent en fait qu'il s'agit d'un trait à la fois plastique et sujet à de fortes dynamiques évolutives (Clobert et al., 2004).

A l'aide d'un modèle basé-individu (IBM) simulant les mouvements et l'évolution d'une espèce dans un paysage fragmenté et dynamique, nous étudions l'évolution de différents paramètres de dispersion en lien avec la balance coûts/bénéfices associée aux mouvements, et influencée par les caractéristiques du paysage. Nous utilisons ce modèle comme un cas d'étude de l'effet des feedbacks évolutifs dans les démarches de gestion du paysage en écologie de la conservation, comme par exemple lors de la mise en place de corridors.

# Impact de motifs paysagers élémentaires sur la structure génétique des populations à petite échelle (SGS)

Mélodie Kunegel-Lion, Nicolas Parisey, Sylvain Poggi, Solenn Stoeckel\*

INRA, UMR 1349 IGEPP, F-35653, Le Rheu, France

\* Auteur correspondant : solenn.stoeckel@rennes.inra.fr – 02 23 48 70 83

Mots-clés : motifs paysagers, génétique du paysage, modélisation spatialement explicite, processus de points

Un des buts de l'agroécologie est de fournir des alternatives à l'utilisation des pesticides par des stratégies nouvelles de gestion des ravageurs, par exemple, basées sur les modifications de l'organisation spatiale des cultures (e.g. Cook *et al.*, 2007). Il est donc nécessaire d'estimer les effets attendus de la structure et de la composition du paysage sur la démogénétique des populations. Jusque là, les études caractéristiques en génétique du paysage (Storfer *et al.*, 2007) infèrent les effets de la structure du paysage de la distribution spatiale de la variation génétique en utilisant des données de paysages réels et complexes et des échantillons de populations. Cela suppose que les variations génétiques et démographiques proviennent de la structure spatiale du paysage. Dans ce travail, nous proposons d'étudier comment des motifs élémentaires du paysage impactent la SGS et de comprendre sa distribution spatiale. Pour cela, nous avons construit un modèle individu-centré spatialement explicite qui associe le paysage, la dynamique et la génétique des populations. Nous nous sommes concentrés sur 3 motifs qui diffèrent par la concavité et la facilité à être contourné d'un élément structurant dans un habitat favorable: une barrière, très étudié en génétique et en écologie du paysage, un carré pouvant représenter un champ agricole et une croix évaluant les effets d'un motif convexe. Comme témoins, nous avons utilisé un paysage vide (situation d'isolation par la distance) et un modèle panmictique. Nous avons fait varier la résistance et la proportion de l'élément structurant et nous avons observé leur impact sur des indices de processus de points et sur des indices génétiques: la statistique  $S_p$  utilisée pour quantifier la SGS (Vekemans & Hardy, 2004), et l'indice de déséquilibre de liaison  $\bar{r}_d$ . Après 400 générations, les motifs étudiés peuvent être inférés indirectement en utilisant les indices. Cependant, pour quelques valeurs de résistance et de proportion, les motifs avec une concavité proche ne peuvent pas être distingués. Ils sont difficilement contrastés quand la résistance générale augmente excepté pour  $\bar{r}_d$ . Les valeurs de  $S_p$  et  $\bar{r}_d$  augmentent avec la résistance ou la proportion de l'élément structurant. Le principal mécanisme façonnant la diversité génétique provient du fait que plus l'élément structurant est fort dans le paysage, moins les individus reproducteurs échangent avec les individus les plus distants. En conclusion, nous avons démontré que le paysage a un impact significatif sur la structure spatiale à petite échelle, et donc peut être inféré quand les indices pertinents sont utilisés.

## Références

- Cook SM, Khan ZR, Pickett JA (2007) The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology* 52, 375-400.
- Storfer A, Murphy MA, Evans JS *et al.* (2007) Putting the "landscape" in landscape genetics. *Heredity* 98, 128-142.
- Vekemans X, Hardy OJ (2004) New insights from fine-scale spatial genetic structure analyses in plant populations. *Molecular Ecology* 13, 921-935.

