



**HAL**  
open science

# Exploration d'un modèle multi-agents qui simule des réseaux céréalierséleveurs : PSE et échantillonnage par suite de Sobol

Aurélien Peter, Romain Reuillon, Benoit Gaudou, Myriam Grillot

► **To cite this version:**

Aurélien Peter, Romain Reuillon, Benoit Gaudou, Myriam Grillot. Exploration d'un modèle multi-agents qui simule des réseaux céréalierséleveurs : PSE et échantillonnage par suite de Sobol. MEXICO 2023 : Rencontres annuelles 2023 du réseau Mexico, Dec 2023, Palaiseau, France. hal-04547786

**HAL Id: hal-04547786**

**<https://hal.science/hal-04547786>**

Submitted on 16 Apr 2024

**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.

# MEXICO - 04-05/12/2023

## Exploration d'un modèle multi-agents qui simule des réseaux céréaliers-éleveurs : PSE et échantillonnage par suite de Sobol

Aurélien Peter<sup>1</sup>, Romain Reuillon<sup>2</sup>, Benoit Gaudou<sup>3</sup>, Myriam Grillot<sup>1</sup>

<sup>1</sup>AGIR, Univ Toulouse, INRAE, 31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>2</sup>Géographie-cités, ISC-PIF, CNRS, 75013 Paris, France

<sup>3</sup>IRIT, Univ Toulouse, 31000 Toulouse, France

**Mots clés :** multi-agents, exploration de modèle, interaction culture-élevage, réseau d'agriculteurs

**Contexte :** Face à une spécialisation des systèmes agricoles, les interactions entre fermes de culture et d'élevage répondent à des enjeux individuels (e.g. réduction des intrants) et de maintien d'une diversité de productions au niveau du territoire (Martin et al., 2016). Les interactions telles que les échanges de biomasse entre fermes relèvent de questions organisationnelles et d'équilibre entre offre et demande (Catarino et al., 2021), mais aussi d'une dynamique de réseau et de collaboration qui intègrent des facteurs sociaux. Comprendre ces interactions est un enjeu majeur pour les pérenniser. Pour cela, nous avons construit un modèle multi-agents (ABM) permettant de simuler les interactions entre agriculteurs : achat/ventes de paille, fourrage, grain, fumier en fonction de l'offre et de la demande mais également de la confiance qu'ils attribuent à leurs potentiels partenaires. L'ABM a été implémenté sur la plateforme de modélisation GAMA afin de pouvoir spatialiser les fermes sur le territoire (Taillandier et al., 2019). Nous simulons le cas de céréaliers, éleveurs et polyculteurs-éleveurs dans le département de l'Ariège où l'enjeu de réduction en intrants (aliments animaux et fertilisants) est fort.

**Objectifs :** Dans cette communication, nous proposons de présenter l'exploration du modèle que nous avons réalisée. Nous avons appliqué deux méthodes (*Pattern Space Exploration* et Sobol Sampling) afin de répondre à deux objectifs :

- 1) Etudier la diversité des comportements sur des indicateurs de caractérisation du réseau
- 2) Identifier les valeurs des paramètres d'entrée permettant d'initialiser le modèle (stabilisation des indicateurs)

Ces méthodes ont été implémentées à partir de la plate-forme d'exploration OpenMole (<https://openmole.org/>) (Reuillon et al., 2013). Les résultats d'exploration ont ensuite été synthétisés sur R (R core team, 2023).

**Méthodes :** La *Pattern Space Exploration* (PSE) est une méthode d'exploration de la diversité d'un modèle. L'algorithme échantillonne les valeurs des paramètres d'entrée de manière à maximiser la diversité des motifs découverts dans l'espace des sorties. A l'instar des algorithmes génétiques, la méthode PSE génère de nouveaux individus par une combinaison des valeurs héritées des individus parents en y incorporant de mutations (variations de valeur pour certains paramètres). Les parents utilisés pour la nouvelle génération sont sélectionnés à partir d'un score de rareté. Ce score est calculé à partir du nombre de fois où une cellule de la région de l'espace de sortie (grille) est atteinte. Si l'occurrence est faible, les sorties obtenues sont plus rares et donc les individus correspondants (paramètres d'entrée) sont plus susceptibles de produire de nouveaux individus avec des comportements qui n'ont pas encore été observés (Chérel et al., 2015).

