



**HAL**  
open science

# L'intelligence collective des insectes au service de l'homme

Guy Theraulaz

► **To cite this version:**

Guy Theraulaz. L'intelligence collective des insectes au service de l'homme. Les promesses de la science, Flammarion, pp.117-137, 2019, Les promesses de la Science, 9782081493728. 10.3917/flam.chauv.2019.01.0117 . hal-04855926

**HAL Id: hal-04855926**

**<https://hal.science/hal-04855926v1>**

Submitted on 26 Dec 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## L'intelligence des insectes au service de l'homme



*On peut avoir un cerveau de la taille d'une tête d'épingle et bâtir des édifices qui rivalisent de beauté avec les plus belles constructions humaines. Le secret des fourmis, des termites et des autres insectes sociaux qui réalisent de telles prouesses ? L'intelligence collective. Et si l'homme s'inspirait d'eux à l'heure où il devient, grâce aux nouvelles technologies de communication, un animal de plus en plus social ?*

Dans notre laboratoire, nous étudions les comportements collectifs chez les insectes sociaux, fourmis, guêpes, termites et abeilles. Et également chez les espèces qui vivent en groupe, en société, comme certaines espèces de poissons et d'oiseaux, sans oublier... les hommes. Nos recherches portent sur l'extraordinaire capacité de ces animaux à coordonner leurs activités, afin de résoudre des tâches

**Guy Theraulaz** est éthologue, directeur de recherches au CNRS et travaille au Centre de recherches sur la cognition animale à Toulouse. C'est grâce à ses travaux sur les comportements collectifs des insectes sociaux que l'on a pu concevoir des systèmes artificiels permettant notamment d'optimiser la transmission de grandes quantités de données par téléphonie mobile.

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

complexes ou difficiles comme construire un nid, localiser la meilleure source de nourriture ou encore transporter de lourdes charges. Chaque insecte que nous étudions n'est pas très intelligent pris individuellement, mais les interactions entre individus d'un même groupe conduisent à une intelligence collective.

Comment interagissent les insectes entre eux ? Ils communiquent directement, par exemple par le biais de contacts antennaires, mais dialoguent surtout indirectement par l'intermédiaire de phéromones, notamment chez les fourmis. Les phéromones sont des traces chimiques que les fourmis laissent dans leur environnement. Via ces signaux, tout ce qu'elles construisent sont des sources d'information qui vont guider et déclencher des comportements spécifiques chez les autres insectes, qui eux-mêmes vont transformer ces informations.

Les fourmis vont par exemple renforcer des pistes de phéromones, modifier des parties de nid qui ont été construites par d'autres, et ces comportements vont eux-mêmes en déclencher de nouveaux. C'est cette séquence bien particulière de stimulus et de réponses qui permet aux insectes de coordonner leurs comportements collectifs et qui conduit à une des propriétés les plus fascinantes de ces sociétés : la capacité de résoudre collectivement des problèmes.

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

### *Autoroutes et cimetières*

Comment étudions-nous les fourmis ? Grâce aux colonies que nous élevons dans le laboratoire ! D'abord, nous filmons les insectes dans des conditions toujours standardisées, c'est-à-dire à lumière, température et humidité constante. Puis nous procédons à différents types d'expériences : par exemple, nous regardons comment les fourmis créent des pistes, agrègent des cadavres, forment des cimetières, se partagent leurs tâches à l'intérieur du nid... Enfin, grâce à des techniques d'analyse d'image automatisée, nous mesurons et analysons le comportement des individus et leurs interactions. Notre objectif est toujours de relier le comportement individuel, les interactions entre individus et les comportements collectifs qui émergent à l'échelle de la colonie.

Les fourmis sont fascinantes quand on les regarde, et je suis certain que vous-même avez déjà sombré dans la contemplation d'une colonie en plein travail. On a presque l'impression qu'elle se comporte comme un seul super-organisme. Cette notion de superorganisme a été introduite en 1928 par un entomologiste, William Morton Wheeler, qui s'est rendu compte que les interactions entre insectes sont parfois si étroites qu'elles s'apparentent aux échanges entre les cellules dans un organisme. Même s'il a été un peu décrié dans les années 1970, ce concept revient à la mode actuellement.

