



HAL
open science

Enjeux et défis de la modélisation des paysages agricoles

Sylvain Poggi

► **To cite this version:**

Sylvain Poggi. Enjeux et défis de la modélisation des paysages agricoles. Séminaire ANR : Ecologisation des systèmes de productions agricoles pour renforcer le contrôle biologique des bioagresseurs, 2017, 22 p. hal-02784988

HAL Id: hal-02784988

<https://hal.inrae.fr/hal-02784988v1>

Submitted on 4 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.

Enjeux et défis de la modélisation des paysages agricoles

Sylvain Poggi
sylvain.poggi@inra.fr

INRA - UMR IGEPP - Team Demecology, F-35653 Le Rheu

Colloque ANR PEERLESS & FRB SEBIOPAG-PHYTO
Paris, 27-28 novembre 2017



- ▶ L'agroécosystème est au coeur des enjeux de société actuels: producteur de services essentiels pour l'Homme et l'Environnement.
- ▶ Le paysage agricole constitue une échelle appropriée pour étudier et gérer les processus impliqués dans la fourniture de ces services écosystémiques.



→ Enjeu: concevoir des paysages agricoles durables

La conception de paysages agricoles durables comporte plusieurs obstacles majeurs

- ▶ interactions entre processus (synergies/antagonismes)
- ▶ non-congruence des échelles en jeu
- ▶ contexte de changement global
- ▶ expérimentation difficile

en plus de contraintes spécifiques en termes de

- ▶ composition (surfaces cultivées, spécialisation de la production, etc.)
- ▶ dynamique des occupations du sol (impératifs techniques et économiques)

→ Modélisation: bon candidat pour aider à la conception de ces systèmes complexes?

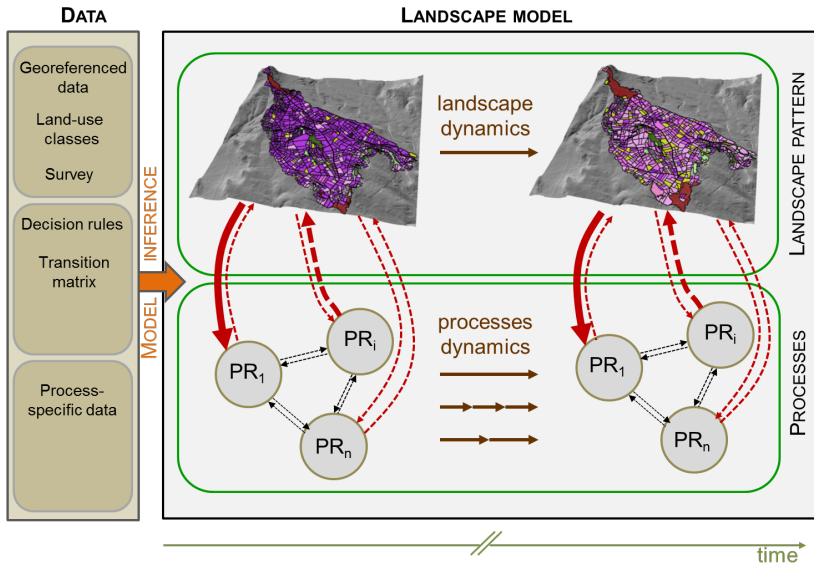
"[...] any mathematical model designed to represent at least one landscape pattern-process relationship of interest"¹

