

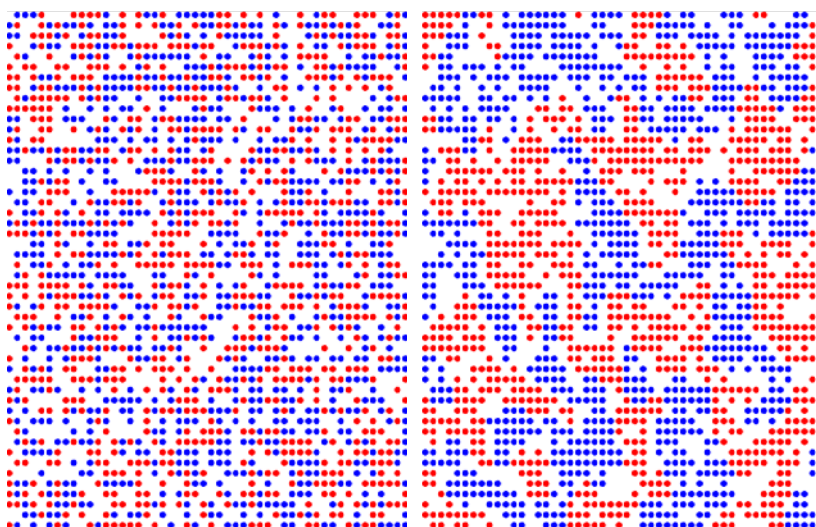
SIMULATIONS MULTIAGENTS POUR EFFETS DE GROUPE

Une fourmi ne voit qu'à quelques centimètres devant elle. Tout au plus peut-elle décider de suivre ou non une trace de phéromone laissée par une congénère assez récemment pour que la substance ne se soit pas évaporée. Pourtant, le jeu complexe des règles simples qui régissent le comportement individuel des fourmis permet à la fourmilière de trouver une bonne approximation du chemin le plus court vers un pot de confiture situé à des dizaines de mètres du nid, malgré la perception très limitée des individus... et chacun a pu constater qu'elle le fait parfois très vite !

Reproduire cette performance dans une simulation informatique implique de résoudre une foule de problèmes. Il faut par exemple simuler le fait que les décisions des agents (les fourmis dans notre exemple) sont simultanées, de même que les réactions de leur environnement, alors que les machines sont essentiellement séquentielles (elles traitent leurs tâches les unes après les autres). Chaque intervalle de temps implique alors une énorme masse de calculs qu'il faut autant que possible réduire. On doit aussi s'assurer que la représentation complète de l'environnement dans la simulation ne vient pas « informer » les agents par quelque biais de la programmation, c'est-à-dire que ces derniers ne disposent effectivement que de la petite fraction d'informations à laquelle ils sont censés accéder (un problème souvent moins évident qu'il n'y paraît).

Après des décennies de progrès informatiques s'appuyant sur l'augmentation exponentielle de la puissance de calcul depuis l'époque héroïque des premiers automates cellulaires (le « jeu de la vie » proposé par le mathématicien britannique John Conway en 1970), les simulations multiagents se sont répandues dans de nombreuses disciplines.

Y compris en sciences sociales, où l'avènement de cette démarche est marqué par la publication en 1999 du manuel *Simulation for the Social Scientist* par deux sociologues, l'Anglais Nigel Gilbert et l'Allemand Klaus Troitzsch, pionniers en la matière. Il s'agit notamment de comprendre l'émergence de phénomènes collectifs (ségrégation, propagation d'une mode, etc.) à partir de comportements individuels modélisés par des règles simples – que l'on peut ajuster au fur et à



Un exemple de simulation multi-agents (modèle de Thomas Schelling) montrant un phénomène de ségrégation ethnique. L'état initial (à gauche) représente une ville à deux ethnies (en bleu et rouge) dont les habitants sont logés au hasard. Pour chaque habitant, on applique la règle : « Si moins de 50 % de mes plus proches voisins sont de la même ethnie que moi, je déménage ». Au bout de quelques itérations, on voit apparaître des quartiers homogènes (à droite).