Nous avons réalisé une PSE pour explorer la diversité des motifs avec les indicateurs réseaux suivants : densité du réseau, confiance moyenne entre les agriculteurs, et centralité intermédiaire du réseau. La centralité intermédiaire mesure la propension d'un individu à s'interposer entre les membres d'une communauté sans liens entre eux, elle estime la centralité d'un réseau.

Le Sobol Sampling est un échantillonnage de l'espace d'entrée à partir d'une suite à discrétion faible de Sobol. Nous avons échantillonné 20 jeux de paramètres d'entrée et nous avons exploré l'impact du nombre de simulations et du nombre d'agents sur les résultats du modèle. L'objet de cette étude est de déterminer les valeurs minimales de cycles et d'agents à partir desquelles on observe une stabilisation des observable des dynamiques de la simulation. Ceci nous permettra de minimiser le volume de calcul nécessaire aux futures explorations de ce modèle.

Par Sobol Sampling nous avons observé des indicateurs de flux de biomasse (indice de circularité du système, *ICR\_Global* et indice de circularité des fermes, *ICR\_Local*) et d'autonomie locale des fermes (*Local\_Autonomy*). Nous utilisons les valeurs de variation de ces indicateurs d'un cycle (1 an) à un autre pour évaluer leur stabilisation.

**Résultats :** Avec la PSE, nous avons exécuté au total 200000 simulations avec 130 agriculteurs sur 5 cycles et obtenu 81 générations d'individus. Nous avons observé que :

- La variable d'entrée *initTrustBase* (confiance initiale entre agents) est corrélée significativement ( $p\text{-value} < 0.05$ ) et positivement à la densité et la confiance moyenne du réseau, c'est pourquoi nous choisissons de la fixer à 0
- Il n'est pas possible pour notre modèle d'atteindre des valeurs élevées de densité de réseau ( $< 0.03$ )
- Le pas d'augmentation de la confiance d'un cycle à un autre est corrélé positivement à la confiance moyenne du réseau : plus le pas de confiance est élevé et plus la confiance moyenne l'est aussi. L'évolution de la confiance influence donc cet indicateur réseau.