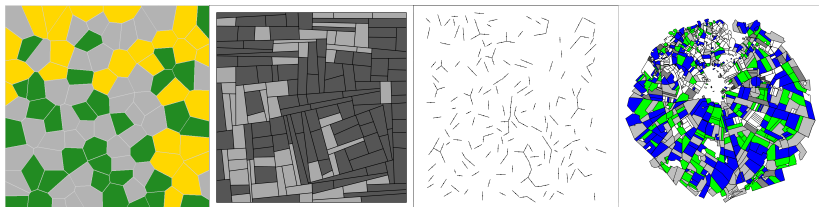
Atouts pour

- ▶ Généralisation
- ▶ Inférence
- ▶ Simulation / Exploration

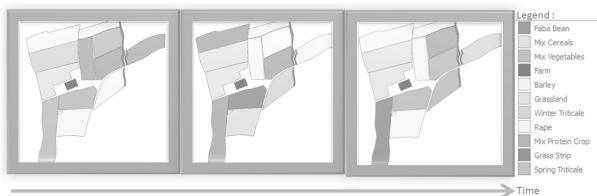
sous réserve de lever d'actuels verrous scientifiques et techniques

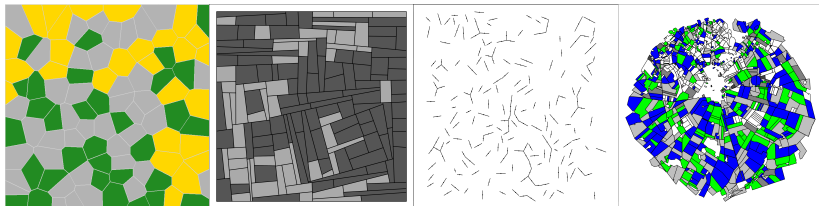
1. Turner et al (2001) Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. Springer, New York



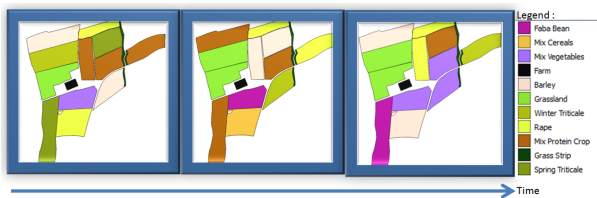


- ▶ Initialisation de la configuration (e.g. géométrie stochastique)
- ▶ Allocation des occupations du sol (sous contraintes)
- ▶ Modélisation de la dynamique paysagère (e.g. CAPFarm©)





- ▶ Initialisation de la configuration (e.g. géométrie stochastique)
- ▶ Allocation des occupations du sol (sous contraintes)
- ▶ Modélisation de la dynamique paysagère (e.g. CAPFarm©)



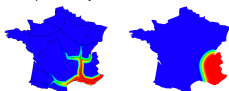
- Combiner méthodes paramétriques (e.g. tessellation) et rééchantillonnage d'images² pour augmenter le réalisme des paysages simulés
- Evoluer vers une représentation moins anthropocentrée mettant à profit l'information haut-débit fournie par les données de télédétection



descripteurs biophysiques: complexité de la couverture du sol / ouverture de la canopée (entropie de Shannon, images radar); densité de couvert végétal (biomasse relative, indice NDVI, images Landsat & Sentinel-2), etc.

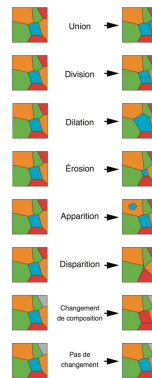
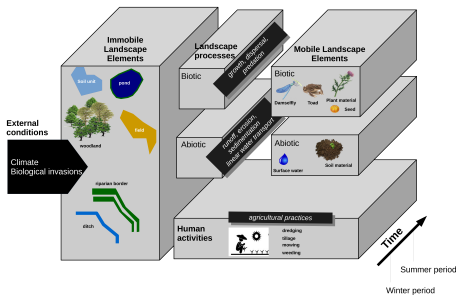
2. Straubhaar et al (2011) An Improved Parallel Multiple-point Algorithm Using a List Approach. *Mathematical Geosciences* 43(3):305–328

- Coupler les modèles de processus issus de différentes disciplines et inclure les effets de rétroaction entre patron paysager et processus
- Affiner la pertinence des modèles de processus (e.g. distinguer les dynamiques dans la matrice et le long des linéaires, modèle hybride 2D/1D³)