# Modélisation mécaniste de la dispersion atmosphérique de particules biotiques et abiotiques à l'échelle du paysage

Sylvain Dupont\*

INRA, UMR 1391 ISPA, F-33140, Villenave d'Ornon, France

(\*) [sdupont@bordeaux.inra.fr](mailto:sdupont@bordeaux.inra.fr), 05 57 12 24 33

## Mots-clés en français (max 5) :

Mécanique des fluides, Paysage, Pesticide, Pollen, Poussière

## Résumé en Français - max 400 mots

De nombreuses questions environnementales et écologiques se posent à l'échelle du paysage en lien avec les pratiques agricoles : quel est l'impact de l'hétérogénéité du paysage sur les flux de particules ? Comment organiser au mieux le paysage ? etc. Ces problématiques rentrent dans le cadre (1) de la production intégrée, c'est-à-dire de limiter l'utilisation d'intrants phytosanitaires en s'appuyant sur les ressources écologiques, tout en maintenant la quantité et la qualité de la production, et (2) de l'adaptation des systèmes de cultures aux événements extrêmes tel que la sécheresse. Dans ces deux cadres, il convient de contrôler le développement et la dissémination de maladies (spores, aérosols microbiens), l'envahissement des cultures par des plantes nuisibles (flux de gènes), les pertes en nutriments des sols (poussières minérales), la pullulation d'insectes ravageurs, etc., et ceci tout en préservant la biodiversité (flux de gènes). Les processus de dispersion atmosphérique jouent un rôle fondamental sur les flux de ces particules biotiques et abiotiques entre les différents compartiments d'un écosystème, et entre écosystèmes. Ces processus dépendent fortement de l'écoulement atmosphérique à ces échelles, qui est d'autant plus complexe que le paysage est hétérogène.

L'équipe Mécanique Environnementale de l'UMR ISPA a développé ces dernières années un ensemble de moyens numériques lui permettant de simuler avec une grande richesse d'informations la dynamique de l'écoulement dans la basse atmosphère (de l'échelle de la plante à celle de la région), les interactions végétation-atmosphère et la dispersion turbulente de composés gazeux ou particulaires. Les outils maintenant disponibles, bien adaptés à l'échelle de paysages dont ils peuvent représenter explicitement les hétérogénéités, permettent ainsi d'aborder d'une manière renouvelée et novatrice un ensemble de thématiques écologiques et environnementales dans lesquelles l'écoulement atmosphérique joue un rôle clé. Ces modèles ont notamment été appliqués-adaptés en conditions hétérogènes à la dispersion (1) du pollen de maïs dans le contexte de coexistence entre cultures OGM et non-OGM, (2) de pesticides dans les couverts viticoles dans le contexte de limitation de leur dissémination environnementales, ou (3) de poussières minérales dans le contexte de limitation de l'érosion éolienne des sols et donc des pertes en nutriments des sols. Ces modèles mécanistes peuvent être vus comme des outils intéressants, complémentaires à des mesures de terrain, pour développer des approches statistiques plus simples, à vocation finalisées ou opérationnelles, intégrant les hétérogénéités du paysage.

**IMPACT DE LA STRUCTURE PAYSAGÈRE SUR LES TRANSFERTS HYDRO-SEDIMENTAIRES. APPROCHE PAR SYSTÈME MULTI-AGENTS.**  
**IMPACT OF LANDSCAPE STRUCTURE ON HYDRO-SEDIMENTARY TRANSFERS. APPROACH BY MULTI-AGENTS SYSTEMS.**

Romain Reulier\*, Daniel Delahaye, Vincent Viel, Sébastien Caillault, Abdelkrim Bensaïd

\* Laboratoire LETG-Caen Geophen 6554 CNRS, Université de Caen-Basse Normandie, Esplanade de la Paix, BP 5186, 14032 Caen cedex ([romain.reulier@unicaen.fr](mailto:romain.reulier@unicaen.fr) 06.86.57.43.82)

Résumé en français

Mots clefs : Simulation multi-agents, ruissellement de surface, paysages, haies, fossés

Les transferts hydro-sédimentaires sur les versants impactent sensiblement les ressources environnementales des bassins versants (érosion des sols, pollution diffuse, diminution de la fertilité, inondation...). Comprendre les dynamiques spatiales du ruissellement entre les parcelles agricoles et l'exutoire des bassins versants est donc un enjeu majeur en termes de gestion des hydrosystèmes. En l'absence d'obstacles, c'est la pente qui guide ces écoulements depuis les zones d'initiations jusqu'au cours d'eau. En revanche, dans les bassins versants bocagers la mosaïque paysagère, et plus particulièrement la présence de réseaux linéaires d'origines anthropiques tels que les haies et les fossés, complexifie cette dynamique purement topographique, modifie le cheminement des écoulements sur les versants et engendre des déconnexions hydrologiques entre les parcelles agricoles et le cours d'eau.

