Entre global et local, une méthode pour améliorer notre confiance dans les modèles multi-agents

Fabien Michel, Jean-Christophe Soulié, Yves Dumont

▶ **To cite this version:**

Fabien Michel, Jean-Christophe Soulié, Yves Dumont. Entre global et local, une méthode pour améliorer notre confiance dans les modèles multi-agents. JFMS 2020 - 3e Journées Francophones de la Modélisation et de la Simulation, Nov 2020, Cargèse, France. pp.35-38. hal-02988206

HAL Id: hal-02988206
https://hal.inrae.fr/hal-02988206

Submitted on 25 Jan 2021

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.

Entre global et local, une méthode pour améliorer notre confiance dans les modèles multi-agents

F. Michel[a] fmichel@lirmm.fr
J.-C. Soulié[b] jean-christophe.soulie@cirad.fr
Y. Dumont[c] yves.dumont@cirad.fr

[a] LIRMM, CNRS, University of Montpellier, Montpellier, France

[b] Recycling & Risk, University of Montpellier, CIRAD, Montpellier, France

[c] AMAP, University of Montpellier, CIRAD, CNRS, INRA, IRD, Montpellier, France

1 Introduction

L'utilisation des Systèmes Multi-Agents (SMA) pour modéliser, selon une approche ascendante (bottom-up), des systèmes complexes où un grand nombre d'entités interagissent de façon non linéaire (*e.g.* écosystèmes, insectes sociaux, foules, trafic routier, etc.) est un domaine applicatif qui a largement fait ses preuves, ainsi qu'une source d'inspirations qui permet de faire évoluer ce paradigme [5]. Dans le cadre de l'étude des systèmes complexes, la diversité des approches multi-agents existantes témoigne à la fois de la richesse de ce paradigme mais aussi de la complexité liée à la conception et à l'utilisation des simulations basées sur cette approche. Il existe, en effet, de multiples façons de modéliser la dynamique d'un SMA, sans qu'on puisse pour autant hiérarchiser la qualité des modèles tant leur dépendance au contexte et aux objectifs de l'expérience est forte. Enfin, l'augmentation des capacités de calcul ainsi que la qualité des outils existants ont permis une envolée spectaculaire du nombre de simulations multi-agents, ainsi que la complexité qu'elles prennent en compte en leur sein, de telle sorte qu'on peut véritablement parler d'un foisonnement d'approches.

Cette diversité, bien que désirable du point de vue de la capacité du paradigme à évoluer et à appréhender des dynamiques variées, représente cependant un frein lorsqu'il s'agit de dresser des modalités expérimentales qui pourraient être partagées par la communauté, indépendamment du contexte. En particulier, au-delà des questions de validation, il existe peu d'approches qui traitent, de manière le plus générique possible, des moyens pouvant être mis en œuvre pour explorer, analyser et faire évoluer un modèle multi-agents, une fois mis en place. Cela alors que la dynamique intrinsèque des modèles manipulés nous échappe encore en grande partie du fait des nombreux aspects intriqués, même lorsqu'il est question d'interactions simples faisant intervenir peu de paramètres. De fait, l'exploration des paramètres d'un modèle multi-agents est un point difficile et relève souvent d'un exercice de style qui consiste, par une approche essai/erreur, à modifier le modèle jusqu'à ce que sa dynamique se rapproche le plus possible de ce qui est attendu ou d'une réalité terrain, sans que l'on ait réellement déployé une stratégie et sans qu'on soit réellement sûr, in fine, d'avoir trouvé une bonne combinaison de paramètres parmi l'ensemble des possibles.

Dans ce résumé, nous présentons un retour d'expérience qui traite de cette problématique dans le contexte d'un projet d'agroécologie [1]. En effet, les travaux de recherche que nous avons effectués nous ont conduit à mettre en œuvre une démarche expérimentale originale dont nous souhaitons, à terme, proposer une généralisation. Ainsi, notre objectif à long terme repose sur l'élaboration d'une méthode expérimentale, dédiée aux approches de modélisation multi-agents, qui puisse être déclinée quelque soit les choix de modélisation et/ou d'outil considérés contextuellement.

