

simulation microscopique, se décline principalement à travers deux paradigmes. Le premier est celui des automates cellulaires (le plus connu est le Jeu de la vie), où l'on divise l'espace en cellules dotées d'un état, et qui en changent en fonction de l'état des cellules voisines, selon des règles identiques pour toutes. Le second rassemble les simulations multi-agents qui offrent d'emblée aux entités qui les composent des comportements diversifiés : c'est ce que nous abordons ici.

L'industrie culturelle, en particulier les jeux vidéo et le cinéma, offre un débouché important pour ce type de simulations. Par exemple, dans les programmes comme le néo-zélandais *Massive* ou son homologue français *Golaem*, chaque «figurant» est un agent autonome à qui est attribuée une palette restreinte de règles de comportements, par exemple «Si je vois un ennemi, j'avance vers lui» ou «Si je suis attaqué sur le côté gauche, je pare avec mon bouclier». Chaque agent prend ses décisions en fonction du contexte et selon des paramètres qui lui sont propres. De la même façon, le déplacement de vastes groupes d'animaux tels que les nuées d'oiseaux ou les bancs de poissons se simule typiquement dans le cadre d'un système multi-agents (voir l'encadré de la page ci-contre).

Dans le champ scientifique, les agents connaissent aussi un grand succès. En physique ou en chimie, les corps semblables sont interchangeables : c'est bien le cas des atomes et des molécules de même nature. En revanche, en éthologie, en sociologie ou en économie, les acteurs sont dotés d'une histoire propre, et leurs comportements individuels varient. Les agents sont particulièrement bien adaptés à la modélisation de phénomènes collectifs émergeant de l'action d'individus «simples».

— En bref —

> L'approche centrée sur des individus aide à construire des modèles explicatifs de phénomènes complexes.

> Un système multi-agents permet de construire des mondes artificiels pour tester des hypothèses.

> Tout peut être agent : un animal, un véhicule, un bâtiment, le feu...

> La conception des comportements des agents repose sur les résultats de la recherche en intelligence artificielle.

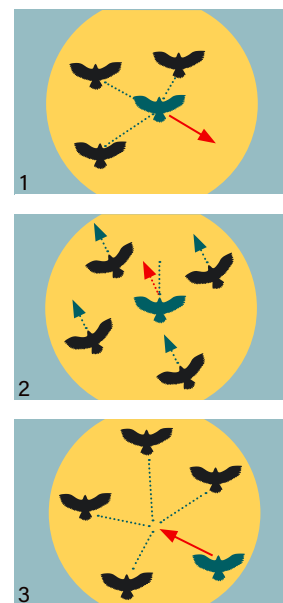
> Chaque agent agit selon le contexte et peut apprendre de ses expériences afin de mieux s'adapter.

> Les interactions des agents entraînent l'émergence de phénomènes collectifs non définis *a priori*.

Enfin, la simulation à visée ludique et celle qui fait office de «laboratoire virtuel» se rejoignent de plus en plus fréquemment, notamment à travers la montée en puissance des *serious games* à objectif pédagogique. Plus le jeu fait appel à des situations jugées vraisemblables par le joueur, plus ce dernier s'y implique et en assimile les connaissances. L'utilisation d'agents autonomes dans ce contexte permet une construction modulaire, facilement extensible et capable de répondre à des objectifs pédagogiques variés. C'est par exemple le cas dans *Format Store*, un logiciel destiné à former des vendeurs à la gestion de la relation clientèle, où l'apprenant est immergé, à travers son avatar, dans un supermarché virtuel, entièrement peuplé d'agents : les clients, mais aussi les articles, qui peuvent changer d'état, les panneaux d'informations, les caisses...

RÉACTIF OU COGNITIF ?

Le caractère ludique apparent de ces illustrations ne doit pas masquer les difficultés que pose la plupart du temps la définition de règles de comportements adéquates en fonction du but fixé aux agents. On doit d'abord déterminer et reproduire les caractéristiques physiques de l'environnement qui sont pertinentes par rapport au phénomène étudié : structure spatiale, lois physiques, événements qui y surviennent. Ensuite, chaque agent doit répondre aux informations perçues dans son environnement par des actions judicieuses. Le lien entre la perception et l'action peut être rudimentaire ou bien fondé sur des systèmes de planification ou de déduction. Enfin, l'environnement où les agents évoluent



est dynamique, car modifié sans cesse par leurs actions et leurs déplacements.

Placés dans un environnement changeant, complexe et imparfaitement connu, les agents doivent ainsi gérer des connaissances incomplètes et potentiellement erronées lorsqu'ils décident de leurs actions. Lorsque ces dernières conduisent à des impasses, elles peuvent être surmontées grâce au caractère adaptatif des comportements dont les agents sont dotés.

Pour ce faire, deux grandes approches du comportement individuel sont mises en œuvre. Les agents dits «réactifs» sont construits à l'aide d'instructions simples qui dictent la réponse à apporter en présence d'événements prédéfinis. Ils sont très dépendants de leur contexte et sont incapables d'envisager un objectif à long terme, par exemple «gagner la bataille». Leurs capacités individuelles d'adaptation et d'autonomie sont donc limitées.

De plus, les règles comportementales peuvent être interdépendantes, si bien que l'ajout de nouvelles compétences demande une révision de l'ensemble des règles. Grâce à des mécanismes d'apprentissage, l'agent peut disposer de comportements qui vont s'adapter aux situations rencontrées de façon à y répondre plus efficacement, mais cela ne résout pas la gestion des situations imprévues. Néanmoins, le modèle réactif est aujourd'hui le plus utilisé pour la modélisation de comportements dans les jeux vidéo, en raison d'abord de sa

↑ Dans une nuée d'oiseaux, on a longtemps supposé qu'un meneur coordonnait l'ensemble du groupe. Craig Reynolds, de la société Sony, a montré que pour reproduire des groupes réalistes, trois règles simples appliquées à chaque individu suffisent: la **séparation** (1), qui tend à éloigner l'individu de ses congénères les plus proches; l'**alignement** (2), qui force l'animal à s'orienter dans la direction moyenne de ses voisins; enfin, la **cohésion** (3), qui le pousse vers leur position moyenne. Ce modèle, dit de «flocking», permet de simuler le comportement en vol, mais doit être enrichi pour les phases de décollage et de retour au sol.

simplicité de conception et de programmation et de son faible coût de calcul. En outre, il est parfaitement approprié à la modélisation d'entités physico-chimiques et fait fréquemment apparaître des comportements collectifs efficaces.

Cependant, simuler des comportements intelligents proches de ceux des êtres humains, prenant en compte la réflexion, l'opportunisme ou l'esprit d'équipe est de plus en plus souhaité. Ces compétences sont réservées à des agents plus évolués, dits «cognitifs». Alors que le comportement