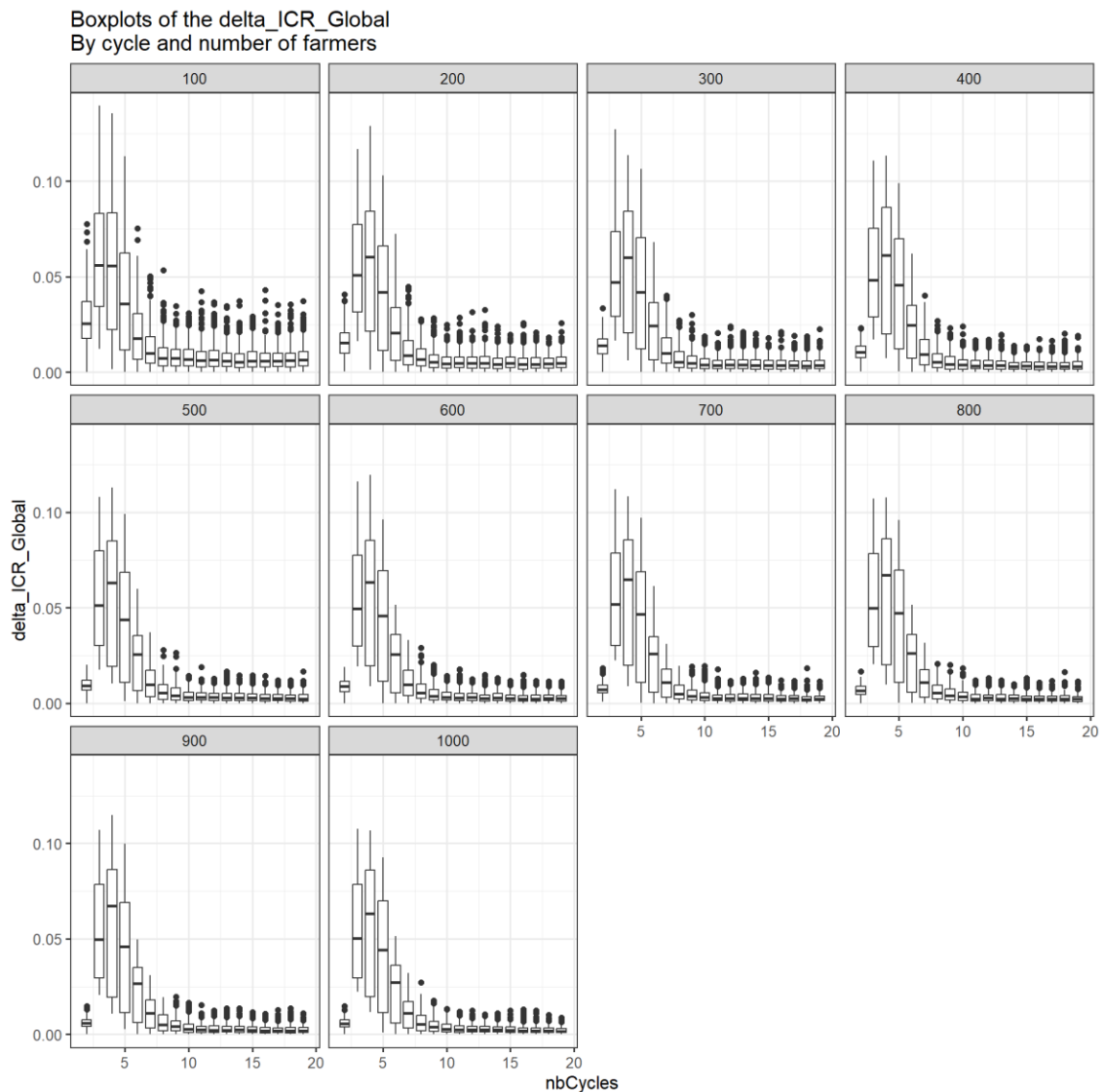


Figure 1: Distribution des valeurs de variation sur la quantité de flux de biomasse dans le réseau ( $\Delta_{ICR}_{Global}$ ) par rapport au cycle précédent. Les simulations sont groupées par nombre d'agents simulés, de 100 à 1000.

Le Sobol Sampling permet d'observer que la variation des indicateurs mesurés en sortie du modèle se stabilise au bout de 10 cycles de simulation (Figure 1). Cela nous indique que la simulation de scénarios visant à étudier la réaction du système à des perturbations (e.g. sécheresse) pourrait démarrer après ce nombre de cycles.

Le nombre d'agriculteurs (agents) simulés ne semble pas avoir d'influence notable sur la stabilisation des indicateurs étudiés.

Bidart et al. décrivent des structures de réseau. D'après les simulations pour le Sobol Sampling, 5 structures de réseau sont observées (Table 1). Leur distribution est contrastée et révèle une sur-représentation de certaines structures (*Dispersed* et *Regular Dense*) alors que d'autres sont sous-représentées (*Centered Dense* et *Centered star*) ou non représentées (*Segmented*). Lorsque le nombre d'agents augmente les occurrences de *Dispersed* diminuent au profit des *Regular Dense*. Les types *Centered Dense*, *Centered Star* et *Pearl Collar* apparaissent lorsque le nombre d'agents simulés est faible (100 et 200 agents essentiellement)

Table 1 : Occurrence minimale et maximale sur répétitions de 19 cycles de simulation pour chaque structure (ligne) et par nombre d'agents simulés (colonnes)

structure	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Centered Dense	[0-1]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]
Centered Star	[0-2]	[0-1]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-0]
Pear Collar	[0-46]	[0-22]	[0-6]	[0-1]	[0-0]	[0-0]	[0-0]	[0-1]	[0-0]	[0-0]
Regular Dense	[9-57]	[32-117]	[50-111]	[63-135]	[74-143]	[81-147]	[97-165]	[88-158]	[93-166]	[104-167]
Dispersed	[343-382]	[282-348]	[289-344]	[265-336]	[257-326]	[253-319]	[235-303]	[242-311]	[234-307]	[233-296]

### Discussion, conclusions et perspectives

L'exploration par la PSE a révélé qu'il est possible d'atteindre avec notre modèle une grande diversité de motifs à partir des indicateurs de confiance moyenne et de centralité intermédiaire. Cependant les valeurs de densité du réseau sont très basses. Une perspective serait d'explorer le modèle en cherchant à maximiser cette valeur de densité pour trouver d'autres motifs dans l'espace de sortie.