Résumée, l'idée est de (i) permettre une exploration des dynamiques du modèle qui ne soit pas uniquement guidée par l'intuition et de (ii) fournir des objets de réflexion supplémentaires aux différents experts impliqués dans l'expérimentation. Cette dernière étant vue comme un processus foncièrement incrémental dans lequel la modélisation et l'expérimentation sont guidées par des analyses de sensibilité effectuées à chaque étape importante de l'évolution du modèle (*e.g.* ajout/retrait de paramètre). Nous présentons ici le projet ElaPalm et ses spécificités dans la section 2, puis l'analyse de sensibilité utilisée dans ce projet en section 3 avant de conclure sur notre retour d'expérience.

2 Cas d'étude : projet ElaPalm

Le palmier à huile est monoïque : les inflorescences mâles et femelles (respectivement IM et IF dans la suite du document) se produisent séparément sur la même plante, de sorte qu'il n'y a presque pas d'autopollinisation. Plusieurs programmes de sélection ont été lancés pour augmenter l'apparition d'IF et ainsi améliorer les rendements. Cependant, chez les jeunes palmiers (3-8 ans), la pollinisation est effectuée par des pollinisateurs naturels (*E. kamerunicus*, un charançon originaire d'Afrique introduit en Indonésie) qui, eux, ont besoin d'IM pour se reproduire, d'où une interdépendance forte entre (i) la dynamique IM/IF des palmiers et (ii) la taille de la population de pollinisateurs, et donc, *in fine*, le rendement, *i.e.* le taux de nouaison (phase où la fleur se développe en fruit après avoir été fécondée).

Le projet ElaPalm a pour principal objectif d'étudier, modéliser et simuler les interactions entre le palmier à huile et *E. kamerunicus*. L'objectif premier a, en particulier, consisté à estimer l'évolution de la taille d'une population d'insectes en fonction de la dynamique des arbres d'une parcelle standard [1]. La principale difficulté liée à cette étude repose sur le fait qu'il n'y ait que très peu d'informations et de données fiables disponibles sur cet insecte. Son cycle de vie, en particulier, est assez méconnu et le peu de données biologiques dont on dispose sont assez vieilles. En d'autres termes, la modélisation repose ici sur des valeurs de paramètres dans lesquelles nous ne pouvons avoir qu'une confiance limitée. Deuxième difficulté, le modèle ne peut être calibré en fonction d'une sortie attendue dans la mesure où la taille minimale de la population permettant à la fois la survie des insectes et un taux de nouaison optimal varie au cours du temps, car précisément fortement dépendante de la configuration et de la dynamique de la parcelle.

Pour pallier en partie ces difficultés, nous avons utilisé deux modélisations différentes, mais complémentaires : une modélisation déterministe continue et une approche multi-agents. En confrontant les sorties des deux modèles, notre objectif est d'acquérir incrémentalement des connaissances sur ce système complexe. L'idée ici est donc de bénéficier des atouts des deux approches tout en limitant leurs biais intrinsèques grâce à une analyse croisée : le modèle mathématique est adapté pour une étude macroscopique du système et permet notamment de produire des bornes acceptables pour la taille de la population, tandis que le modèle SMA permet d'intégrer les aspects du niveau micro, avec en particulier la répartition spatiale concrète des IM/IF au cours du temps et ainsi son impact sur les déplacements individuels des insectes, et, *in fine*, sur leurs interactions avec les arbres.

3 SMA et analyse de sensibilité

Comme nous l'avons mentionné, du fait du peu de données fiables disponibles, nous ne pouvions avoir qu'une confiance limitée dans les valeurs des paramètres avec lesquelles nous avons travaillé lors des premières étapes de modélisation. De plus, il est très difficile d'estimer, de manière ad hoc, l'influence des paramètres dans la dynamique du modèle multi-agents du fait de la complexité et du nombre des interactions impliquées. Autrement dit, même si les résultats que nous avons pu obtenir avec le modèle multi-agents pouvaient être validés de manière empirique par rapport aux sorties du modèle mathématique, il nous fallait gagner en compréhension quant à sa dynamique, sans quoi il aurait été hasardeux d'aller plus loin, par exemple, en rajoutant de nouveaux paramètres pour étudier un aspect plus poussé.

