

Lier les échelles de modèles pour l’optimisation dans les systèmes du vivant

Serge FENET

Université de Lyon, CNRS
Université Lyon 1, LIRIS, UMR5205, F-69622, France
`serge.fenet@liris.cnrs.fr`

Mots-Clés : *systèmes biologiques, éco-systèmes, modélisation individus-centrée, graphes dynamiques, décision.*

1 Introduction

Les systèmes naturels sont le siège d’une grande variété de phénomènes structurels et dynamiques, conséquences de leur complexité : auto-organisation, émergence de motifs spatiaux-temporels globaux basés sur les interactions entre composants locaux, non-prédictibilité à long terme, etc ([LeMoigne90]). La description, la modélisation et la simulation de tels systèmes posent ainsi de nombreux problèmes, car les mécanismes et les relations donnant naissance à ces phénomènes se déploient sur plusieurs niveaux d’organisation et se basent sur des boucles de rétro-action imbriquées. Une conséquence de cette complexité est la tendance à compléter les modèles conventionnels “descendants”, reposant généralement sur des équations différentielles décrivant la dynamique du système à haut niveau, par des approches “remontantes” modélisant les interactions entre les composants de bas niveau ([Grim99]).

Nous avançons dans ce travail l’argument selon lequel un lien entre ces deux niveaux de représentation extrêmes est nécessaire, voire même indispensable dans le cas des systèmes individus-centrés qui ne peuvent pas se réduire à leurs mécanismes de base. Ce lien permet, dans une double dynamique, de faire progresser la connaissance du fonctionnement du modèle, cette connaissance permettant à son tour de faire progresser la connaissance du phénomène naturel représenté et de mettre en place des actions de décision ou d’optimisation.

2 Le lien entre échelles : une représentation intermédiaire porteuse d’informations

Dans une démarche de modélisation individus-centrée, le modélisateur cherche à répondre à des questions et à valider des hypothèses portant sur un phénomène collectif complexe. L’observation de ce phénomène donne ainsi lieu à l’identification au niveau de ses composants de comportements qui seront la base de la simulation. Cette démarche, s’intéressant aux interactions au niveau individuel, est à l’opposé d’une modélisation de dynamique de population par équations différentielles. Elle offre de nombreux avantages en termes de simplicité de mise en œuvre, d’expressivité, d’ouverture, et de facilité de tests d’hypothèses. Toutefois, ces avantages sont contrebalancés par le fait que le modèle lui-même est un système complexe, ce qui rend difficile sa compréhension, et introduit de potentiels problèmes liés à sa validation.

Une solution à ce problème peut être apportée par un modèle intermédiaire, moins complexe qu'un modèle individus-centré, mais plus expressif qu'un modèle de population. Nous nous intéressons ici directement à l'évolution des interactions du modèle individu-centré. Puisque ces interactions sont la source de la complexité du système, nous les réifions dans une structure de graphes dynamiques, et observons ensuite l'évolution de ces graphes. Variation de taille, fusions, éclatements, apparition de structures, sont autant de descripteurs de la dynamique du système qui sont absents des deux autres modèles, et qui permettent donc de mieux comprendre les phénomènes réels modélisés. S'intéressant à une échelle supérieure à celle des individus, ils peuvent de plus servir de fondement à des méthodes de décision et d'optimisation s'appliquant aux populations simulées.

3 Systèmes visés

Dans le cadre de ces travaux, nous sommes intéressés par deux systèmes naturels dont l'importance nous semble capitale : la cellule, siège de mécanismes stochastiques d'expression génique, et les éco-systèmes, fournissant des éco-services d'une importance vitale pour la survie à long terme de l'humanité.

3.1 La machinerie cellulaire

De plus en plus d'études montrent que le métabolisme et l'expression génique sont fortement liés à l'émergence dynamique d'assemblages moléculaires transitoires auto-organisés, dans lesquels la stochasticité semble jouer un rôle prépondérant ([Hager.etAl09]). De plus, à cette échelle, l'hétérogénéité et la localisation spatiale des constituants semblent tenir une place prépondérante. Ces aspects sont cependant rarement pris en compte dans les modèles cellulaires. Une représentation intermédiaire permet de combler ce manque, et peut permettre de déboucher sur la caractérisation de phénomènes jusqu'à présent ignorés ou incompris.

3.2 Les éco-systèmes

L'évaluation des éco-systèmes pour le millénaire, effectuée en 2005, indique que 10% à 40% des espèces mammifères, aviaires et amphibiennes sont en voie de disparition, et met en avant la dégradation de 15 des 24 services fournis par les éco-systèmes ([IUCN08]). Au delà d'un simple acte éthique et moral, protéger les espèces restantes est un enjeu majeur de nos sociétés. Une modélisation de niveau intermédiaire, créant un lien entre des modèles de population et des modèles d'individus dans un cadre géographique, permet la mise en place de méthodes d'optimisation travaillant non seulement sur les données écologiques, mais aussi sur la dynamique de leur évolution. Cette représentation est de plus le fondement sur lequel peuvent s'appuyer des méthodes d'optimisation ou d'apprentissage. Dans ce cadre, nous nous intéressons à des actions de conservation maximisant la persistance d'espèces en danger.

Références

- [1] J.-L. LeMoigne. *La modélisation des systèmes complexes*, Bordas, 1990.
- [2] V. Grimm. *Ten years of individual-based modelling in ecology : what have we learned and what could we learn in the future ?*, Ecological Modelling 115, 129-148, 1999.
- [3] G.L. Hager, J.G. McNally, T. Misteli *Transcription Dynamics*, Molecular Cell Review, 2009.
- [4] *International Union for Conservation of Nature*, www.iucn.org