La communication propose de présenter un modèle permettant de reconstituer les dynamiques de ruissellement en domaine bocager. Pour appréhender les effets de la structure paysagère sur les processus d'écoulement de surface nous proposons une approche par systèmes multi-agents capable de mettre en évidence le rôle des éléments linéaires (niveau local) sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants (niveau global). S'appuyant sur des processus itératifs très simples, les simulations permettent de reproduire toute la complexité des trajectoires d'écoulements induite par la structure paysagère. Pour cela, le processus dynamique (l'écoulement) qui est discrétisé en agents qui ont la capacité de se déplacer dans l'environnement de simulation en suivant les paramètres topographiques issus d'un modèle numérique de terrain et les entités linéaires haies et fossés. Les simulations permettent ainsi de connaître les trajectoires individuelles dans le paysage de chacun des agents mais aussi de construire des indices spatiaux caractérisant l'effet de la rugosité de ce paysage (visualisation des points d'entrées et de sorties dans les réseaux linéaires, localisation des lieux de changements de comportement des écoulements, impacts des linéaires sur les temps de parcours des écoulements...). L'ensemble de ces simulations a été validé par un retour terrain sur le bassin versant expérimental dans le Calvados (Lingèvres, 15km<sup>2</sup>).

## Liste des participants

Nom	Prénom	Email	Institut/Société	Laboratoire/département
ANGEVIN	Frédérique	Frederique.Angevin@grignon.inra.fr	INRA	Eco-Innov
AUBIN	Xavier	xavier.aubin@vivescia.com	VIVESCIA	
AZOUZ	Niramson	nazouz@grignon.inra.fr	INRA	EGC
BAMIERE	Laure	laure.bamiere@grignon.inra.fr	INRA	Economie Publique
BARBOTTIN	Aude	aude.barbottin@grignon.inra.fr	INRA	SAD-APT
BARBU	Corentin	corentin.barbu@grignon.inra.fr	INRA	Agronomie
BELLOT	Benoit	benoit.bellot@gmail.com	INRA	LISAH
BONNEFON	Olivier	obonnefon@avignon.inra.fr	INRA	BioSP
BOURIS	Yoann	yoann.bourhis@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP
BOUSSARD	Hugues	hugues.boussard@rennes.inra.fr	INRA	SAD-Paysage
BOUTY	Clémence	clemencebouty.agroparistech@gmail.com	INRA	SAD-APT
BRAHIM	Mohamed-Lemine	mohamed-lemine.brahim@oniris-nantes.fr	ONIRIS	
BRUNET	Yves	Yves.brunet@bordeaux.inra.fr	INRA	ISPA
CASELLAS	Éric	eric.casellas@toulouse.inra.fr	INRA	BIA
CELLIER	Pierre	Pierre.Cellier@grignon.inra.fr	INRA	EGC
CHARLOT	Sylvie	Sylvie.Charlot@grenoble.inra.fr	INRA	GAEL
CHERY	Jean-Pierre	jean-pierre.chery@teledetection.fr	AgroParisTech	TETIS
CHOISIS	Jean-Philippe	jean-philippe.choisis@toulouse.inra.fr	INRA	Dynafor
CISS	Mamadou	mamadou.ciss@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP/ PSH
DA SILVA	Sébastien	sebastien.da-silva@loria.fr	INRIA	LORIA
DAROUSSIN	Joël	joel.daroussin@orleans.inra.fr	INRA	Science du sol
DEBOLINI	Marta	marta.debolini@paca.inra.fr	INRA	EMMAH
DELATTRE	Thomas	thomas.delattre@avignon.inra.fr	INRA	PSH
DROUET	Jean-Louis	drouet@grignon.inra.fr	INRA	EGC
DUPONT	Sylvain	sylvain.dupont@bordeaux.inra.fr	INRA	EPHYSE
ETIENNE	Michel	etienne@avignon.inra.fr	INRA	Ecodeveloppement
FABRE	Jean-Christophe	fabrejc@supagro.inra.fr	INRA	LISAH
FARGETTE	Mireille	Mireille.Fargette@ird.fr	IRD	Espace-Dev
FRANCK	Pierre	pfranck@avignon.inra.fr	INRA	PSH
GAUCHEREL	Cédric	cedric.gaucherel@ifpindia.org	IFP	MAEE
GODINOT	Olivier	olivier.godinot@agrocampus-ouest.fr	INRA	SAS
GOSME	Marie	marie.gosme@supagro.inra.fr	INRA	Agronomie
GOURRAT	Marine	marine.gourrat@itsap.asso.fr	ITSAP	
GUERRIN	François	francois.guerrin@cirad.fr	Cirad	Recyclage et risques
GUYET	Thomas	thomas.guyet@agrocampus-ouest.fr	Agrocampus-Ouest/IRISA	DREAM
HERBIN	Carine	carine.herbin@vignevin.com	Inst. Français de la Vigne et du vin	
HOCH	Thierry	thierry.hoch@oniris-nantes.fr	INRA	BioEPAR
HOUET	Thomas	thomas.houet@univ-tlse2.fr	CNRS	GEODE
IDIR	Kamal	kidir6@gmail.com	INRA	ASTER
KIEU	Kien	kien.kieu@jouy.inra.fr	INRA	MIAj

