



SCIENCES SUR SEINE

2012

DU 31 MAI AU 3 JUIN
13^e Salon des Jeux
mathématiques :
« Maths en Scènes »

Quatre jours d'intenses
activités ludiques !

Comité international
des Jeux mathématiques
Place Jussieu et Campus
de l'université Pierre
et Marie Curie, 5^e arr.
www.cijm.org

31 MAI ET 14 JUIN
À 18H30
Santé en questions

Conférences citoyennes
Inserm / Universcience
Palais de la Découverte,
8^e arr.
http://dircom.inserm.fr/sante_en_questions

TOUS LES WEEK-ENDS
DU MOIS DE JUIN
Promenades
scientifiques

Une façon insolite
de découvrir Paris !

Association française
d'Astronomie / Société
géologique de France /
Parcours des Sciences
Dans différents
arrondissements de Paris
www.paris.fr

9 JUIN DE 20H30 À MINUIT
Nuit du Film scientifique

Projection en plein air
Association Science
et Télévision
Parvis de l'Hôtel de Ville, 4^e arr.
www.science-television.com



DU 23 AU 26 JUIN
Festival des deux infinis :
rayons cosmiques

Observations astronomiques,
conférences, visites
de laboratoires...

Association française
d'Astronomie
Parc Montsouris
et nombreux autres lieux
dans Paris - www.afanet.fr

...
et bien d'autres
manifestations gratuites
à venir !

Les FOURMIS

Mark Moffett

Les batailles entre fourmis présentent d'étonnantes similitudes avec certaines opérations militaires humaines. En fonction des enjeux, ces insectes adaptent leur stratégie à l'ennemi.

La bataille fait rage. Des dizaines de milliers de fourmis balayent tout sur leur passage. Elles ne battent jamais en retraite. Les engagements sont brefs et brutaux : trois fantassins saisissent un ennemi et l'immobilisent, jusqu'à ce que l'un des guerriers, plus grand, s'avance et coupe en deux le corps du captif.

Le combat est si intense, qu'à travers l'objectif de mon appareil photographique, j'en oublie presque que les combattants sont des fourmis. J'ai passé plusieurs mois dans la forêt tropicale malaisienne à suivre ces minuscules insectes, en l'occurrence *Pheidologeton diversus*, la fourmi maraudeuse.

Les entomologistes savent depuis longtemps que certaines espèces de fourmis (et de termites) forment des sociétés très unies, qui comptent des millions d'individus. Ces insectes présentent des comportements complexes, tels que le contrôle de la circulation, la gestion des déchets, l'élevage des pucerons, la culture des champignons, et, plus surprenant encore, la guerre, sous forme d'engagements organisés d'une armée contre une autre, où les deux camps risquent d'être anéantis. En fait, nous ressemblons davantage aux fourmis qu'à nos plus proches parents vivants, les grands singes, qui vivent en sociétés beaucoup

plus restreintes. Nous nous ressemblons jusque dans nos stratégies guerrières ! Pour les fourmis, comme pour l'homme, la guerre implique une étonnante variété de choix tactiques quant aux modes d'attaque et aux décisions stratégiques déterminant où et quand livrer bataille.

Stratégies similaires

Alors que tout les sépare, que ce soit leur biologie ou la structure de leurs sociétés, les fourmis et les hommes ont des tactiques guerrières similaires. Les colonies de fourmis sont surtout composées de femelles stériles, qui travaillent comme ouvrières ou guerrières, parfois de quelques mâles, qui ont une courte durée de vie et participent uniquement à la reproduction, et de une ou plusieurs reines fertiles. Celles-ci sont au centre de la vie de la colonie, parce qu'elles assurent la reproduction, mais elles ne dirigent pas les troupes et n'organisent pas le travail. La colonie fonctionne sans hiérarchie, ni chef permanent. La prise de décision est décentralisée, avec des ouvrières qui font des choix pertinents pour le groupe, bien que chacune d'elles ait peu d'informations et malgré l'absence d'un chef, processus dénommé « intelligence



L'ESSENTIEL

✓ Des colonies entières de fourmis, de plusieurs milliers, voire millions, d'individus, partent en guerre contre d'autres colonies pour contrôler un territoire ou une source de nourriture.

✓ Ces insectes utilisent de nombreuses tactiques qui présentent des similitudes avec celles des hommes.

