

CES INSECTES DONNENT UNE LEÇON D'ARCHITECTURE

L'arc roman, l'escalier en colimaçon ou l'air conditionné ? A la portée d'une cervelle de guêpe ou de fourmi. Deux chercheurs français ont voulu comprendre comment des insectes individuellement inefficaces deviennent collectivement intelligents. Et ces bestioles nous donnent une leçon.

PAR JEAN-MICHEL LE CORFEC
PHOTOS PASCAL GOETGHELUCK

UN NUMÉRO DE VERTUEUX

Pour percer le secret des constructions des guêpes, en laboratoire, les chercheurs les équipent de dossards numérotés et leur fournissent une matière première « reconnaissable » : du papier buvard de couleurs différentes.

Termitières, fourmilères, ruches, nids de guêpes : c'est trop beau pour de telles bestioles. Trop complexe, trop parfait. De telles constructions ne peuvent certainement pas surgir ainsi, sans la présence d'un grand architecte, d'un ingénieur en chef...

On a donc, tout naturellement, pensé que les insectes vivant en société possédaient une certaine forme d'intelligence individuelle. Et qu'elles devaient, forcément, obéir aux ordres d'un chef. En l'occurrence la reine...

C'est ce qu'on croyait depuis des siècles, mais c'était faux. Depuis dix ans, les scientifiques commencent à le prouver. Parmi eux, deux jeunes chercheurs : Guy Théraulaz — du laboratoire CNRS d'Éthologie et Psychologie animale de l'université Paul-Sabatier à Toulouse — et Eric Bonabeau — du Centre national d'études des télécommunications (France Telecom) de Lannion. Non, il n'y a pas, chez les insectes sociaux, d'architecte en chef. Et pas davantage de plan qui préexistait dans la tête de chaque animal. Alors ?

— Une construction, sans plan et sans chef de chantier, ce n'est pas simple, admet Guy Théraulaz. Imaginez vingt maçons qui construirait, chacun de son côté, la même maison avec un seul impératif : rajouter une brique à celle qui dépasse. Mieux : essayez de construire une structure précise à l'aide de briques de Lego, tout en ayant les yeux bandés, et en palpant simplement l'extrémité de la dernière brique. Vous verrez le résultat. C'est pourtant ce que font les guêpes ou les termites pour construire leurs nids.

Guy Théraulaz et Eric Bonabeau ont commencé leurs travaux il y a deux ans, en étudiant le comportement bâtisseur d'une guêpe commune dans le midi (Poliste dominulus), qui construit son nid à partir de fibres de bois mâchées. Inventant au passage... la fabrication du papier carton.

Des règles de constructions instinctives

— J'ai commencé, poursuit Guy Théraulaz, par observer, en laboratoire, le comportement bâtisseur de nos guêpes. Pour y voir plus clair, je leur ai fourni la matière première : du papier buvard de différentes couleurs. Le but était de comprendre sur quelles bases les guêpes construisent leur nid, ou l'agrandissent. Je me suis vite

aperçu qu'en fait, c'est l'architecture elle-même qui commande ces actions. L'insecte ne dirige pas son travail, mais est guidé par lui. Les guêpes palpent l'édifice en construction. Si ce qu'elles palpent déclenche un comportement stimulant, elles rajoutent un élément. Elles recommencent jusqu'à ce que leur ouvrage soit terminé. A ce moment-là, après avoir palpé, elles n'auront plus de stimulus. Et arrièreront leur travail.

Mais ce comportement n'est-il pas acquis ? — Pas du tout, intervient Eric Bonabeau. Il n'y a pas pas d'acquis, ni de carte mentale. Il y a de l'inné. C'est cet inné qui va « dire » à la guêpe ce qu'elle doit faire lorsqu'elle rencontre telle configuration de matière : chaque fois qu'elle construit, elle modifie. Et reçoit donc d'autres informations, des sti-

muli pour continuer ou pas. C'est la forme qui la contrôle, et qui l'incite à créer un angle ou à fermer une alvéole. Pour édifier leur nid, les guêpes suivent mécaniquement leur programme, répété x fois, tant que la forme n'est pas finie. Il n'y a donc pas un plan préétabli, mais un programme, des règles de construction instinctives.

L'accumulation de milliers d'actions parcellaires, chacune guidée par l'état des travaux, aboutit donc à un édifice qui paraît « pensé », alors qu'il n'y a jamais eu projet, construction planifiée. Faire surgir du complexe à partir de l'élémentaire infiniment répété ? Voilà qui est tentant. Non pas pour l'homme lui-même, qui sait tout de même faire mieux, mais au moins pour ses machines qui n'ont pas plus de conscience qu'une guêpe, mais auxquelles

on peut apprendre une logique répétitive. Nos deux chercheurs ont donc voulu transposer cette logique naturelle dans le monde informatique, en développant un programme qui permet de reproduire les différentes phases de construction d'un nid.

— Nous avons, précise Eric Bonabeau, à partir d'algorithmes simples (des petites formules mathématiques composant un programme informatique), qui tiennent compte des comportements naturels observés, étudié un « essai virtuel ». Là, des guêpes, elles aussi virtuelles (et que nous avons baptisées agents), se déplacent sur un réseau cubique ou hexagonal tridimensionnel. Nos fausses guêpes, comme les vraies, n'ont aucune représentation globale de ce qu'elles doivent construire. Pour édifier leur nid, les agents vont donc suivre la logique simple de l'algorithme, et se déplacer, au hasard, dans le réseau. Là, elles déposeront ou non une brique rouge ou une brique bleue, en fonction des stimulations qu'elles reçoivent de la configuration rencontrée.

