

Des fourmis sur la toile

Pour gérer les conditions astreignantes du réseau *Internet*, M. Dorigo et son collègue Gianni Di Caro ont perfectionné les agents de type fourmi afin qu'ils tiennent compte de facteurs supplémentaires, tel le temps total de transit d'une information entre son départ et son arrivée (pour les réseaux téléphoniques, seul le temps d'un nœud à un autre est pris en compte, et le trafic est supposé égal quel que soit le sens). Aussi bien pour la maximisation des débits que pour la minimisation des délais, les premiers résultats des simulations indiquent que ce système de gestion du trafic est plus efficace que ceux qui sont utilisés, tel le protocole aujourd'hui en vigueur sur le réseau *Internet*, où les nœuds s'informent en permanence de l'état des liaisons auxquelles ils sont connectés.

Outre l'orientation et le déplacement, d'autres comportements d'insectes sociaux sont copiés par les roboticiens. Par exemple, ils étudient le transport coopératif chez les fourmis pour concevoir des techniques de commande d'un groupe de robots.

Chez certaines espèces, une fourmi qui ne peut récupérer seule une proie recrute parfois des congénères pour l'aider : pendant quelques minutes, les fourmis changent de positions et d'alignements autour de l'objet, jusqu'à ce qu'elles soient capables de transporter la proie vers le nid.

Ronald Kube et Hong Zhang, de l'Université d'Alberta, ont reproduit ce comportement avec des robots mécaniques. Ces derniers devaient pousser une boîte vers un emplacement donné. La boîte ne pouvait être poussée par un seul robot et, de surcroît, ceux-ci étaient dotés d'instructions simples telles que : trouver la boîte, établir un contact avec elle, se positionner de manière à ce que la boîte se trouve entre le robot et le but, puis pousser la boîte en direction du but.

Malgré la simplicité des programmes, la similitude entre le comportement des robots et celui d'une colonie de fourmis est frappant : les robots se déplacent d'abord au hasard, à la recherche de la boîte. Puis, quand ils l'ont localisée, s'ils sont en nombre suffisant, ils la poussent. Lorsque la boîte reste immobile, les robots changent leurs positions et leurs alignements. Ils se repositionnent en permanence lorsqu'ils perdent le contact avec la boîte, quand

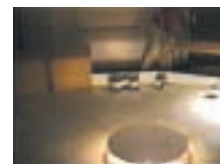
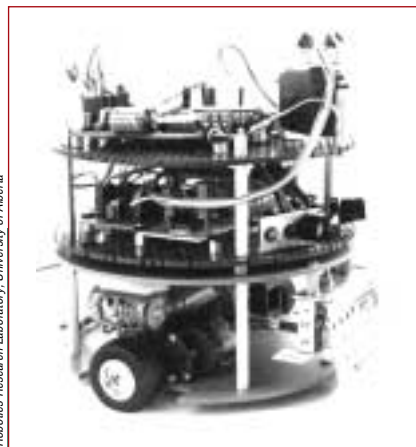
ils se bloquent mutuellement ou lorsque la boîte tourne. Enfin, malgré leurs capacités limitées, les robots amènent la boîte au but (voir la figure 6).

Confrontés au même problème, des êtres humains imaginent des collaborations plus efficaces. Toutefois, l'approche de l'intelligence en essaim est propice à la miniaturisation et à la réduction des coûts. Les ingénieurs concevraient ainsi des robots simples et peu onéreux qui coopéreraient pour des tâches de plus en plus complexes.

Dans un autre projet, des méthodes d'analyse de données financières reproduisent les stratégies de regroupement des cadavres et de tri des larves mis en œuvre par les fourmis. Chez les fourmis *Messor sancta*, les ouvrières nettoient les nids en entassant à l'extérieur

les cadavres. Dans des nids artificiels reproduits en laboratoire, elles regroupent en quelques heures des corps dispersés de façon aléatoire (voir la figure 7). De la même manière, les ouvrières de l'espèce *Leptothorax unifasciatus* trient systématiquement les larves et les œufs. Les petites larves sont regroupées avec les œufs, les pupes et pré-pupes (des stades intermédiaires dans le développement des insectes) sont autour, elles-mêmes entourées par les larves les plus grandes.

