

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.

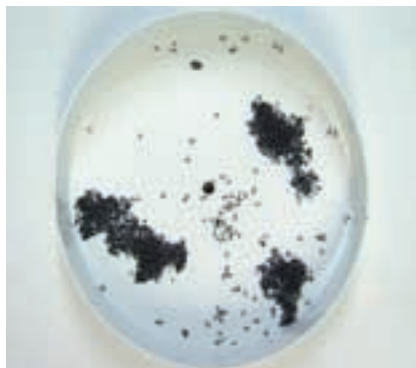
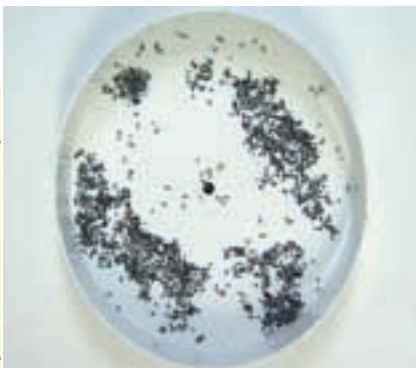
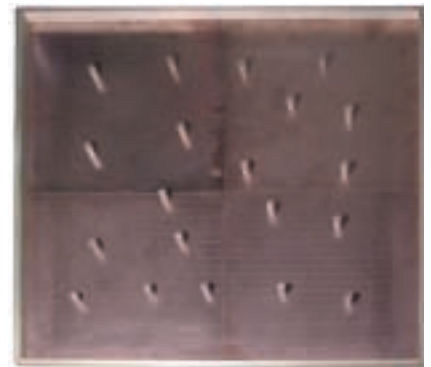
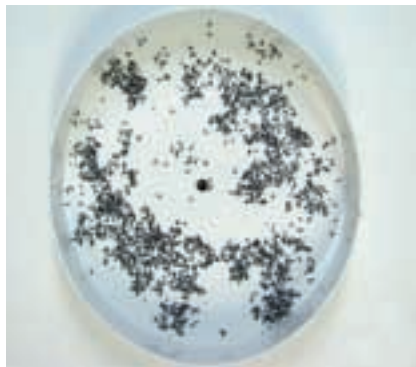
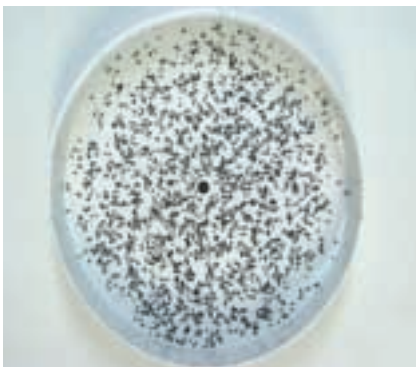
Les banques et les compagnies d'assurances utilisent déjà ce type d'analyse de profils. Cependant, grâce au modèle des fourmis, la visualisation des données est facile et, surtout, le nombre de groupes ressort automatiquement des données, alors que les méthodes classiques requièrent un nombre prédéfini 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

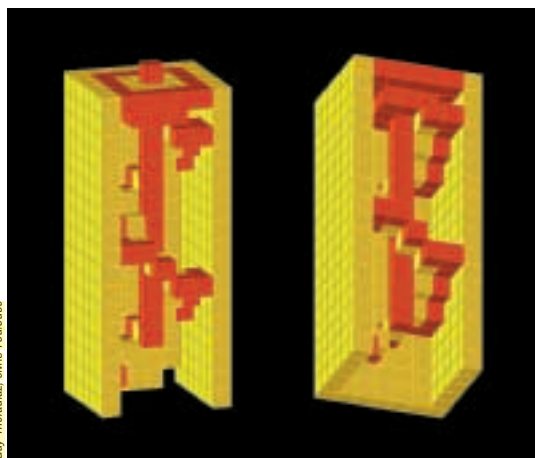


À gauche et au milieu : Éric Bonabeau et Guy Theraulaz

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).



8. CETTE STRUCTURE (vue sous deux angles) a été obtenue par auto-assemblage de 500 briques grâce à un processus « stigmergique » : selon le voisinage perçu, c'est-à-dire l'état des 26 briques qui l'entourent, l'agent virtuel bâtisseur dépose ou non une brique dans la cellule qu'il occupe. On a ôté la couche de briques superficielle pour montrer la structure interne de l'ensemble.

complexe, la forme du nid détermine indirectement la construction par un processus nommé stigmergie : certaines microstructures rencontrées sur le nid influencent l'activité bâtitrice. Par exemple, certaines configurations de cellules, identifiées par la guêpe grâce à ses antennes, entraînent la construction d'une nouvelle cellule, alors que d'autres sont sans effet. La dynamique de construction s'apparente à un processus d'auto-assemblage. Nous avons montré que les structures produites par cet auto-assemblage et des algorithmes stigmergiques pouvaient être très élaborées (voir la figure 8). De plus, d'autres problèmes peuvent être convertis sous la forme d'une représentation spatiale, afin d'être résolus par des robots manipulateurs d'objets. Les divers systèmes que nous avons détaillés illustrent l'abondance d'applications fondées sur le comportement des insectes sociaux. Nous pouvons encore citer d'autres exemples : la planification du travail dans une usine peut être améliorée par l'étude de la flexibilité de la répartition des tâches chez les abeilles (voir l'encadré de la page 70) ; inspiré par la manière dont les guêpes construisent leurs nids, Dan Petrovich, de l'Institut de technologie de l'armée de l'air américaine, a mis au point un essaim de petits satellites mobiles qui s'assembleraient en une structure donnée plus grande ; grâce à des agents logiciels de type insecte, Van Dyke Parunak, de l'Institut de recherches environnementales du Michigan, résout des problèmes de fabrication, telle la gestion d'un

réseau de fournisseurs d'une usine...

Paul Kantor, de l'Université Rutgers, utilise l'intelligence en essaim pour rechercher des informations sur le réseau *Internet*, ainsi que dans d'autres grands réseaux : dans une colonie d'utilisateurs, les internautes à la recherche de sites intéressants accèdent aux informations sous forme de phéromones numériques laissées par d'autres membres de la même colonie lors de recherches précédentes.

L'intelligence en essaim offre un moyen de concevoir des systèmes capables de s'adapter rapidement à des conditions changeantes. Elle s'est développée grâce à

notre compréhension du fonctionnement des sociétés d'insectes, même si parfois les détails précis sur les mécanismes impliqués sont encore inconnus.

Toutefois, bien qu'efficaces dans de nombreuses tâches d'optimisation et de contrôle, les systèmes d'intelligence en essaim sont par principe réactifs et manquent d'une vue d'ensemble indispensable à la résolution de problèmes qui requièrent des techniques de raisonnement approfondi.

Les informaticiens craignaient que les agents autonomes de type insecte ne deviennent incontrôlables dans les ordinateurs qu'ils habitent. Les nombreuses applications leur ont démontré que cette caractéristique est un avantage lorsqu'elle permet à de tels systèmes de s'adapter à des problèmes imprévus : cette flexibilité fait défaut aux logiciels classiques.

Ainsi, les insectes sociaux nous enseignent que des éléments réactifs et simples, correctement connectés dans un groupe, sont capables de produire des résultats intelligents : l'astuce réside dans la pertinence des connexions.

Éric BONABEAU est directeur scientifique à la Société *Euro-Bios*, à Paris. Guy THÉRAULAZ est éthologiste au CNRS, à l'Université Paul Sabatier, à Toulouse.

Éric BONABEAU, Marco DORIGO et Guy THÉRAULAZ, *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999.
