

# Les insectes sont-ils intelligents ?



*Essaim sauvage d'abeilles dans un arbre.  
De cet apparent désordre et de cette multitude  
naît l'ordre.  
Seule, l'abeille mourrait très vite.*

**L'organisation et l'efficacité des fourmis nous impressionnent : comment de si petites bêtes, si rudimentaires, peuvent-elles être aussi intelligentes ?**

**En réalité, c'est leur nombre qui leur permet une multitude d'interactions, d'essais et d'erreurs, d'où émerge le génie de la bête. Rien à voir avec l'intelligence mais, de là à s'en inspirer pour construire des armées de petits robots très simples fonctionnant sur ce modèle, y a-t-il plus qu'un pas ?**

**C'**EST un petit peuple industriel qui pratique la culture du champignon de couche. Pour cela, il a imaginé de construire de vastes salles souterraines, dans lesquelles un système de ventilation sophistiqué maintient des conditions de température et d'humidité constantes. Mais l'étonnant est que ce peuple n'a ni architectes pour dresser les plans des installations, ni économistes pour calculer le volume de production nécessaire, ni agronomes pour organiser les ensemencements et la récolte : et pour cause, ce sont des fourmis.

Les fourmis sont capables de bien d'autres prodiges : elles pratiquent l'élevage, le tissage, la guerre, certaines sont même esclavagistes, voire narcomanes. Elles savent non seulement s'adapter au milieu, mais inventer et innover. Bref, elles ont un comportement collectif qui ressemble d'assez près à ce que nous avons coutume d'appeler l'intelligence.

Pourtant, ce n'est un secret pour personne qu'au niveau individuel les performances intellectuelles de la fourmi sont assez limitées : ce n'est guère qu'une sorte de petit robot, obéissant à quelques programmes très simples. Et une fourmilière n'est rien d'autre qu'une accumulation de ces petits robots. Or, ensemble, ils sont capables de réalisations dont aucune société de mammifères supérieurs n'est capable. Comment se fait-il que (au contraire de ce qui se passe dans le monde humain) le fait de réunir quelques milliers d'individus stupides les rende (ou semble les rendre) intelligents ? Comment le simple rassemblement d'êtres aussi rudimentaires peut-il produire un corps collectif dont les capacités dépassent d'aussi loin celles de chacune de ses composantes ? Comment le tout peut-il transcender à ce point la somme des parties ?

Les biologistes s'intéressent depuis longtemps à ce problème. Certains d'entre eux pensent aujourd'hui être en mesure de proposer une solution. « *Les comportements des sociétés d'insectes*, explique Bruno Corbara, chercheur à l'Université Paris XIII, *sont fondés sur des mécanismes étonnamment simples.* » Exemple, la construction d'une termitière : les

termites fabriquent des boulettes de terre mêlée d'excréments, qui ont une odeur caractéristique. Un premier termitte dépose une boulette n'importe où. Attiré par l'odeur, un second dépose une autre boulette sur la première. Un pilier commence à s'élever. Le gradient d'odeur croît. D'autres termites s'y mettent. Des boulettes sont déposées au hasard, d'autres piliers s'élèvent. Deux d'entre eux sont proches : le termitte qui est grimpé au sommet de l'un, attiré par l'odeur de l'autre, va déposer sa boulette dans sa direction. Au bout d'un moment, les deux piliers finissent par se rejoindre et former une voûte.

Tel est le schéma de base. Bien entendu, la termitière est un édifice très complexe, et cette thèse est encore loin de tout expliquer sur son aménagement. Mais, à ce stade initial du moins, le programme de comportement de chaque termitte est très simple : fabriquer une boulette et la poser là où l'odeur est la plus forte. Cela étant, chacun va et vient au hasard, sans plan, sans organisation,

distance d'une fourmilière. Au bout d'un certain temps, les fourmis vont se rassembler sur une seule, abandonnant les autres. Au début, pourtant, elles se répartissent également entre les diverses sources. Pourquoi ce comportement ? Là encore, l'explication est simple : les fourmis lorsqu'elles découvrent une source de nourriture, « recrutent » leurs congénères vers elle en émettant des signaux chimiques. Si, à un moment donné, il y a par hasard quelques fourmis de plus sur l'une des sources, la fréquence des signaux va augmenter, et le recrutement vers cette source croîtra en proportion, jusqu'à ce qu'elle monopolise l'attention de toutes. La dispersion initiale se transformera ainsi en ordre.