Selon J.-L. Deneubourg, de petits amas de cadavres s'agrandissent, car ils attirent les ouvrières qui y déposent plus d'éléments : cette rétroaction positive entraîne la formation de tas de plus en plus grands. Pour les couvées, les fourmis ramassent et déposent les éléments en fonction du nombre d'objets similaires environnants. Par exemple, quand une fourmi trouve une grande larve entourée d'œufs, elle prend de préférence la larve qui constitue «l'intrus» et la dépose dans une zone qui contient déjà d'autres grandes larves.



Robotics Research Laboratory, University of Alberta

Guy Théroux, CNRS Toulouse

Robotics Research Laboratory, University of Alberta

6. LA COOPÉRATION DES FOURMIS, ici pour porter une grosse proie (à gauche), a inspiré aux informaticiens des programmes simplifiés de robots. Dans une expérience réalisée à l'Université d'Alberta, les robots doivent pousser une boîte circulaire illuminée vers une source de lumière. Bien que chaque robot (en haut, à gauche) ne communique pas avec les autres et agisse indépendamment, en suivant un petit ensemble d'instructions simples, l'action collective du groupe permet d'atteindre l'objectif fixé (à droite).

Des cimetières de données

En se fondant sur ce tri du couvain, nos collègues britanniques Erik Lumer et Baldo Faieta ont mis au point une méthode d'exploration d'une grande banque de données. Supposons, par exemple, qu'une banque veuille identifier ses clients les plus susceptibles de rembourser un prêt. La banque dispose de nombreux renseignements sur ses clients, tels l'âge, le sexe, la situation familiale, le type de logement, les services bancaires favorisés... En étudiant des groupes de personnes aux caractéristiques similaires, les responsables des prêts détermineraient la fiabilité des divers clients et ils pourraient exiger des garanties solides des demandeurs de prêt appartenant aux groupes dominés par des débiteurs défaillants.

Les spécialistes d'analyse des données aiment visualiser les groupes sur un plan (au-delà, l'interprétation des données est difficile), où chaque client est représenté par un point. Ces clients sont donc dans la situation des œufs et des larves que des fourmis logicielles peuvent déplacer, ramasser et déposer selon les éléments environnants. La distance entre deux clients indique leur degré de similitude. Les fourmis arti-

ficielles prennent leur décision de tri en fonction de toutes les caractéristiques des clients et, selon les objectifs de la banque, le logiciel peut avantager mathématiquement certains attributs.

Grâce à ce type d'analyses, une banque identifie facilement les personnes âgées d'environ 20 ans, célibataires, vivant pour la plupart chez leurs parents et dont le service bancaire préféré est le suivi des placements, ou celles qui sont âgées d'environ 57 ans, de sexe féminin, mariées ou veuves et propriétaires de leur logement sans hypothèque.