L'un des exemples de sport collectif auquel se livrent les fourmis, et que nous avons étudié, est le

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

transport d'une proie lourde. Quand une fourmi s'attaque à une feuille ou un détritrus trop imposant pour ses frêles épaules, des congénères viennent lui donner un coup de patte : elles se mettent autour de la charge, chacune tirant un peu dans sa direction. Si rien ne se passe, elles vont changer un peu l'orientation de la force qu'elles exercent. Et au hasard de ces réorganisations de forces, les fourmis vont finir par toutes partir dans la bonne direction...

### *Dans le cerveau d'une fourmi*

Au cœur de tous ces comportements, il y a le cerveau d'une seule fourmi. Que sait-on à son sujet ? Leur cerveau comprend 250 000 neurones. En comparaison, il y en a déjà un million chez l'abeille, et 100 milliards chez l'homme. Cela donne un ordre d'idée du petit cerveau de la fourmi. Ce n'est même pas un vrai cerveau, d'ailleurs, c'est un « ganglion cérébroïde » – quelque chose qui fait office de cerveau, sans en être véritablement un.

Pour étudier de près le comportement individuel, nous confrontons des fourmis à des situations qu'elles rencontrent dans la nature et mesurons leurs réactions à chacune d'entre elles. Lorsqu'un individu se trouve face à une piste de phéromones, quelle va être sa propension à la suivre ? Lors de la formation des cimetières, une fourmi venue déposer un cadavre privilégiera-t-elle un petit tas ou un gros ? Toutes ces

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

expériences très minutieuses nous servent à reconstruire progressivement la forme des interactions entre les fourmis et la trace de leur activité antérieure. C'est-à-dire quel type de comportement une fourmi adoptera lorsqu'elle rencontrera certains stimuli dans son environnement.

### *La fourmi fossoyeuse*

J'ai parlé à deux reprises de cimetière de fourmis. Vous seriez en droit de vous demander ce qui pousse une fourmi à déplacer un cadavre d'une congénère d'un endroit à un autre. C'est simple : les cadavres émettent de l'acide oléique, une substance qui incite les fourmis à les transporter. Pourquoi ? Essentiellement pour réduire les risques d'infections dans la colonie. Mais les écorces et des détritiques non consommés par les fourmis émettent également de l'acide oléique. En récupérant tout cela dans le nid et en le rejetant à l'extérieur, les fourmis sortent en réalité les poubelles !

Comment forment-elles des tas ? Les fourmis n'ont qu'une perception très locale de ce qui advient dans leur environnement. Quand elles se déplacent dans un endroit où s'amassent déjà cadavres ou détritiques, le temps qu'elles passent sur ce tas va leur donner une idée de la taille de l'agrégat : c'est cette durée qui décidera si elles déposeront ou non leur charge. Plus le tas est gros, plus la probabilité qu'une fourmi décharge son fardeau est grande. Mais les fourmis

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

manifestent également une très forte tendance à prendre des cadavres isolés, une tendance qui diminue ensuite très fortement quand la taille du tas croisé par la fourmi augmente. Voilà comment les choses se déroulent à l'échelle d'une fourmi. Ce sont vraiment des perceptions extrêmement locales, et les insectes n'ont pas du tout connaissance, dans leur globalité, de ce qu'elles sont en train d'organiser avec les autres.

Comment en est-on si sûr ? Grâce à des expériences, mais aussi à des modèles mathématiques auquel nous avons recours une fois que nous avons décortiqué d'un côté les interactions et les lois de comportement à l'échelle individuelle, et de l'autre ce qui surgit à l'échelle collective. Ces modèles nous aident à relier les deux échelles de phénomènes. Et ils montrent sans ambiguïté que la combinaison des interactions reproduit effectivement les caractéristiques spatiales et temporelles des phénomènes collectifs.

### *Le Waze des fourmis*

Parmi les autres problèmes classiques qui ont été étudiés chez les fourmis, il y a celui du guidage. Comment les fourmis parviennent-elles à trouver le plus court chemin jusqu'à la nourriture ? Ces recherches sont l'œuvre de l'équipe belge de Jean-Louis Deneubourg, à l'Université libre de Bruxelles. Les chercheurs ont connecté le nid des fourmis à une source de nourriture par le biais de deux ponts de

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

longueur inégale, un petit et un autre deux fois plus grand. Et qu'ont-ils observé ? Que dans ces conditions, certaines espèces de fourmis, notamment celles qui communiquent entre elles par des pistes de phéromones, sélectionnent la plupart du temps la piste la plus courte.