LALECHERE	Etienne	e.lalechere@groupe-esa.net	ESA	
LAMBONI	Matieyendo	matieyendo.lamboni@jrc.ec.europa.eu	JRC - IES	
LAURENT	François	f.laurent@arvalisinstitutduvegetal.fr	ARVALIS	
LAVIGNE	Claire	claire.lavigne@avignon.inra.fr	INRA	PSH
LAZRAC	El Ghali	lazrak@mirecourt.inra.fr	INRA	ASTER
LE BER	Florence	florence.leber@engees.unistra.fr	Univ. Strasbourg/ENGEES	ICUBE
LECLERC	Melen	melen.leclerc@avignon.inra.fr	INRA	BioSP/Eco-Innov
LEENHARDT	Delphine	Delphine.Burger-Leenhardt@toulouse.inra.fr	INRA	AGIR
LEFEVRE	Solenne	solenne.lefevre@agroparistech.fr	INRA	DYNAFOR
LOIREAU	Maud	maud.loireau@ird.fr	IRD	Espace-Dev
MAGDA	Danièle	dmagda@toulouse.inra.fr	INRA	AGIR
MARTEL	Gilles	gilles.martel@rennes.inra.fr	INRA	SAD-Paysage
MARTINET	Vincent	vincent.martinet@grignon.inra.fr	INRA	Economie Publique
MICHEL	Nadia	nadia.michel@univ-lorraine.fr	Univ. Lorraine	LAE
MIGNOLET	Catherine	mignolet@mirecourt.inra.fr	INRA	ASTER
MONOD	Herve	Herve.Monod@jouy.inra.fr	INRA	MIAj
NGUYEN	Bach Thao	bach-thao.nguyen2@etd.univ-avignon.fr	Univ. d'Avignon	Lab. d'hydrogéologie
PALISSON	Aurore	aurore.palisson@anses.fr	ANSES	
PAPAÏX	Julien	julien.papaix@paca.inra.fr	INRA	BioSP
PARISEY	Nicolas	nparisey@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP
PASQUIER	Catherine	catherine.pasquier@orleans.inra.fr	INRA	Science du sol
PASSY	Paul	paul.passy@upmc.fr	CNRS FIRE	FIRE
PELOSI	Céline	celine.pelosi@versailles.inra.fr	INRA	PESSAC
PETIT	Caroline	caroline.petit@agroparistech.fr	INRA	SAD-APT
POGGI	Sylvain	sylvain.poggi@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP
PREUX	Thibaut	thibaut.preux@unicaen.fr	Univ. de Caen	LETG Caen-GEOPHEN
RABOTIN	Michael	rabotin@supagro.inra.fr	INRA	LISAH
REULIER	Romain	romain.reulier@unicaen.fr	Univ. de Caen	
RICCI	Benoit	benoit.ricci@diyon.inra.fr	INRA	Agroécologie
RIOU	Jean-Baptiste	jbriou@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP
ROBERT	Colas	colas.robert@citepa.org	CITEPA	
SAUZEAU	Christine	mcsauzeau@free.fr	Indépendante	Journaliste
SOUCHERE	Véronique	veronique.souchere@grignon.inra.fr	INRA	SAD-APT
STOECKEL	Solenn	solenn.stoeckel@rennes.inra.fr	INRA	IGEPP
STRAUBHAAR	Julien	julien.straubhaar@unine.ch	Université de Neuchâtel	Hydrogéologie
TOQUE	Clotilde	c.toque@arvalisinstitutduvegetal.fr	ARVALIS	
VALANTIN-MORISON	Muriel	muriel.morison@grignon.inra.fr	INRA	Agronomie
VIAUD	Valérie	valerie.viaud@rennes.inra.fr	INRA	SAS
VIEL	Vincent	vincent.viel@univ-paris-diderot.fr	Univ. Paris-Diderot	
VILLERD	Jean	Jean.villerd@univ-lorraine.fr	INRA	LAE
VINATIER	Fabrice	fabrice.vinatier@supagro.inra.fr	INRA	LISAH
VOLTZ	Marc	voltz@supagro.inra.fr	INRA	LISAH
WOHLFAHRT	Julie	julie.wohlfahrt@mirecourt.inra.fr	INRA	ASTER