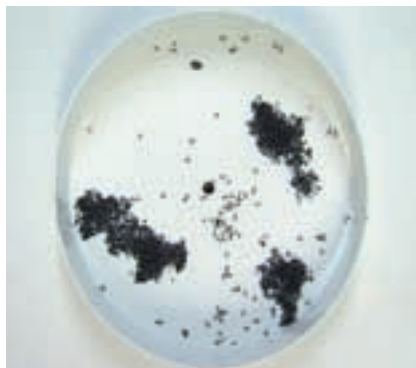
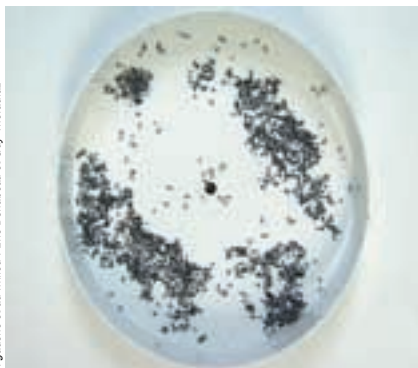
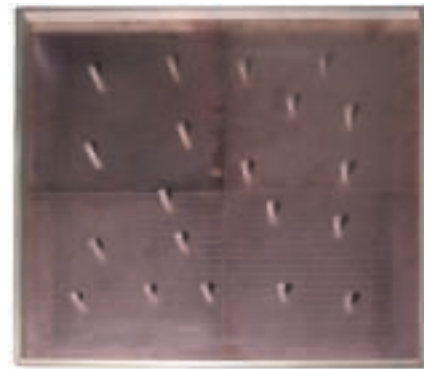
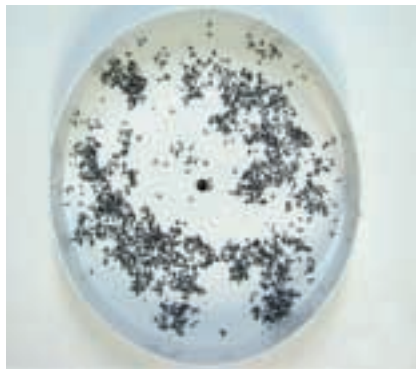
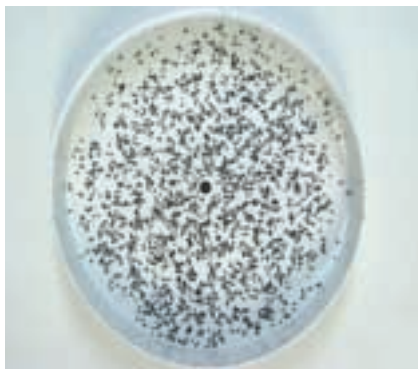
Les banques et les compagnies d'assurances utilisent déjà ce type d'analyse de profils. Cependant, grâce au modèle des fourmis, la visualisation des données est facile et, surtout, le nombre de groupes ressort automatiquement des données, alors que les méthodes classiques requièrent un nombre prédéfini de groupes où les données sont réparties. Ainsi, le tri des fourmis artificielles met au jour des communautés qui autrement restent cachées.

Par ailleurs, l'agrégation des cadavres a inspiré Alcherio Martinoli et ses collègues de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, qui ont transposé les comportements des four-

mis à des robots nommés Khepera. Chaque robot est équipé d'une pince avec laquelle il saisit et transporte des objets d'un diamètre inférieur à cinq centimètres. Grâce à des récepteurs infrarouges, les robots évitent les obstacles ou les autres robots. Quand l'obstacle est petit, le robot y voit un objet à prendre : lorsque le robot ne transporte rien, il saisit l'objet ; sinon, il dépose l'objet qu'il tient à côté du nouvel objet. Les expériences ont été effectuées dans une arène carrée de 80 centimètres de côté, où cinq robots et 20 objets ont été répartis au départ. En quelques heures, les robots ont rassemblé tous les objets et construit des agrégats en forme de serpents (*voir la figure 7*).

L'agrégation d'objets n'est qu'une première étape vers la compréhension du lien existant entre le processus de construction d'une structure spatiale et des algorithmes de résolution distribués. Quel doit être le comportement des robots ? Quelles règles de dépôt et de prise d'objets doivent-ils suivre afin que leurs interactions produisent la forme recherchée ?

Les insectes sociaux ont déjà répondu à ces questions. Ainsi, chez les guêpes sociales, qui construisent des nids, en carton ou en boue, d'architecture



À gauche et au milieu : Éric Bonabeau et Guy Theraulaz

À droite : Alcherio Martinoli, EPFL, Lausanne

7. LES FOURMIS OUVRIÈRES regroupent les cadavres pour nettoyer leur nid. Dans une expérience, 1 500 cadavres sont éparpillés au hasard (*en haut, à gauche*) : après 26 heures, les ouvrières ont formé trois amas (*en bas, au centre*). Ce comportement et la

manière dont les fourmis trient également leurs larves ont inspirés des algorithmes de robots, qui déplacent des objets placés initialement au hasard dans une arène (*en haut, à droite*), et les rassemblent en un serpent (*en bas, à droite*).