Comment ce choix s'opère-t-il ? C'est assez simple. La fourmi part du nid : au départ, elle choisit aléatoirement un pont ou l'autre. À son retour, elle dépose une piste de phéromones. Comme elle revient plus vite au nid en choisissant la piste courte, l'information en phéromones va grandir plus rapidement sur celle-ci que sur la piste longue au fil des passages d'insectes. Ainsi, les fourmis vont naturellement renforcer la piste la plus courte, tandis que la piste la plus longue disparaîtra progressivement du fait de l'évaporation de la phéromone.

### *Fourmis humaines*

Les fourmis représentent un modèle d'intelligence collective : comment des individus grâce à leurs interactions vont trouver des solutions à des problèmes. Un tout nouveau domaine de recherche a émergé à la fin des années 1990, qui s'inspire de l'intelligence collective des insectes pour imaginer des solutions aux problèmes rencontrés par les humains. C'est ce qu'on appelle l'intelligence en essaim.

D'ailleurs, l'un des premiers problèmes qui a été résolu au moyen d'algorithmes inspirés du comportement des

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

fourmis, c'est le fameux problème du voyageur de commerce. Il consiste à trouver le plus court chemin reliant un ensemble de villes sans passer deux fois par la même. C'est un problème simple dans son principe, mais qui s'avère extrêmement complexe à résoudre. Quinze villes amènent à 90 milliards de solutions possibles ! Des ingénieurs qui butaient sur ce problème se sont dit : « Pourquoi ne pas utiliser le principe exploité par les fourmis, celui de déposer des phéromones, pour guider les actions du voyageur, comme une source de mémoire collective ? ». Grâce à cette phéromone virtuelle, les trajets les plus courts découverts par hasard par certaines fourmis-voyageuses pourraient d'être conservés en mémoire et influencer l'exploration des autres fourmis-voyageuses. Finalement, toutes les fourmis-voyageuses pourraient coopérer pour trouver le chemin le plus court.

Quel est l'intérêt de faciliter la vie des voyageurs de commerce, m'opposerez-vous ? C'est un métier un peu désuet de nos jours... Oui, sauf que trouver le chemin le plus court forme une classe fondamentale et générique de nombreux problèmes d'optimisation : gestion d'une flotte de camions, de stocks de marchandises, livraisons de la poste, etc. Même le séquençage du génome est facilité par ce type de mathématiques.

Les ingénieurs ont-ils réussi à trouver une solution au problème du voyageur de commerce grâce aux fourmis ? En fait, les premières tentatives qui utilisaient les modèles de comportements collectifs pour résoudre sur ordinateur ces problèmes d'optimisation ont échoué. Des fourmis virtuelles, face à un nombre

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

important de zones à visiter, se retrouvent piégées dans des solutions sous-optimales et ne découvrent pas le chemin le plus court. Comment ont réagi les ingénieurs ? Ils se sont un peu écartés du modèle réel : ils ont doté les fourmis de nouvelles capacités, notamment celle de conserver en mémoire le nombre de villes qu'elles ont déjà visitées et celle d'estimer les distances qui séparent la ville où elles se trouvent des autres villes qu'elles n'ont pas visitées. Ainsi, dans l'algorithme développé par les ingénieurs, le choix des fourmis résulte d'un compromis entre une information locale – la distance qui sépare les villes – et une information plus globale – l'intensité de la piste de phéromone, qui elle est mise à jour régulièrement par l'ensemble des fourmis.

Et les ingénieurs ont aussi ajouté quelque chose de très intéressant : une fois que les fourmis ont parcouru toutes les villes, elles vont rebrousser chemin en déposant une quantité de phéromones variable ; plus le trajet est long, moins elles vont déposer de phéromones. Il s'avère que lorsqu'on réitère l'opération avec un grand nombre de fourmis, les trajets les plus courts sont renforcés. Les phéromones ayant une certaine durée de vie, progressivement, toute la colonie de fourmis va converger vers le chemin le plus court. Aujourd'hui, des grandes compagnies de transport de marchandises par camion emploient des algorithmes inspirés des fourmis.