LES AUTOMATES CELLULAIRES SONT LES ANCÊTRES DES MODÈLES MULTIAGENTS. LE PREMIER A ÉTÉ CONÇU PAR LE MATHÉMATICIEN JOHN VON NEUMANN, DANS LES ANNÉES 1940. C'ÉTAIT UN RÉSEAU DE CELLULES DONT CHACUNE ADOPTE UN ÉTAT PARI MI 29 POSSIBLES, EN FONCTION DES ÉTATS DES CELLULES VOISINES AU PAS DE TEMPS PRÉCÉDENT.

mesure des simulations, de façon à identifier les facteurs les plus pertinents.

On utilise aussi les simulations multiagents en économie, en architecture (conception d'issues de secours adaptées en cas de mouvements de panique, par exemple), en urbanisme (impact de modifications des infrastructures), pour étudier le trafic routier (jusque-là simulé à l'aide d'équations inspirées de la mécanique des fluides, qui ne tiennent pas compte de la capacité des conducteurs à prendre des décisions plus ou moins heureuses). Même l'industrie du cinéma s'en sert, depuis que Peter Jackson a fait ainsi simuler les mouvements des armées multitudinaires de son *Seigneur des anneaux*...

Outre la production de simulations réalistes et prédictives, la capacité des systèmes multiagents à s'autoorganiser est exploitée directement pour explorer les arborescences du Web ou d'une base de données à la manière des fourmis, ainsi que dans la conception d'algorithmes capables de se modifier eux-mêmes pour trouver des solutions optimales à certains problèmes. Les simulations multiagents sont dès lors aussi une branche de l'intelligence artificielle. ■

R. C.

N. Gilbert et K. G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*, McGraw-Hill, 1999

2002

Toumaï confirme que nous sommes tous des Africains

Il y a 7 millions d'années, au Tchad, vivait le plus vieil hominidé connu : Toumaï. Ce bipède grimpeur de 1 mètre de haut pour 35 kilogrammes, probablement très proche du dernier ancêtre commun aux chimpanzés et aux humains, ancre nos origines en Afrique.



L'AUTEUR



MICHEL BRUNET
professeur émérite
au Collège de France
(chaire de
Paléontologie
humaine) est aussi
professeur associé
à l'université
de Poitiers (IPHEP-
UMR 7262-CNRS)

Reconstitution du crâne
de *Sahelanthropus tchadensis*,
dit Toumaï, par Elisabeth Daynes
(artiste, Paris).

En 2002, la Mission paléoanthropologique franco-tchadienne (MPFT) décrit Toumaï. La découverte de cet hominidé de 7 millions d'années (7 Ma) montre tout le chemin parcouru depuis l'introduction par Jean-Baptiste de Lamarck, au début du XIX^e siècle, de l'idée qu'une espèce peut évoluer. Après Lamarck, la notion de l'existence d'autres formes humaines que la nôtre ne s'est imposée qu'avec la mise au jour en 1856 en Allemagne du premier fossile de Néandertalien. Trois ans plus tard, en 1859, Charles Darwin publia son œuvre magistrale et visionnaire *Sur l'origine des espèces par la sélection naturelle*, une véritable théorie de l'évolution. Puis, en 1871, dans son ouvrage *L'Ascendance de l'homme*, il affirma en outre l'existence de liens de parenté entre l'homme et les grands singes africains. Constatant que les genres *Gorilla* et *Pan* (chimpanzés) sont les plus proches du genre *Homo*, il estima, en quelque mesure, plus probable que nos premiers ancêtres hominidés aient vécu sur le continent africain qu'ailleurs. Cette prédiction de Darwin sera progressivement vérifiée par la paléontologie humaine puis finalement par la biologie moléculaire.

Ainsi, en 1967, Allan Wilson et Vincent Sarich de l'université de Californie, à Berkeley, démontrèrent notre très grande proximité génétique avec les chimpanzés : ils établirent que moins de 2% de leur ADN diffèrent du nôtre. Cette proximité traduit le fait que les hominidés (la famille humaine) partagent un ancêtre commun avec les panidés (la famille chimpanzée).

