

des agents réactifs dépend des événements qui surviennent dans leur contexte immédiat, la prise de décision des agents cognitifs s'appuie sur un raisonnement qui prend en compte les diverses possibilités d'action. Ils construisent ainsi des plans d'action afin de satisfaire des objectifs parfois lointains et abstraits, et sont capables d'adapter leurs plans à l'évolution du contexte.

Pour atteindre les buts qui leur sont fixés, les agents cognitifs élaborent et évaluent plusieurs plans d'action. Le principe le plus répandu est le chaînage arrière. L'agent cherche parmi les actions qu'il sait exécuter celle qui l'aiderait à atteindre le but fixé. Puis il étudie ses conditions d'application. Celles qui ne sont pas vérifiées deviennent de nouveaux buts, ou sous-but, à satisfaire. La résolution suit ce principe de fonctionnement en cascade jusqu'à ce que l'agent arrive à une action dont toutes les conditions sont satisfaites. La plupart des agents cognitifs raisonnent ainsi en remontant de l'aboutissement des actions vers les conditions autorisant leur réalisation.

La tâche reste complexe, mais on peut recourir aux algorithmes conçus dans d'autres domaines de l'intelligence artificielle. Les résultats sur la planification aident chaque agent à établir l'ensemble des possibilités qui s'offrent à lui à chaque instant. Elles se traduisent par autant d'actions exécutables par l'agent dans le contexte actuel. Des mécanismes de sélection d'action déterminent ensuite l'action qui sera retenue. Les mêmes algorithmes génériques peuvent ainsi être utilisés par tous les agents au sein d'une simulation. Cette capacité des agents à intégrer les algorithmes les plus divers pour définir leurs comportements leur permet désormais de bénéficier des méthodes

d'apprentissage automatique qui ont beaucoup progressé ces dernières années.

Les agents peuvent néanmoins être pourvus de capacités différentes. Ils sont ainsi construits à partir de briques élémentaires qui décrivent ce qu'ils peuvent faire au sein de la simulation et comment ils le font. Les variations dans les comportements obtenus résultent donc, d'une part, des contextes locaux distincts pour chaque agent et, d'autre part, des différences de compétences entre agents. Doté d'une compétence «soigner» avec zéro compétence «combat», un agent agira dans une bataille comme un infirmier, sans combattre. On peut aussi influencer sur le comportement de l'agent en lui faisant préférer l'emploi d'une compétence à une autre. De la sorte, on obtient une diversité de comportements, voire de «personnalités», ce qui facilite la mise en place des simulations.

L'AGENT PEUT ÊTRE UN PIÉTON, MAIS AUSSI UNE VOITURE DE POMPIER

La modélisation par des agents permet certes de simuler l'action d'êtres vivants. Mais les moteurs de simulation actuels, pourvus de mécanismes d'optimisation, prennent en charge toutes sortes d'entités. Prenons un exemple, celui de l'élaboration de *smart cities*, un enjeu important consistant à doter «d'intelligence» des bâtiments, des routes, des dispositifs urbains, des véhicules, afin d'optimiser les futurs réseaux de ressources, d'énergie, de transport... La simulation peut, en amont de la réalisation technique *in situ*, apporter une aide dans la prise de décision en offrant des outils pour tester diverses hypothèses et comparer des scénarios. Pour ce faire, on doit modéliser

38

→ Dans la série *Game of Thrones*, l'armée des morts semble sans fin... Seuls les figurants au premier plan sont réels, le reste est composé de milliers d'entités informatiques autonomes animées par le logiciel Golaem. Quelques règles simples de réaction à des événements qui surviennent dans leur entourage, combinées à l'utilisation de briques paramétrables (évitement de collision, suivi de chemin, etc.), suffisent pour régir leurs comportements.



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