Mais, pour que l'ordre surgisse du désordre, il faut qu'il y ait suffisamment d'interactions, donc suffisamment d'acteurs en présence. Au-dessous d'un certain seuil, le mécanisme ne fonctionne pas. Bruno Corbara cite, par exemple, le cas d'une espèce de guêpes latino-américaines qui, comme les

**Comment se fait-il que le fait de réunir quelques milliers d'individus stupides les rende (ou semble les rendre) intelligents ?**

sans se soucier de ce que font les autres, posant sa boulette, la reprenant, l'abandonnant pour une autre, y revenant, dans une complète incohérence. Mais, de ce désordre finissent par émerger peu à peu des structures ordonnées. Des structures qui n'ont été planifiées par aucune intelligence dirigeante, par aucun insecte-architecte, qui surgissent du simple jeu des mécanismes de feedback gouvernant l'ensemble. Rien en tout cas qui ressemble ici au comportement humain.

Autre exemple : on place plusieurs sources de nourriture identiques à égale

abeilles, se propagent par essaimage : une partie de la société quitte le nid pour en créer un autre. C'est pour les guêpes une phase dangereuse, durant laquelle elles sont exposées sans protection à leurs prédateurs. Il leur faut donc faire vite pour construire le nouveau nid. Celui-ci est fait d'une sorte de carton à base de pulpe de bois. Pour le fabriquer, les guêpes se répartissent le travail : certaines malaxent le matériau, d'autres les ravitaillent en eau, d'autres en pulpe de bois. Un transporteur de pulpe ravitaille environ cinquante bâtisseurs, mais un transporteur d'eau n'en approvisionne que



*Les enfants découvrent d'étranges ressemblances entre les fourmis et les hommes. Attention à ne pas banaliser l'esclavagisme... (Exposition A la découverte du monde des fourmis, 1990)*

trois. Il faut donc qu'une certaine régulation s'instaure. Or, cette régulation est purement aléatoire, elle obéit aux lois de la probabilité. Dès lors, plus le nombre des insectes est important et plus la régulation sera harmonieuse, moins il y aura de files d'attente. A l'inverse, moins la colonie est nombreuse, plus les dysfonc-

insectes : on le retrouve non seulement dans tout le monde vivant, mais dans toute la réalité qui nous entoure. Ce qui se passe dans la ruche ou dans la fourmilière n'est qu'un aspect particulier d'un problème beaucoup plus fondamental : celui du rapport entre ordre et désordre, qui préoccupe depuis plus d'un siècle les

chaque élément agit sur ceux qui l'entourent et subit en retour leur réaction, provoquant ainsi d'incessantes fluctuations. Ces fluctuations sont d'abord aléatoires, puis tendent progressivement à se régulariser. Le milieu évolue ainsi de lui-même vers des états plus probables et plus stables, et le chaos initial vient à faire place à un ordre spatio-temporel : dans le temps, apparaissent des rythmes, dans l'espace se constituent des structures. C'est à travers ces structures spatio-temporelles que s'effectuent désormais les échanges entre le milieu et le monde extérieur – dans la terminologie de Prigogine, la « dissipation » de la matière et de l'énergie – d'où leur nom de « structures dissipatives ».

On a donc affaire à un phénomène d'auto-organisation du milieu à partir des interactions aléatoires de ses multiples composantes, et qui a pour effet de transformer ce milieu en une entité qualitativement différente (alors que quantitativement il est resté à peu près le même) : sa structure interne, ses propriétés, son rapport à l'environnement ont changé.

C'est ce même modèle d'auto-organisation spontanée qu'on retrouverait dans le monde des insectes sociaux – et c'est d'ailleurs cette analogie qui a amené Jean-Louis Deneubourg, chimiste de for-

***C'est la multiplicité de ces interaction, leur incessante répétition, qui rendrait les performances du système tellement supérieures à celles de chacune de ses composantes.***

tionnements seront grands, plus les files d'attente seront longues et plus il sera difficile de construire le nid. Au-dessous de cinquante individus, le mécanisme s'enraye complètement. L'ordre ne peut émerger qu'à partir d'un seuil quantitatif minimal.