La confirmation paléontologique de la prédiction de Darwin vint bien plus lentement. Dans le cadre de la quête de notre ancêtre, les découvertes de fossiles humains se sont succédé dès la fin du XIX^e siècle : d'abord en Europe (Néandertaliens, Cro-Magnon) ; puis en Asie (*Homo erectus*). En 1925, Raymond Dart décrit en Afrique du Sud l'enfant de Taung (2,5 millions d'années), le tout premier australopithèque connu (*Australopithecus africanus*). Enfin, en Afrique orientale, les nouvelles découvertes s'accumulent pour des âges compris entre 2 et 6 Ma : *Paranthropus boisei* (2,4 Ma) en 1959, *Paranthropus aethiopicus* (2,3 Ma) en 1967, puis Lucy (3,2 Ma) en 1974 et ses frères pour la nouvelle espèce *Australopithecus afarensis* en 1978.

La communauté paléoanthropologique internationale prend alors conscience que notre histoire s'enracine profondément en Afrique. La distribution géographique singulière des australopithèques (Afrique australe et orientale),

associée au fait que les plus anciens connus sont tous est-africains (3,6 Ma, Laetoli en Tanzanie), conduit Yves Coppens à proposer, en 1982, le paléoscénario East Side Story, c'est-à-dire l'idée que les préhumains bipèdes ont évolué dans une savane originelle située à l'est du Grand Rift africain. En 1982, la découverte au Pakistan d'un massif facial permet de démontrer que *Ramapithecus* (7-12 Ma), que l'on supposait à l'origine du rameau humain, est en réalité la femelle du *Sivapithecus*, genre apparenté aux pongidés, la famille de l'orang-outan. Le paléoscénario proposé par Yves Coppens se substitue alors très vite à l'hypothèse antérieure d'une origine asiatique de la famille humaine.

Au début du XXI^e siècle, les plus anciens hominidés avérés remontent désormais au Miocène supérieur (11,6 à 5,3 Ma). Ainsi, en Éthiopie, des équipes internationales menées par Yohannes Haile-Selassie aujourd'hui à l'université Case Western Reserve, et Tim White de l'université de Californie, à Berkeley, ont successivement découvert *Ardipithecus kadabba* (5,2-5,8 Ma) puis son successeur pliocène probable *Ardipithecus ramidus* (4,4 Ma) ; à Lukeino au Kenya, Brigitte Senut, du Muséum national d'histoire naturelle, a pour sa part décrit *Orrorin tugenensis* (6 Ma). Depuis 1995, la MPFT a en outre décrit au nord du Tchad *Australopithecus bahrelghazali*, dit Abel (3,5 Ma), le premier australopithèque connu à l'ouest du Grand Rift africain, puis en 2002 *Sahelanthropus tchadensis*, c'est-à-dire Toumaï et ses frères (7 Ma).

LES HOMINOÏDES, SUPERFAMILLE

D'où sont sorties toutes ces formes ? La paléontologie et la phylogénie moléculaire montrent que les hominidés appartiennent au groupe des anthropoïdes, des singes, qui évoluaient en Asie il y a plus de 50 millions d'années, puis, très tôt, sont passés en Afrique. Il existe aujourd'hui deux grands groupes frères de singes anthropoïdes : les Catarrhiniens (singes de l'Ancien Monde) et les Platyrrhiniens (singes du Nouveau Monde ou Néotropicaux). Probablement originaire directement d'Afrique, ce dernier groupe a migré il y a longtemps (vers 37-40 Ma) vers l'Amérique du Sud par une route qui demeure encore conjecturale : îles Shetlands du Sud, péninsule Antarctique...

Au sein du premier groupe, nous les humains, appartenons à la superfamille des Hominoïdes, actuellement représentés en Asie par les gibbons (*Hylobates* et *Symphalangus*) et les orangs-outans (*Pongo*), en Afrique par les gorilles (*Gorilla*) et les chimpanzés (*Pan*), et sur l'ensemble de la