3. Roques & Bonnefon (2016) Modelling Population Dynamics in Realistic Landscapes with Linear Elements: A Mechanistic-Statistical Reaction-Diffusion Approach. *PLoS ONE* 11

→ Formaliser une ontologie pour guider l'étape de modélisation du paysage^{4,5}

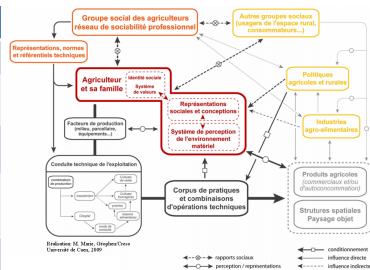


4. Vinatier et al (2016) An Unified Framework to Integrate Biotic, Abiotic Processes and Human Activities in Spatially Explicit Models of Agricultural Landscapes. *Frontiers in Environmental Science* 4

5. Gaucherel et al (2012) Understanding Patchy Landscape Dynamics: Towards a Landscape Language. *PLoS ONE* 7

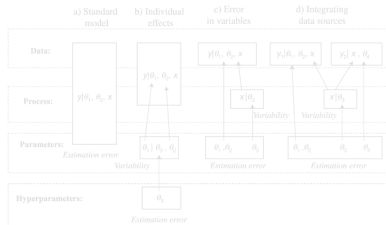
- Décisions et actions humaines sont en interaction avec le paysage et les processus qui s'y produisent: intégration (implicite vs explicite) au modèle de paysage agricole
- Modéliser au-delà de la rationalité économique des acteurs: intégrer la complexité des stratégies et des décisions (hétérogénéité des facteurs de décision, importance des représentations, des perceptions et des stratégies des acteurs)
- Tenir compte des différents niveaux d'acteurs (collectifs d'acteurs, filières, etc.)

Méthode	Niveau de représentation de la décision	Intérêts	Contraintes
Optimisation des actions / rationalité	La décision se fait au « moindre coût »	Facilité de mise œuvre, généricité	Vision restreinte du processus de décision
Inférence statistique	Pas de représentation des décisions	Pas de description du processus de décision	Besoin important en données, représentativité
Modélisation explicite des règles de décision (e.g. SMA)	Représentation fine des processus décisionnels	Généricité des processus représentés	Connaissance extensive (voir exhaustive) des processus décisionnels
Raisonnement à partir de cas	Représentation partielle des processus – une partie du processus de décision est incluse dans la similarité entre cas	Les connaissances peuvent être partielles	Système apprenant, plus les cas décrits sont nombreux, plus le modèle est juste
Accompagnement	Pas de modélisation de la décision	Outil pour l'action directe	Méthode localisée, non générique



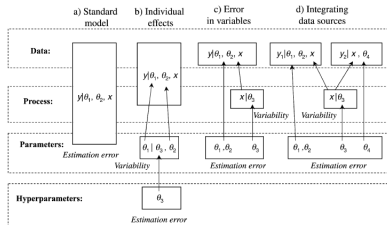
- ▶ Processus complexes, en interaction, généralement non observables directement et complètement
- ▶ Données d'observation spatiotemporelles, hétérogènes, recueillies à différentes échelles spatiales et temporelles
- Inférence des paramètres des modèles (*validation*); prédiction
- ▶ Cadre hiérarchique bayésien⁶:

- permet de gérer la complexité en décomposant le modèle global en niveaux (paramètres, modèles de processus, modèles d'observation)
- tire profit des multiples sources d'information disponibles (\forall échelle)
- traite explicitement les erreurs et incertitudes



6. Clark (2004) Why Environmental Scientists are becoming Bayesians: Modelling with Bayes. *Ecology Letters* 8:2-14

- ▶ Processus complexes, en interaction, généralement non observables directement et complètement
 - ▶ Données d'observation spatiotemporelles, hétérogènes, recueillies à différentes échelles spatiales et temporelles
- Inférence des paramètres des modèles (*validation*); prédiction
- ▶ Cadre hiérarchique bayésien⁶:
 - permet de gérer la complexité en décomposant le modèle global en niveaux (paramètres, modèles de processus, modèles d'observation)
 - tire profit des multiples sources d'information disponibles (\forall échelle)
 - traite explicitement les erreurs et incertitudes