Et ça marche ! Les guêpes virtuelles fabriquent de très beaux nids théoriques. En d'autres termes, il est possible de faire réaliser des structures complexes par des machines simples, pour ne pas dire simplistes. Des mini-robots, par exemple...

Encore faut-il connaître, si on veut reproduire tout le processus, tous les éléments qui stimulent l'insecte. La forme de la construction (plus exactement



Insecte, homme, ordinateur... la même construction

Dépeuplé de son enveloppe externe, ce nid de guêpes Chatergus (ci-dessus, à gauche) montre de troublantes similitudes avec le fameux escalier François I^{er} du château de Blois (à droite). Ci-contre : une nouvelle architecture virtuelle de nid, réalisée par un ordinateur qui utilise la même logique « bâtisseuse » que nos insectes. Et qui pourrait donner des idées à nos architectes.

la position de la dernière brique) est évidemment un élément essentiel. Mais est-ce le seul ? On a cherché, et on a trouvé : dans la construction chez les insectes sociaux, il y a aussi intervention d'indications chimiques, notamment chez les termites et les fourmis.

— Pour utiliser leur environnement, dit Guy Théraulaz, les insectes sociaux font également appel à la notion de gabarit. Prenons l'exemple d'une termitière : dans la cellule qui sera sa chambre royale, la reine émet une substance chimique appelée phéromone. C'est cette phéromone qui va commander l'activité bâtisseuse des ouvriers. Pour construire la chambre royale, ces ouvriers vont suivre, au millimètre, au degré près, l'« arc chimique » de cette phéromone, réalisant ainsi un arc roman parfait... sans problème de clef de voûte.

Des algorithmes simples pour construire compliqué

Ce véritable « gabarit chimique » peut également interagir avec les courants d'air, au sein de la termitière en cours de construction. Nos chercheurs pensent avoir démontré que les trous d'aération extérieurs du nid produisaient, à l'intérieur, des courants d'air de forme héliocoidale. Ces courants convectifs entraînent naturellement les molécules de phéromone, en créant un autre gabarit chimique. Et les ouvriers termites pourraient alors, à l'aide de

boue, matérialiser cette structure chimique. Créant ainsi une architecture parfaite, en colimaçon, qui servira de rampe d'accès aux différents niveaux du nid. Et permettra l'aération de tous les étages. Nos bestioles ont donc résolu les problèmes d'air conditionné, inventé l'escalier en colimaçon, la structure en nid d'abeille et l'arc roman. Ils ont surtout « inventé » des algorithmes simples pour construire compliqué. Un exemple pour nos architectes.

— Les architectes, précise Eric Bonabeau, sont intéressés par les modèles numériques de construction que nous avons étudiés. En effet, ils construisent en fonction de certains paramètres : cubage, taille des postes de travail dans un immeuble de bureaux, etc. Mais ils ne se servent pra-



► tiquement jamais de la logique mathématique des algorithmes « utilisés » par les insectes sociaux pour évaluer l'interaction de ces paramètres. C'est pourtant important, lorsque l'on vit ou travaille ensemble.

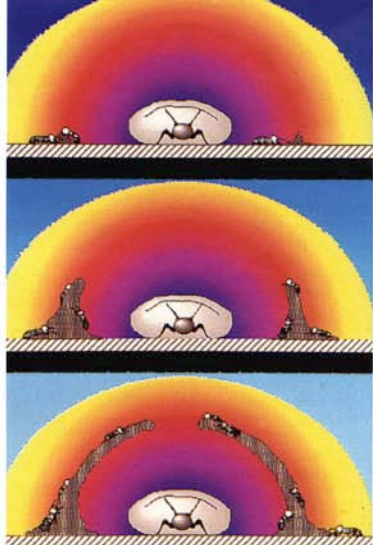
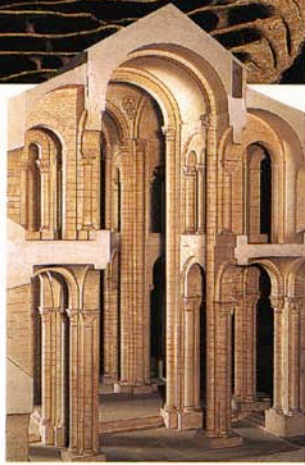
Des leçons d'architecture aux cours de communication

Pour Eric Bonabeau, la logique des comportements des insectes devient encore plus passionnante lorsqu'on aborde la question de la fameuse intelligence artificielle.

— Les insectes sociaux, dit-il, ont une logique naturelle et simple. Pourquoi nos ingénieurs n'utiliseraient-ils pas le même type de logique ? Les fourmis, par exemple, ont un comportement qui consiste à sélectionner la source de nourriture la plus proche grâce aux messages chimiques que chacune d'elle émet. Cela aboutit à une logique de décision collective. Imaginons que vous fassiez du routage de messages dans un réseau de télécommunications. Il faut que — comme pour la nourriture des fourmis — le message trouve le plus court chemin pour aller d'un point à un autre, tout en ayant la possibilité de s'adapter, de réagir. On peut donc imaginer un algorithme qui repose exactement sur ce type de logique.

Après nous avoir enseigné l'architecture, les insectes vont-ils nous apprendre à communiquer ? France Telecom, en tout cas, s'intéresse de près à ces travaux. ●

J.-M.L.C.



Les chercheurs veulent percer leurs secrets

En haut à droite : une termitière. Ci-dessus : ces images virtuelles montrent comment les ouvriers termites construisent la chambre de la reine, en suivant l'émission de ses phéromones. Mêmes arcs romans pour l'abbatiale Sainte-Foy de Conques (ci-contre). Ci-dessous : Guy Théraluz et Eric Bonabeau, à l'écoute des insectes.