Ce phénomène de l'ordre surgissant du désordre n'est pas propre au monde des

thermodynamiciens – mais aussi les chimistes, les mathématiciens et les physiciens en général. Problème global donc, que les travaux d'Ilya Prigogine sur les « structures dissipatives » se proposent d'éclairer d'un jour nouveau.

Dans un milieu physico-chimique formé d'une multitude de molécules et ouvert sur l'extérieur, dit Prigogine,

mation et collaborateur de Prigogine, à s'intéresser à eux. Dans un cas comme dans l'autre, dit-il, à force de s'entrechoquer dans le plus grand désordre, les innombrables actions d'une multitude d'éléments finissent par se résoudre dans l'émergence d'un système structuré, fonctionnant comme un organisme collectif. Devenu une composante du système, chaque élément se soumet désormais à ses règles, il devient solidaire des autres, au point que, chez les insectes sociaux, il ne peut plus exister en dehors d'eux : isolées de leurs congénères, l'abeille ou la fourmi meurent très vite, même disposant de toutes les ressources nécessaires à leur vie.

Cette intégration de la partie au tout se poursuit ensuite à travers la spécialisation des fonctions : certains individus vont s'occuper de la récolte de la nourriture, d'autres des soins au couvain, d'autres de la reproduction, etc. Dans les espèces primitives de fourmis, les individus sont peu différenciés et on distingue parfois à peine la reine des ouvrières. Dans les espèces postérieures, on voit apparaître des différences morphologiques considérables : entre une fourmi « major » et une fourmi « minor » de la même fourmilière, la différence de taille peut être de 1 à 100. Certaines fourmis spécialisées sont dotées de mandibules si énormes qu'elles ne peuvent plus se nourrir elles-mêmes et doivent être nourries par les ouvrières. On voit ainsi apparaître des organismes collectifs de plus en plus complexes, où la division du travail est poussée à l'extrême. Mais, sous cette sophistication de plus en plus raffinée, c'est toujours le même processus de transformation du désordre en ordre qui est à l'œuvre.

Le mystère de la complexité du comportement des insectes sociaux (ce que certains appellent leur « intelligence collective ») trouverait donc son explication



Palais de la Découverte

**Les fourmis ont des moyens de communication simples, par exemple, l'odeur.** (Exposition A la découverte du monde des fourmis, 1990)

du système tellement supérieures à celles de chacune de ses composantes. Bien entendu, un tel fonctionnement est d'un rendement très faible : l'énergie gaspillée en interactions inutiles est énorme. En revanche, il est invulnérable aux pannes et sa capacité d'adaptation aux variations de l'environnement est en principe illimitée – à condition que le système dispose d'assez d'énergie et d'assez de temps pour que son très faible rendement produise des effets.

Un tel système peut-il être qualifié d'« intelligent » ? Il est capable de se modifier, de s'auto-perfectionner, d'inventer de nouvelles techniques, de nouvelles ressources. Mais il le fait de manière purement aveugle, purement mécanique,

d'intelligent, il serait sans doute plus juste de dire qu'il simule l'intelligence – du moins dans l'acception ordinaire de ce terme.

Mais cela a suffi pour déclencher chez certains spécialistes des sciences cognitives une véritable passion pour les fourmis. Car ils ont aussitôt fait l'analogie avec le cerveau humain : lui aussi est une assemblée d'éléments simples, les neurones, qui sont eux aussi réunis par de multiples connexions, autorisant une quantité d'interactions proprement fabuleuse. Aussi la quantité d'information qu'il peut produire est-elle infiniment supérieure à celle de la plus vaste des fourmilières. Mais les mécanismes de sa production sont-ils de même nature ? Certains semblent le penser. Mais ce n'est là, pour le moment, qu'hypothèse.