6. Clark (2004) Why Environmental Scientists are becoming Bayesians: Modelling with Bayes. *Ecology Letters* 8:2-14

- ▶ Approche mécanico-statistique⁷:
 - combine un modèle mécaniste des processus sous-jacents et un modèle probabiliste du processus d'observation
 - repose sur la maximisation de la fonction de vraisemblance via des algorithmes spécialisés (e.g. MCMC)

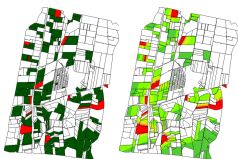
- ▶ Approches simulatoires: incorporation facilitée des processus en jeu au détriment de l'explicitation de la fonction de vraisemblance
 - stratégies d'inférence ABC ou POM

- Ces approches complètent les techniques d'analyse corrélative en incorporant explicitement les mécanismes connus en jeu, mais des développements restent nécessaires pour démocratiser leur utilisation
- Dilemme de la complexité: réalisme vs identifiabilité des paramètres
- Défi technique lié au temps de calcul

7. Soubeyrand & Roques (2014) Parameter estimation for reaction-diffusion models of biological invasions. *Population Ecology* 56:427–434

- ▶ Analyse de sensibilité de modèles spatialisés
- ▶ Etude de scénarios

Ex.: Sensibilité du taux de pollinisation croisée aux caractéristiques du paysage⁸



	20 % maïs		70 % maïs	
	10 % OGM	50 % OGM	10 % OGM	50 % OGM
Random				
lots non mixés				
lots mixés				

→ Analyse spatiale de sensibilité⁹

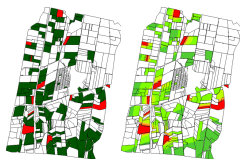


8. Viaud et al (2008) Spatial Sensitivity of Maize Gene-Flow to Landscape Pattern: a Simulation Approach. *Landscape Ecology* 23:1067–1079

9. Saint-Geours et al (2014) Multi-Scale Spatial Sensitivity Analysis of a Model for Economic Appraisal of Flood Risk Management Policies. *Environmental Modelling & Software* 60:153–166

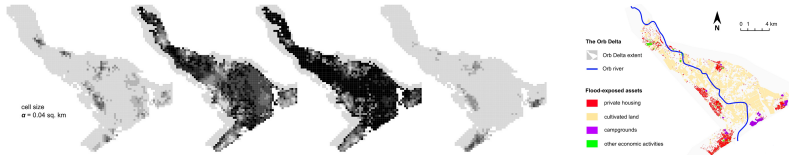
- ▶ Analyse de sensibilité de modèles spatialisés
- ▶ Etude de scénarios

Ex.: Sensibilité du taux de pollinisation croisée aux caractéristiques du paysage⁸



	20 % maïs		70 % maïs	
	10 % OGM	50 % OGM	10 % OGM	50 % OGM
Random				
lots non mixtes				
lots mixtes				

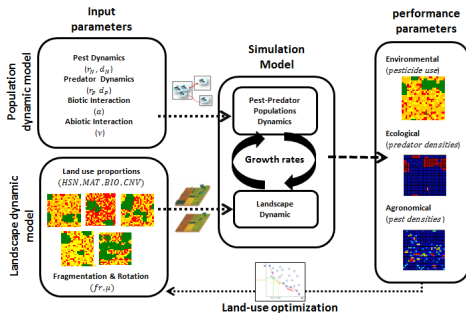
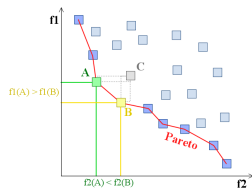
→ Analyse spatiale de sensibilité⁹