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

### *Robots-insectes*

Pour illustrer l'importance que revêt ce courant de pensée du biomimétisme, il faut préciser que je suis éthologue et pourtant, je travaille avec des informaticiens depuis les années 1990 ! C'était l'époque où l'on commençait vraiment à s'intéresser à ces systèmes biologiques capables de produire de l'intelligence collective. Les premiers à s'être penchés sur ces phénomènes ont été les roboticiens. Leur problème était limpide : ils cherchaient à coordonner l'activité de groupes de robots, aux capacités sensorielles et de traitement de l'information relativement peu développées. Plutôt que de concevoir des robots omniscients, qui se construisaient des représentations de leur environnement, les roboticiens ont fabriqué des robots beaucoup plus simples, plus robustes, mais en exploitant les interactions entre ces machines. Le lien s'est fait naturellement avec les recherches sur les insectes sociaux.

C'est alors que ces recherches ont été appliquées dans un autre domaine, et pas le moindre : les télécommunications. Nous avons déjà parlé d'optimisation, par exemple dans le cas du voyageur de commerce. Il s'agit là d'un problème statique, dont les données ne changent pas au cours du temps. Mais il existe un champ d'application où il en va tout autrement : le routage dans les réseaux de télécommunication. Le défi ? Établir rapidement un chemin entre la source d'un appel et sa destination à travers une succession de stations de relais. Quand vous

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

prenez un appel téléphonique, votre message circule dans un réseau, constitué de lignes qui ont des débits plus ou moins importants, et de routeurs qui vont acheminer votre message à un autre routeur, jusqu'à sa destination finale. Ces lignes étant plus ou moins encombrées, il faut un système qui, à tout moment, fluidifie les communications. C'est le rôle des routeurs.

### *Les fourmis téléphoniques*

Il s'agit d'un problème extrêmement complexe, parce qu'il faut disposer d'une image globale, mais aussi d'une image locale de ce qui se passe, afin d'affecter les appels d'un routeur à un autre. Pour le résoudre, des ingénieurs ont eu l'idée de faire circuler en parallèle des messages via des fourmis virtuelles, qui analysent le temps qu'elles mettent pour passer d'une zone à une autre. Ces dernières vont transmettre cette information au routeur sous la forme de « phéromones virtuelles »...

Quand elles passent par exemple d'une zone à l'autre, si elles remarquent un délai important, elles déposent très peu de phéromones. Au contraire, si elles circulent très rapidement d'un routeur à l'autre, elles relâchent beaucoup de phéromones. Et comme dans la réalité, cette phéromone virtuelle s'évapore. L'évaporation de la phéromone virtuelle étant supérieure au renforcement sur les voies encombrées, les chemins dégagés vont se renforcer. Les fourmis vont

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

ainsi pouvoir localiser à tout instant les zones du réseau les plus fluides. Le routeur saura quelles zones sont les plus engorgées et évitera celles-ci. Les temps gagnés sont de l'ordre de la microseconde. British Telecom et MCI Worldcom aux États-Unis ont optimisé leurs systèmes avec de tels algorithmes.

Les travaux sur les fourmis ont inspiré encore d'autres champs scientifiques, comme le domaine de la recherche opérationnelle. Comment optimiser des données et leur représentation informatique afin de faciliter leur manipulation et leur rangement ? Les banques ont notamment imité la manière dont les fourmis ségrégent leurs œufs, leur cocon et leurs larves, pour regrouper certaines de leurs données.

### *Le modèle autogéré de l'abeille*

Nous avons parlé des fourmis, mais *quid* des autres insectes sociaux comme les abeilles et les termites ? Eux aussi sont une source d'émerveillement continu pour moi. Chez les abeilles, la sélection des nids et celle des sources de nourriture sont des activités extrêmement complexes et riches, tout comme la façon dont les abeilles communiquent (elles indiquent à leurs semblables où il y a de la nourriture en exécutant une danse en forme de 8) et comment elles allouent les différentes tâches au sein d'une colonie.

Ce dernier point est important. Que ce soit chez les fourmis ou chez les abeilles, ce n'est pas la reine qui décide de tout ! Pendant très longtemps, on a

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

voulu voir les sociétés des insectes comme une sorte de modèle réduit des nôtres. La reine était censée jouer un rôle central, en récupérant toutes les informations en provenance de sa colonie et ensuite en donnant les ordres appropriés. En fait, on s'est aperçu, depuis maintenant une quarantaine d'années, que ces systèmes fonctionnent selon des modes complètement différents : décentralisés et auto-organisés.