Peu d'outils existent en qui concerne l'exploration et l'analyse du comportement de modèles multi-agents de manière systématique. Ici, on peut d'ailleurs faire la distinction entre (i) les outils qui permettent d'explorer les potentialités d'un modèle multi-agents à partir d'un ensemble de comportements et d'interactions possibles, comme avec l'outil LEIA [2] qui propose, à partir de la définition d'une matrice d'interactions, l'exécution et la visualisation simultanées de différentes configurations de la matrice, et donc de comportements globaux différents, et (ii) les outils qui servent à faire de l'analyse de sensibilité en employant des méthodes destinées à évaluer comment un modèle réagit à une modification de valeur d'un paramètre d'entrée.

Dans notre cas, c'est le deuxième aspect qui nous intéresse car les comportements des agents, ainsi que les interactions entre les insectes et les arbres sont fixées par des connaissances expertes. En cela, nos besoins se rapprochent des fonctionnalités fournies par les outils qui utilisent des méthodes statistiques éprouvées (présentes dans R), basées sur la variance comme – Extended-Amplitude Sensitivity Testing (eFAST) [3] –, habituellement utilisée en simulation numérique pour analyser les relations entre les entrées et les

Paramètre	Acronyme	Valeur Min	Valeur Max
Time Between Inflorescences in Anthesis	TBIA	9	18
Male Inflorescence Ratio	MIR	0.01	0.15
Palm Larvae Capacity β	PLC	5000	20000
Male Inflorescence Attraction Radius r_{mas}	MIAR	2	30
Larva Maturation Time (days)	LMT	10	20
Larvae mortality percentage	LM	0.03	0.09
Larvae Per day per Female	LPF	1	6
Larvae Female Ratio	LFR	0.6	0.8
Pollinator Longevity (days)	PL	5	10
Pollinator Speed (m/h)	PS	16	48

TABLE 1 – Bornes utilisées pour l'analyse de sensibilité eFAST du modèle multi-agents

sorties d'un modèle. On peut citer par exemple le *nlrx R package* pour NetLogo (une plate-forme multi-agents) [7] ou encore l'outil OpenMole [6], plus généraliste et non lié à l'univers multi-agents.

Nos simulations ayant été implémentées avec la plate-forme de simulation TurtleKit [1] [4], il était plus simple d'utiliser directement R et ainsi ne pas avoir à nous conformer aux outils cités précédemment. Ainsi, nous avons effectué des analyses de sensibilité basées sur la méthode *Extended-Amplitude Sensitivity Testing* (eFAST) [3], grâce à la fonction *fast99* du paquetage *sensitivity* du logiciel R.

Cette méthode permet d'estimer l'influence individuelle et jointe de chaque paramètre p sur un ensemble de valeurs n pour un coût total de $n \times p$ simulations, ce qui est peu par rapport à d'autres méthodes. eFAST repose sur la spécification des limites des différents paramètres. Celles-ci sont utilisées pour calculer les valeurs à considérer pour chaque expérience, en discrétisant les intervalles correspondants suivant la taille de l'échantillonnage (n).

À titre d'exemple, la table 1 énumère les 10 paramètres ainsi que leurs bornes que nous avons testés dans le projet ElaPalm. Avec $n = 256$, nous avons donc eu à lancer 2560 simulations. Pour chaque instance, nous avons considéré deux réponses du modèle : les populations moyennes des (i) adultes et des (ii) larves. La figure 1 montre les résultats d'analyse obtenus vis-à-vis de la population d'adultes. Pour chaque paramètre, les parties blanches et grises déterminent l'influence respectivement individuelle et jointe du paramètre sur les résultats. Cette figure est ici utilisée uniquement pour illustrer la nature des résultats obtenu par une analyse de sensibilité ; le lecteur intéressé pourra trouver dans [1] une interprétation de ces résultats.

1. www.turtlekit.org

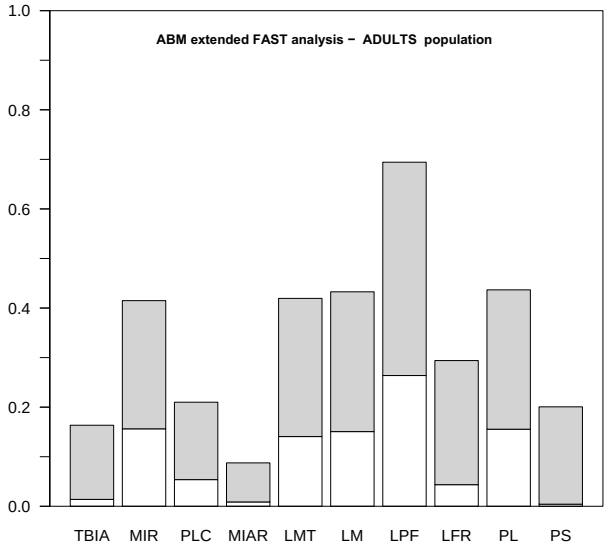

FIGURE 1 – Analyse FAST du modèle SMA vis-à-vis de la dynamique de la population d'adultes