✓ Les fourmis adaptent leurs stratégies selon divers facteurs : la taille de la colonie, le territoire...

✓ Les fourmis, totalement dévouées à leur colonie, sont prêtes à sacrifier leur vie pour elle.

John Dawson

et l'art de la guerre



1. DES FOURMIS MARAUDEUSES
attaquent un membre d'une colonie rivale.
Elles le saisissent par les pattes
pour les arracher l'une après l'autre.

en essaim ». Hommes et fourmis combattent leurs ennemis pour des motifs communs, notamment le territoire, la nourriture et même le travail : ainsi, quelques espèces de fourmis transforment en esclaves certains de leurs adversaires.

Les fourmis adaptent leurs tactiques de guerre à l'enjeu. Certaines gagnent les batailles en prenant constamment l'offensive, un comportement qui rappelle que « la rapidité est l'essence même de la guerre » selon Sun Tzu, général chinois du VI^e siècle avant notre ère dans son ouvrage *L'Art de la guerre*. Chez les fourmis guerrières, diverses espèces des régions chaudes du monde entier et la fourmi maraudeuse d'Asie, des centaines, voire des millions, d'individus avancent à l'aveugle en rangs serrés, attaquant proies et ennemis indistinctement sur leur passage.

Au Ghana, j'ai observé un tapis grouillant de fourmis ouvrières de l'espèce guerrière *Dorylus nigricans* fouillant une zone de 30 mètres de largeur. Ces fourmis, nommées légionnaires, se déplacent en groupes. Elles tranchent la chair de leurs ennemis ou de leurs proies à l'aide de mâchoires coupantes et peuvent dévorer en un rien de temps des victimes 1 000 fois plus grosses qu'elles. Bien que les vertébrés soient en général capables d'échapper aux fourmis, au Gabon j'ai vu une antilope prise dans un piège, dévorée vivante par une colonie de fourmis légionnaires.

Cette espèce et les fourmis maraudeuses ont des stratégies proches : elles coupent l'accès à la nourriture des fourmis rivales ; leur nombre suffit pour envahir

n'importe quel territoire et prendre ensuite le contrôle des ressources. Les fourmis légionnaires chassent également en groupes pour prendre d'assaut d'autres colonies de fourmis, s'emparer des larves et des nymphes du nid et s'en nourrir.

Les phalanges de fourmis légionnaires et maraudeuses en mouvement rappellent les formations militaires utilisées depuis l'Antiquité sumérienne jusqu'aux régiments de la guerre de Sécession américaine. L'avancée d'un groupe de fourmis sans objectif précis est toujours hasardeuse : elles risquent de ne traverser que des sols stériles et de ne rien trouver. Certaines espèces envoient un nombre réduit d'ouvrières dites éclaireuses, qui recherchent séparément de la nourriture. En se déployant sur une étendue plus vaste, pendant que le reste de la colonie reste sur place, elles rencontrent plus de proies, mais aussi plus d'ennemis.

Mais les colonies qui dépendent de fourmis éclaireuses tuent moins d'adversaires : l'éclaireuse doit revenir au nid pour rassembler les troupes, qui suivront le trajet balisé par une phéromone (une substance chimique), déposée par l'éclaireuse. Le temps que ces renforts arrivent, les ennemis ont pu se regrouper ou avoir battu en retraite. En revanche, les ouvrières des fourmis légionnaires ou maraudeuses peuvent obtenir immédiatement l'aide requise, car les renforts marchent juste derrière elles. Chez l'homme, ce comportement de domination rapide, théorisé en 1996 par deux Américains, consiste à déployer une grande force de

frappe en peu de temps pour surprendre et dominer l'ennemi.

Ce n'est pas seulement le nombre considérable de combattants qui rend les fourmis légionnaires et maraudeuses si meurtrières. Mes recherches sur les fourmis maraudeuses ont montré que les troupes sont déployées de façon à accroître l'efficacité et à réduire le coût par colonie. La position d'un individu dépend de sa taille. Les fourmis ouvrières maraudeuses présentent des différences de taille plus importantes que tout autre espèce de fourmis. Les minuscules ouvrières qualifiées de *minors* (les fantassins mentionnés en début d'article) se déplacent rapidement vers les lignes de front, où elles sont les premières à rencontrer des colonies de fourmis concurrentes ou des proies.