### *Les huit merveilles du monde (des insectes)*

En dépit de toutes ces recherches, les fourmis et les abeilles continuent de me fasciner. Il reste tant de mystères à percer, l'architecture des colonies par exemple. Et comment les fourmis et les termites construisent-ils leur nid ? Une des manifestations les plus spectaculaires d'intelligence collective des insectes sociaux est leur capacité à bâtir des nids extrêmement complexes, et également gigantesques lorsqu'on les compare à leur taille. Une termitière peut atteindre six ou sept mètres de haut, soit plusieurs centaines de fois la taille d'un termite. La diversité architecturale de ces édifices est tout aussi étonnante. Par exemple, les Apicotermes élaborent des nids d'environ une quinzaine de centimètres de hauteur et qui ont la forme d'un petit ballon de football ! Ces termites construisent leur nid sous terre, à une profondeur d'environ 30 à 60 centimètres, Tout l'extérieur est couvert de sortes de petites gargouilles régulièrement espacées, tandis qu'à l'intérieur

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

s'alignent des chambres reliées entre elles par des rampes hélicoïdales. C'est majestueux.

Sans compter que certains nids sont climatisés ! Un réseau de micropores situés à l'intérieur des édifices assure leur ventilation et leur climatisation selon un mécanisme encore mal connu. L'air est prisonnier dans ces pores et joue la même fonction que nos fenêtres à double vitrage, en atténuant les différences de température dans le nid.

Qui dessinent les plans de ces sublimes constructions ? C'est une question très ancienne, qui a commencé à être étudiée par Pierre-Paul Grassé, dans les années 1940-1950. En fait, il n'y a pas de plan. Grassé a découvert que les termites coordonnaient la construction de leur nid non pas en s'échangeant directement des informations, mais en utilisant les traces de leurs actions dans l'environnement. Chaque insecte est guidé par le résultat de l'activité des autres individus, un peu comme chez les fourmis avec les phéromones. C'est ce qu'on appelle la stigmergie. Ces interactions indirectes entre les insectes vont déterminer leurs actions de construction ou de destruction. On commence seulement à avoir une compréhension fine de ces mécanismes, notamment chez la fourmi noire des jardins, qui construit des structures relativement simples. Et on aborde tout juste ces questions chez les termites...

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

### *Termitières aux rayons X*

Comment a-t-on progressé ? D'abord, nous avons essayé de mieux comprendre ces architectures, en les étudiant avec des nouvelles techniques, la tomographie à rayons X, notamment, qui nous permet de voir à l'intérieur de ces structures sans les détruire et aussi de regarder comment le gaz carbonique et l'oxygène circulent dans ces termitières. Et puis, sur certaines espèces, nous avons décrypté les interactions et les comportements qui sont appliqués dans leurs constructions.

Les éthologues ne sont pas les seuls à être fascinés par les Chapelles Sixtine de ces insectes bâtisseurs. Les architectes aussi ! En 2009, j'ai d'ailleurs eu l'occasion d'organiser une conférence à Venise entre architectes, experts de l'isolation de l'habitat et spécialistes de la construction des insectes. Les architectes sont ébahis de voir que ces constructions ne se réfèrent pas à un plan global. Ils s'en sont inspirés pour créer des programmes informatiques qui construisent tous seuls des logements comme si c'était une colonie d'insectes. De nombreux d'architectes utilisent ce type d'outil, maintenant, pour explorer des formes, tandis que d'autres s'intéressent aux architectures climatisées. Comme l'architecte Mick Pearce qui a construit, au Zimbabwe, un bâtiment inspiré directement de la manière dont l'air des termitières est tempéré.

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

### *Ballet aérien*

Il existe de très nombreuses autres espèces animales qui élaborent à travers leurs comportements collectifs de magnifiques architectures, mais avec leur corps ! Je pense aux bancs de poissons et aux vols d'étourneaux. Comment ces animaux exécutent-ils ces ballets océaniques et aériens ? En fait, poissons et oiseaux forment des sortes d'assemblées qui fonctionnent sur le mode de la conformité sociale. Autrement dit, chaque individu imite son voisin. Les poissons n'ayant conscience que de ce qui se déroule devant eux (ils ignorent l'environnement dans leur dos), toute l'information de l'avant va être amplifiée. C'est ainsi que se produisent ces retournements collectifs dont ils sont les spécialistes.

Un des groupes de recherche les plus en pointe sur les phénomènes de comportements collectifs chez les étourneaux est celui d'Andrea Cavagna et d'Irene Giardina à l'université la Sapienza, à Rome, l'une des villes où l'on voit beaucoup ces assemblées d'étourneaux, parfois par plusieurs dizaines de milliers. Les chercheurs les étudient avec des ensembles de caméras synchronisées, qui permettent de reconstituer non seulement la structure des vols d'oiseaux, mais aussi la position de chaque oiseau dans le vol.