8. Viaud et al (2008) Spatial Sensitivity of Maize Gene-Flow to Landscape Pattern: a Simulation Approach. *Landscape Ecology* 23:1067–1079

9. Saint-Geours et al (2014) Multi-Scale Spatial Sensitivity Analysis of a Model for Economic Appraisal of Flood Risk Management Policies. *Environmental Modelling & Software* 60:153–166

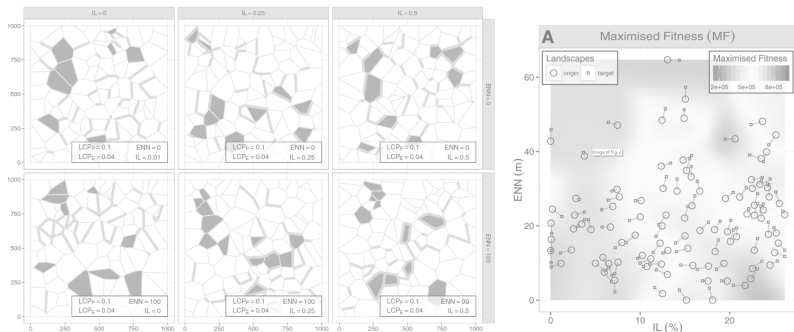
- ▶ Rechercher les meilleures combinaisons des entrées du modèle (e.g. descripteurs du paysage) en termes de satisfaction de multiples critères de sortie
- Pertinence des métaheuristiques¹⁰ (e.g. GA): optimisation non linéaire, puissance combinatoire



10. Memmah et al (2015) Metaheuristics for Agricultural Land Use Optimization. A Review. *Agronomy for Sustainable Development* 35:975–998

- Besoin de développements théoriques et méthodologiques pour optimiser les trajectoires associées à des modifications souhaitées du paysage agricole (dynamique de paysage, faisabilité)

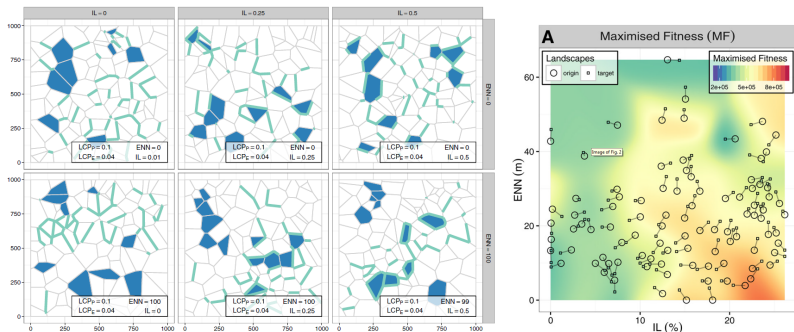
Illustration¹¹ :



11. Bourhis et al (2017) Foraging as the Landscape Grip for Population Dynamics - A Mechanistic Model Applied to Crop Protection. *Ecological Modelling* 354:26–36

- Besoin de développements théoriques et méthodologiques pour optimiser les trajectoires associées à des modifications souhaitées du paysage agricole (dynamique de paysage, faisabilité)

Illustration¹¹ :



11. Bourhis et al (2017) Foraging as the Landscape Grip for Population Dynamics - A Mechanistic Model Applied to Crop Protection. *Ecological Modelling* 354:26–36

- ▶ Modèles de paysages agricoles: contributeurs à la conception de systèmes durables
- Avancées récentes et développements nécessaires pour produire des outils fiables et utiles pour les décideurs
 - amélioration de la représentation du paysage
 - couplage de modèles de processus, rétroaction processus/paysage
 - formalisation et intégration des processus complexes de décision, tenant compte des différents niveaux d'acteurs
- Compilation des modèles vs flexibilité
- Réalisme (complexité) vs tractabilité
- Métamodèles

Merci pour votre attention.

Réseau PAYOTE : <https://reseau-payote.fr/>