Les petites ouvrières en première ligne

Isolée, une telle ouvrière n'aurait pas plus de chances face à l'ennemi qu'une éclaireuse de même taille appartenant à une espèce pratiquant la chasse individuellement. Mais le nombre important de fourmis ouvrières sur le front constitue une barricade infranchissable, lors d'un raid. Le sacrifice de plusieurs ouvrières permet de ralentir ou de bloquer l'ennemi, jusqu'à ce que les ouvrières de taille moyenne (*media*) et les soldats de grande taille (*majors*) arrivent pour porter le coup fatal. Les soldats sont beaucoup plus rares que les ouvrières de petite taille, mais sont bien plus dangereux, certains individus pesant jusqu'à 500 fois plus.



2. SUR LE CHAMP DE BATAILLE, des fourmis tisserandes s'attaquent à une fourmi guerrière bien plus puissante (ci-contre) et finissent par la mettre en pièces. Une fourmi pot-de-miel se tient sur un galet pour paraître plus grande, une supercherie tactique qui trompe ses ennemis de plus grande taille (ci-dessus).



3. UNE PETITE OUVRIÈRE, dite *minor*, d'une espèce de fourmis maraudeuses voyage sur la tête d'une grosse fourmi soldat, dite *major*, de la même espèce (à gauche). Les petites ouvrières attrapent les enne-



mis, tandis que les grandes les tuent. Une fourmi kamikaze rousse projette une colle toxique jaune sur son ennemi, ce qui tue instantanément la fourmi et sa victime (à droite).

Le sacrifice des petites ouvrières sur le front limite la mortalité parmi les ouvrières moyennes et les soldats, qui exigent un fort investissement de la part de la colonie pour assurer leur croissance et leur entretien. Dès lors, la stratégie consiste à faire courir plus de risques aux combattants faciles à remplacer. Les civilisations mésopotamiennes et égyptiennes faisaient de même avec les paysans, nombreux, enrôlés à moindre coût et qui subissaient le plus de pertes. Pendant ce temps, les soldats d'élite, mieux entraînés et dotés d'armes et d'armures plus perfectionnées, étaient relativement épargnés. Les fourmis maraudeuses utilisent aussi la tactique de la guerre d'usure. Elles fauchent les ennemis par petits groupes, à mesure que l'invasion progresse, au lieu de s'attaquer à l'ensemble de la force ennemie.

Les combats en équations

En plus d'attaquer des espèces ennemies et des proies, les fourmis maraudeuses défendent âprement les environs de leurs nids et de leur nourriture contre des colonies de leur propre espèce. Lors de telles confrontations, les ouvrières de taille moyenne et les soldats restent en retrait tandis que les petites ouvrières tentent de saisir les pattes de leurs adversaires. Ces combats durent pendant des heures et sont plus meurtriers que les batailles entre les fourmis maraudeuses et les autres espèces avec lesquelles elles sont en compétition. Des centaines de petites fourmis s'entre-déchirent sur quelques dizaines de centimètres carrés.

Ce type de corps-à-corps est fréquent chez les fourmis. La mortalité est élevée, reflétant le faible coût de la main-d'œuvre dans une colonie nombreuse. Certaines fourmis utilisent des armes à longue portée, qui leur permettent de blesser leurs ennemis de loin, ce qui minimise les pertes : ainsi, les fourmis rousses vivant dans les forêts d'Europe et d'Amérique du Nord projettent de l'acide formique sur la tête de l'ennemi, et les fourmis *Dorymyrmex bicolor* d'Arizona de petits cailloux.

Nigel Franks, de l'Université de Bristol en Angleterre, et ses collègues ont montré que le combat des fourmis guerrières et maraudeuses satisfait aux équations développées pendant la Première Guerre mondiale par l'ingénieur anglais Frederick Lanchester pour expliquer les stratégies et tactiques de forces opposées. Il a montré que s'il y a de nombreux combats simultanés sur un champ de bataille, la supériorité numérique l'emporte sur la puissance de feu. C'est aussi le cas chez les fourmis maraudeuses, dont les soldats de grande taille n'entrent en conflit qu'en cas de danger extrême. Ainsi, des ouvrières de toutes tailles s'attaqueront à un entomologiste assez inconscient pour attaquer leur nid, les soldats lui infligeant les morsures les plus féroces.