Qu'ont-ils découvert ? Que ces structures qui nous apparaissent en trois dimensions sont en fait des sortes de tapis volants repliés, à l'intérieur desquels les étourneaux se copient entre eux. Et la question qui

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

anime toute la communauté autour de ces comportements cognitifs, c'est de savoir combien d'individus un étourneau copie autour de lui. Apparemment, un étourneau copierait le comportement de ces huit premiers voisins. Chez les poissons, cela a l'air plus simple, chaque poisson semble imiter seulement un à deux de ses voisins.

### *L'homme-fourmi*

Et l'homme, animal social, fonctionne-t-il plutôt comme les fourmis, les termites ou les étourneaux ? À bien y réfléchir, nous adoptons nous aussi des comportements mimétiques, qui sous-tendent la propagation de rumeurs, les catastrophes boursières, les phénomènes de mode... Et l'importance de ces phénomènes collectifs ne cesse de croître dans nos sociétés. Ils sont renforcés aussi du fait de la concentration des populations dans les zones urbaines. En 1950, seuls 30 % de la population mondiale vivait dans des villes. Aujourd'hui, c'est 55 % et on estime que d'ici 2050, ce nombre atteindra 68 %. Mais ces phénomènes collectifs sont également renforcés via le développement des interactions entre individus par l'intermédiaire d'Internet ou des télécommunications mobiles, qui amplifie pour partie ces comportements mimétiques. En particulier, les algorithmes qui analysent les traces de nos comportements sur Internet renforcent ces effets mimétiques de surconcentration de l'attention sur certaines informations. Ces dernières

## LES PROMESSES DE LA SCIENCE

deviennent soudainement très populaires du fait des effets de coordination virale, qui orientent le public uniquement vers quelques nouvelles ou quelques produits.

Nos recherches peuvent-elles aider à mieux comprendre nos comportements ? Pour le savoir, nous nous sommes penchés sur les mouvements de foule. Nous avons essayé d'appliquer à ces phénomènes la même méthodologie avec laquelle nous avons étudié les déplacements collectifs chez les insectes. Et c'était au départ un vrai pari. Nous ignorions si nous allions réussir à extraire des règles de comportement aussi simplement que chez les fourmis.

La réponse a été affirmative. Des piétons qui se déplacent dans un couloir ou sur une place suivent des règles de comportement spécifiques, essentiellement deux. D'abord, quand on est dans une foule, on cherche l'espace libre, qui nous rapproche le plus de notre destination. Ensuite, on va adapter notre vitesse de déplacement en fonction de la distance qui nous sépare des autres personnes. Ces deux règles permettent de reproduire toute la phénoménologie observée dans les foules, comme les formations spontanées de files, et de réaliser ensuite des prédictions dans des lieux aux géométries variées.

### *Développer l'intelligence collective*

Quand, avec mon étudiant Mehdi Moussaïd, nous avons sorti l'article sur la dynamique des foules il y a

## L'INTELLIGENCE DES INSECTES AU SERVICE DE L'HOMME

maintenant huit ans, nous avons reçu énormément de demandes de la part d'organiseurs de concerts et de la part de pompiers. J'ai été étonné de découvrir que la gestion des foules se faisait à l'époque au doigt mouillé. Les forces de sécurité s'appuyaient sur une expérience empirique des foules, mais rien n'était formalisé. Il leur manquait un outil pour faire de la prédiction, pour organiser des flux lors d'un concert ou lors d'une manifestation, et éviter les risques de bousculade. Notre modèle a comblé ce manque.

À quoi serviront à l'avenir nos travaux ? Les smartphones et Internet ont amplifié la composante sociale de nos existences. Je pense que le type de recherches que je mène nous livrera des informations sur l'impact de ces nouvelles technologies sur nos comportements. Nous allons pouvoir créer des applications qui favoriseront le partage d'informations sociales et la collaboration dans différents types d'activités. Cela peut être des choix d'hôtels, des choix d'objets à acheter ou à ne pas acheter, en essayant d'éviter ces effets de surconcentration de l'information qui sont actuellement à l'œuvre. Développer l'intelligence collective en modulant nos interactions. Une belle idée, non ?