La PSE nous a permis de fixer le paramètre *initTrustBase* à 0 pour pouvoir observer une plus grande diversité de motifs dans l'espace de sortie pour les prochaines explorations.

Le Sobol Sampling a permis d'identifier le nombre de cycles nécessaires à la stabilisation des indicateurs d'une simulation à 10. Ce nombre de cycles semble indépendant du nombre d'agents simulés. On pourrait donc fixer ce nombre à 100 agents. Cependant on a observé une diversité de structure de réseau plus grande lorsque le nombre d'agents simulés est faible (100 et 200 agents). Dans l'optique d'atteindre un état stable dans le modèle il semble plus pertinent de simuler 300 agents, la structure du réseau variera peu d'une simulation à l'autre.

La sur-représentation des structures *Dispersed* peut être expliquée par les faibles valeurs de densité du réseau obtenues lors de l'exploration du modèle (PSE). En effet la densité est utilisée pour la classification des structures avec une valeur seuil de 0.1. Cependant elle reste inférieure à 0.03 dans toutes les simulations du modèle. La pertinence de ce seuil est à discuter afin de déterminer s'il est nécessaire de l'adapter pour caractériser plus finement l'architecture des réseaux simulés.

D'autres explorations du modèle par PSE sont à envisager, comme différencier les indicateurs étudiés selon le type de l'agent (céréalier, éleveur, ou céréalier-éleveur) et observer leur poids dans leur évolution. On pourra aussi évaluer spécifiquement le poids du processus d'évolution de la confiance (coefficients impliqués dans les équations) sur les indicateurs étudiés.

### Remerciements

Ce travail a été financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, dans le cadre de la convention de subvention n° 862357, projet MIXED. Nous adressons un remerciement particulier aux agriculteurs qui ont contribué à ce travail et à Claire Triolet.

## Références bibliographiques

- Bidart, Claire, Alain Degenne, et Michel Grossetti. « Personal Networks Typologies: A Structural Approach ». *Social Networks* 54 (juillet 2018): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2017.11.003>.
- Catarino, Rui, Olivier Therond, Jérémy Berthomier, Maurice Miara, Emmanuel Mérot, Renaud Misslin, Paul Vanhove, Jean Villerd, et Frédérique Angevin. « Fostering Local Crop-Livestock Integration via Legume Exchanges Using an Innovative Integrated Assessment and Modelling Approach Based on the MAELIA Platform ». *Agricultural Systems* 189 (avril 2021): 103066. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103066>.
- Chérel, Guillaume, Clémentine Cottineau, et Romain Reuillon. « Beyond Corroboration: Strengthening Model Validation by Looking for Unexpected Patterns ». *PLOS ONE* 10, n° 9 (14 septembre 2015): e0138212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138212>.
- Martin, Guillaume, Marc Moraine, Julie Ryschawy, Marie-Angéline Magne, Masayasu Asai, Jean-Pierre Sarthou, Michel Duru, et Olivier Therond. « Crop–Livestock Integration beyond the Farm Level: A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 36, n° 3 (septembre 2016): 53. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0390-x>.
- Reuillon, Romain, Mathieu Leclaire, et Sebastien Rey-Coyrehourcq. « OpenMOLE, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models ». *Future Generation Computer Systems*, Including Special sections: Advanced Cloud Monitoring Systems & The fourth IEEE International Conference on e-Science 2011 — e-Science Applications and Tools & Cluster, Grid, and Cloud Computing, 29, n° 8 (1 octobre 2013): 1981-90. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.05.003>.
- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Taillandier, Patrick, Benoit Gaudou, Arnaud Grignard, Quang-Nghi Huynh, Nicolas Marilleau, Philippe Caillou, Damien Philippon, et Alexis Drogoul. « Building, Composing and Experimenting Complex Spatial Models with the GAMA Platform ». *Geoinformatica* 23, n° 2 (avril 2019): 299-322. <https://doi.org/10.1007/s10707-018-00339-6>.