Car la qualité de cette information est très différente. Le cerveau humain se distingue fondamentalement de la fourmilière par son aptitude à créer des représentations : des images abstraites de lui-même et du monde qui l'entoure. En vertu de quoi il peut modéliser, imaginer une action, prévoir son résultat, se poser un but et définir les moyens pour l'atteindre. En un mot, il est transparent à lui-même (ou s'efforce de l'être) et capable d'intentionnalité. Il produit ce que nous appelons la pensée et la conscience.

Rien de tel dans la fourmilière. Elle fonctionne comme une sorte de mécanique aveugle à elle-même et à ce qui l'entoure. Elle ne sait pas produire une image du monde, ni formuler un projet. Elle parvient tout au plus, à travers une fantastique accumulation d'essais et d'erreurs, à mémoriser certains compor-

**L'idée est de créer des sociétés de petits robots, fonctionnant sur le modèle des sociétés d'insectes, le comportement global du système devant être la résultante spontanée des interactions de ses éléments.**

dans les innombrables interactions qu'exercent les uns sur les autres des éléments très simples, dotés chacun d'un programme de comportement rudimentaire. En d'autres termes, c'est la multiplicité de ces interactions, leur incessante répétition, qui rendrait les performances

la seule méthode qu'il connaisse est celle des essais et erreurs, et, si des solutions finissent par être mémorisées, c'est à force d'avoir été mille et mille fois redécouvertes par hasard. C'est pourquoi, dans l'état actuel de nos connaissances, plutôt que de qualifier un tel système

## Le cerveau humain se distingue fondamentalement de la fourmilière par son aptitude à créer des représentations.

tements et à les reproduire. Elle fonctionne, selon la belle expression de Jean-Louis Deneubourg, comme « une intelligence mélangée aux problèmes à résoudre ». C'est-à-dire que son rapport à l'environnement ne passe pas par l'abstraction : c'est un rapport immédiat, concret, dans lequel elle manipule non des symboles, des représentations du monde extérieur, mais des objets, avec lesquels elle entretient des rapports purement physico-chimiques.

C'est précisément cette particularité qui fascine aujourd'hui le peuple des informaticiens et des roboticiens qui s'intéressent à l'intelligence artificielle. Car certains d'entre eux y voient une possibilité de sortir de ce qui apparaît de plus en plus comme une impasse. Pour l'Amé-

ricain Rodney Brooks, par exemple, chercher à simuler l'intelligence humaine est, pour le moment, sans perspective, mieux vaut essayer de simuler la vie. Face aux tenants traditionnels de l'intelligence artificielle se dresse désormais le camp des partisans de la « vie artificielle ».

A ceux-ci, le modèle de la fourmilière apparaît comme le plus prometteur. Des expériences de simulation menées avec des populations de neurones artificiels très simples (par exemple connaissant deux états : l'excitation et le repos), reliés entre eux par de multiples connexions, ont montré que, grâce à la diffusion de l'information d'une composante aux autres, de tels systèmes étaient capables de certaines formes de mémorisation et d'apprentissage.

Au-delà, l'idée est de créer des sociétés de petits robots, fonctionnant sur le modèle des sociétés d'insectes, uniquement à partir d'un programme individuel simple et interactif, sans programme d'ensemble, sans unité centrale, le comportement global du système devant être la résultante spontanée des interactions de ses éléments. De la programmation indirecte en quelque sorte.

En ce moment même, on est en train de passer du stade du rêve à celui du projet. Ensuite de quoi le passage au stade expérimental ne saurait tarder. Avec les surprises qu'il implique : des armées de petits robots se mettant soudain à grimper aux rideaux ou à dévorer le téléphone, par exemple...

Toutefois, certains scientifiques restent sceptiques devant une vision de la complexité qu'ils trouvent quelque peu mécaniste – surtout quand on parle de son extrapolation au fonctionnement du cerveau humain. Ils se demandent si l'on n'est pas là en train d'ériger, un peu vite, en règle générale un mode d'explication qui n'a pour le moment fait la preuve de sa pertinence que pour certains phénomènes particuliers et relativement simples. ●

Valérie Moreau

### Maquette d'une fourmilière. Les fourmis sont-elles aussi exhibitionnistes ?

(Exposition A la découverte du monde des fourmis, 1990)