4 Vers une modélisation SMA basée sur les analyses de sensibilités

Dans le cadre de ce résumé, nous souhaitons mettre l'accent sur l'apport que nous avons trouvé à utiliser l'analyse de sensibilité comme un outil permettant de guider le contenu des itérations dans le cadre du processus de M&S.

Plus spécifiquement, la méthode sur laquelle nous envisageons de travailler suite à ces travaux, repose sur l'intégration systématique d'analyse de sensibilité, basée sur la variance, en tant qu'étape constitutive intégrée dans le processus

expérimental d'une simulation multi-agents, et non comme un élément utilisé a posteriori uniquement à des fins de validation.

Ce type d'analyse permet en effet de mesurer, en dehors de toute intuition et indépendamment du contexte du système étudié, les effets individuels ou conjoints des différents paramètres présents dans un modèle. Ainsi, il est possible d'identifier les paramètres les plus influents et de guider ainsi l'évolution de la modélisation et de l'expérimentation.

Une telle démarche peut, par exemple, conduire à nécessiter l'affinage de données de terrain de part leur importance sur le résultat final, ou bien encore suggérer une exploration plus poussée de certains paramètres. De façon duale, constater l'insignifiance d'un paramètre peut inciter à son abandon ou à sa révision complète. L'originalité de cette approche est qu'elle implique soit un retour sur le terrain, soit un retour des experts, mais aussi de définir, par exemple, un jeu de systèmes d'équations globaux qui peuvent permettre de caractériser la valeur de paramètres in silico. Cette souplesse permet de prendre en compte une large diversité de cas et ainsi de balayer le champ des possibles beaucoup plus largement.

Références

[1] Yves Dumont, Jean-Christophe Soulié, and Fabien Michel. Modeling oil palm pollinator dynamics using deterministic and agent-based approaches. Applications on fruit set estimates. Some preliminary results. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 41(18) :8545–8564, apr 2018.

[2] François Gaillard, Yoann Kubera, Philippe Mathieu, and Sébastien Picault. Une Forme de Rétro Ingénierie pour Systèmes Multi Agents : explorer l'espace des simulations. In Z. Guessoum et S. Hassas, editor, JFSMA'2009 – Lyon (France) – 19-21 octobre 2009, pages 135–144, France, 2009. Cépaduès.

[3] S. Marino, I.B. Hogue, C.J. Ray, and D.E Kirschner. A methodology for performing global uncertainty and sensitivity analysis in systems biology. Journal of theoretical biology, 254(1) :178–196, 2008.

[4] F. Michel, G. Beurier, and J Ferber. The turtlekit simulation platform : Application to complex systems. In Alain Akono, Emmanuel Tonyé, Albert Dipanda, and Kokou Yétongnon, editors, Workshops Sessions of the Proceedings of the 1^{st} Int. Conf. on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems, SITIS 2005, Nov. 27 - Dec. 1, 2005, Yaoundé, Cameroon, pages 122–128. IEEE, 2005.

[5] F. Michel, J. Ferber, and A Drogoul. Multi-Agent Systems and Simulation : a Survey From the Agents Community's Perspective. In Adelinde Uhrmacher and Danny Weyns, editors, Multi-Agent Systems : Simulation and Applications, Computational Analysis, Synthesis, and Design of Dynamic Systems, pages 3–52. CRC Press - Taylor & Francis, June 2009.

[6] Romain Reuillon, Mathieu Leclaire, and Sebastien Rey-Coyrehourcq. Openmole, a workflow engine specifically tailored for the distributed exploration of simulation models. Future Generation Computer Systems, 29(8) :1981–1990, 2013.

[7] Jan Salecker, Marco Sciaini, Katrin M Meyer, and Kerstin Wiegand. The nlrx r package : A next-generation framework for reproducible netlogo model analyses. Methods in Ecology and Evolution, 10(11) :1854–1863, 2019.