

Traiter un grand nombre d'entités soulève aussi une question méthodologique : à quel niveau de détail doit-on placer les agents ?

comme agents les divers artefacts et acteurs du système. Les réseaux de transport (électricité, gaz, eau, routes...) peuvent être coupés en tronçons qui sont autant d'agents.

Sur ces réseaux peuvent circuler les habitants (piétons, véhicules, transports collectifs), mais aussi les ressources, telle l'eau, dont la qualité peut être modifiée en retour par les autres activités urbaines. Les bâtiments deviennent aussi des agents qui prélèvent une part des ressources, des individus, des véhicules selon leur nature et leurs objectifs.

C'est ce genre de modélisation qui a été retenu par les concepteurs du jeu SimCity 2013 pour leur moteur GlassBox. Sa particularité est d'être complètement fondé sur les principes de la simulation multi-agents, la logique y étant poussée très loin puisque tout élément qui a une influence sur le jeu est un agent doté d'un comportement.

Cette nouvelle illustration du lien entre jeux vidéo et science montre en outre que l'approche « tout agent » peut supporter une montée d'échelle, à la fois en nombre total d'agents mais aussi en nombre de « familles » différentes. Elle offre également une grande souplesse et de nombreuses possibilités dans la réalisation de simulations. En unifiant les principes qui dirigent l'ensemble des entités impliquées dans la simulation, il devient plus facile d'y ajouter des nouveaux éléments et de les faire interagir afin d'enrichir la simulation et de multiplier les phénomènes qu'elle met en évidence. Néanmoins, l'apparition dans la dernière décennie de systèmes à très large échelle soulève de nouvelles problématiques sur lesquelles se focalise la recherche actuelle dans notre domaine.

En pratique, des simulations mettant en jeu des millions d'agents extrêmement diversifiés sont nécessaires pour l'étude de certains phénomènes, tels la propagation réaliste d'une maladie, un comportement économique global, la diffusion dans les réseaux sociaux... Le premier problème est alors celui du temps de calcul. La progression de la puissance des machines promet des simulations de plus en plus rapides, mais il s'agit surtout de programmer des modèles de comportements et des architectures d'agents avec des algorithmes concis et efficaces.

Traiter un grand nombre d'entités soulève aussi une question méthodologique : à quel niveau de détail doit-on placer les agents ? Prenons un exemple en biologie moléculaire, un des domaines les mieux adaptés à l'élaboration d'architectures et de modèles d'agents pour des applications à vaste échelle. Une bactérie renferme environ quatre mille types de molécules. Ne sachant pas toujours lesquelles sont pertinentes dans un mécanisme donné, on doit en simuler un très grand nombre. Si l'on se place à un niveau d'analyse plus fin, on atteint des populations de 10^{10} molécules dans la cellule ! Il est impossible de modéliser chacune d'elles. Doit-on alors créer un agent par espèce moléculaire ou pour un nombre fixé de molécules ? Comment faire le lien entre ces agents arbitraires et les concentrations ? Comment représenter les situations où quelques centaines d'agents molécules seulement sont impliqués ?

Un changement d'échelle de représentation devient intéressant. On regroupe des paquets d'agents en agents de plus haut niveau pour économiser du temps de calcul ; c'est aussi indispensable pour se placer à un niveau donné



← Les aménageurs peuvent tester leurs idées sur des simulateurs de trafic routier comme PTV Vissim. Ce système multi-agents reproduit avec réalisme les réseaux routiers. On peut y introduire des flux de véhicules et des perturbations du trafic afin d'optimiser l'aménagement urbain.

et faciliter l'identification du niveau adéquat (molécules, groupes de molécules, cellules...).

La simulation par agents est ainsi un outil commode pour formuler des hypothèses en biologie moléculaire et les tester à faible coût. Dans cette situation, on est conduit à développer des simulations multi-agents « multiniveaux ». L'enjeu est d'automatiser le passage d'un niveau à l'autre, c'est-à-dire de détecter des groupes d'agents qui peuvent être remplacés par un agent macroscopique, et inversement.

LE MULTI-AGENTS FAIT LE BONHEUR

Enfin, la révolution du *big data* n'est pas sans conséquence sur la conception de simulations multi-agents : la disponibilité croissante de grandes masses de données concernant des systèmes complexes ne les rend pas plus faciles à analyser. Toutefois, elles sont utiles pour paramétrer avec plus de réalisme les propriétés et les comportements des agents. De plus, les techniques de recherche d'information qui sont employées pour traiter les données réelles peuvent être utilisées de la même façon sur les données produites par les simulations, ce qui offre de nouveaux outils de comparaison et de validation.

Les modèles multi-agents, où des entités autonomes communiquent, s'adaptent, voire se coordonnent et planifient leurs actions, autorisent la mise à l'épreuve des hypothèses de fonctionnement d'un système. On peut aussi comprendre l'apparition de caractères globaux et de structures macroscopiques à partir d'entités individuelles. Les modèles multi-agents sont ainsi un cadre naturel pour étudier des

phénomènes complexes ou les comportements collectifs d'envergure.

Les outils nécessaires sont semblables quelle que soit la finalité de la simulation. L'expansion du domaine des jeux vidéo et la mise en place des métavers fournissent un banc d'essai remarquable, et laissent espérer le développement de techniques informatiques puissantes, applicables à des disciplines telles que la sociologie, la biologie ou l'industrie du commerce. De plus, la capacité de ces techniques à déborder du champ de la simulation pour fournir des outils de contrôle en temps réel d'objets physiques communicants (véhicules intelligents, réseaux de distribution, smartphones ou tablettes tactiles) permet d'envisager dans un avenir proche leur généralisation dans de nombreux secteurs d'activité. Jusqu'aux robots, bien entendu.

— Les auteurs —

> **Philippe Mathieu**
dirige l'équipe Systèmes multi-agents et comportements (SMAC) du Centre de recherche en informatique, signal et automatique de Lille (Cristal).

> **Jean-Christophe Routier**
est chercheur dans la même équipe.

> **Sébastien Picault**
est chercheur Inrae dans l'unité Bioepar, à Nantes.

— À lire —

> **D. Adam**, Special report: The simulations driving the world's response to COVID-19, *Nature*, avril 2020. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-01003-6>

> **J. D. Farmer et D. Foley**, The economy needs agent-based modelling, *Nature*, vol. 460, pp. 685-686, 2009.

> **P. Mathieu et S. Picault**, An interaction-oriented model for multi-scale simulation, in *Ijcai* 2011, p 332-337, 2011.



AcademiaNet offre un service unique aux instituts de recherche, aux journalistes et aux organisateurs de conférences qui recherchent des femmes d'exception dont l'expérience et les capacités de management complètent les compétences et la culture scientifique.

AcademiaNet, base de données regroupant toutes les femmes scientifiques d'exception, offre:

- Le profil de plus des 2.300 femmes scientifiques les plus qualifiées dans chaque discipline – et distinguées par des organisations de scientifiques ou des associations d'industriels renommées
- Des moteurs de recherche adaptés à des requêtes par discipline ou par domaine d'expertise
- Des reportages réguliers sur le thème »Women in Science«

Partenaires

Robert Bosch Stiftung

Spektrum
der Wissenschaft

nature

Pour la Science

Propos haineux, théories du complot et fausses nouvelles déferlent sur la Toile grâce, notamment, au renfort de robots logiciels. Contre ces fléaux issus de l'IA, il est heureusement un recours à fort potentiel : l'IA elle-même.

42

Communication

Les deux visages de l'intelligence artificielle

Laurence Devillers