Néanmoins, tout comme les équations de Lanchester ne s'appliquent pas à toutes les situations de guerre chez les hommes, elles ne décrivent pas non plus tous les comportements des fourmis guerrières. C'est le cas des fourmis esclavagistes. Certaines d'entre elles volent la couvée d'une colonie cible, pour transformer les jeunes en esclaves, qu'elles élèvent dans

L'AUTEUR



Mark MOFFETT est entomologiste au Muséum d'histoire naturelle de l'Institut Smithsonian à Washington.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Moffett, *Supercolonies of billions in an invasive ant : what is a society ?*, *Behavioral Ecology*, à paraître.

C. Anderson et D. McShea, *Individual versus social complexity, with particular reference to ant colonies*, *Biological Reviews*, vol. 76, n° 2, pp. 211-237, 2001.

G. Boswell et al., *Arms races and the evolution of big fierce societies*, *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 268, n° 1477, pp. 1723-1730, 2001.

B. Hölldobler et E. Wilson, *Voyage chez les fourmis – une exploration scientifique*, Seuil, 1996.

leur propre nid. Les fourmis esclavagistes ont une solide cuticule et des mandibules acérées qui leur confèrent une supériorité au combat. Elles sont toutefois moins nombreuses que les fourmis des colonies où elles prélèvent des esclaves. Pour éviter de se faire massacrer, certaines fourmis esclavagistes produisent une substance chimique de « propagande », qui sème la confusion dans la colonie attaquée et empêche les ouvrières de se liguer contre les envahisseurs. En agissant ainsi, comme l'ont montré N. Franks et Lucas Partridge, de l'Université de Bath, les fourmis esclavagistes adoptent une autre stratégie de Lanchester, qui s'applique parfois aussi aux hommes. D'après cette loi dite linéaire, si les batailles sont livrées sous forme de duels, la victoire est assurée pour les soldats les

plus performants, même s'ils sont moins nombreux. En fait, une colonie assaillie par des esclavagistes laissera souvent les envahisseurs agir sans opposer de résistance.

Chez les fourmis, les risques encourus par un combattant dépendent de sa valeur au sein de la colonie : plus la fourmi est remplaçable, plus elle s'expose. C'est pourquoi les gardiens, placés le long des sentiers où passent les fourmis maraudeuses, sont souvent des ouvrières âgées ou estropiées, qui tiennent à peine sur leurs pattes. En 2008, Deby Cassill, de l'Université de Floride du Sud, observa que chez les fourmis de feu seules les plus âgées (de plusieurs mois) s'engagent dans des combats, tandis que les ouvrières de quelques semaines s'enfuient et que les individus âgés de quelques jours feignent d'être morts

en restant immobiles en cas d'attaque. En adoptant le point de vue de la fourmi, appeler sous les drapeaux des jeunes en pleine santé est parfaitement illogique. Toutefois, des anthropologues ont observé que, au moins dans certaines cultures, les hommes qui ont remporté des victoires ont tendance à avoir plus d'enfants. Cet avantage reproductif justifie-t-il le risque de mourir dans la fleur de l'âge ? La question ne se pose pas chez les fourmis ouvrières, puisqu'elles ne se reproduisent pas.

Le contrôle territorial

On retrouve d'autres stratégies similaires à celles des hommes chez les fourmis tisserandes. Ces insectes occupent une grande partie de la canopée des forêts tropicales

CARTOGRAPHIER LES RÉSEAUX D'INTERACTIONS DANS UNE COLONIE

Une société d'insectes repose sur une multitude d'interactions de ses constituants, les individus. Les insectes échangent des informations de natures très diverses (tactiles, chimiques, comportementales). En réaction, chaque insecte adopte un comportement parmi un répertoire assez limité. Mais comment ce réseau de communication s'adapte-t-il quand un grand nombre d'ouvrières meurent au combat ou que la fourmilière est attaquée ? Des travaux réalisés chez les guêpes indiquent que la structure du réseau n'est pas notablement altérée par

le retrait d'une fraction des ouvrières, en raison notamment de la redondance des liens connectant les membres de la colonie.

Bien que l'influence de perturbations majeures sur la structure du réseau d'interactions n'ait pas encore été étudiée expérimentalement chez les fourmis, nous avons commencé à analyser la structure et la dynamique des réseaux d'interactions au sein de telles sociétés.

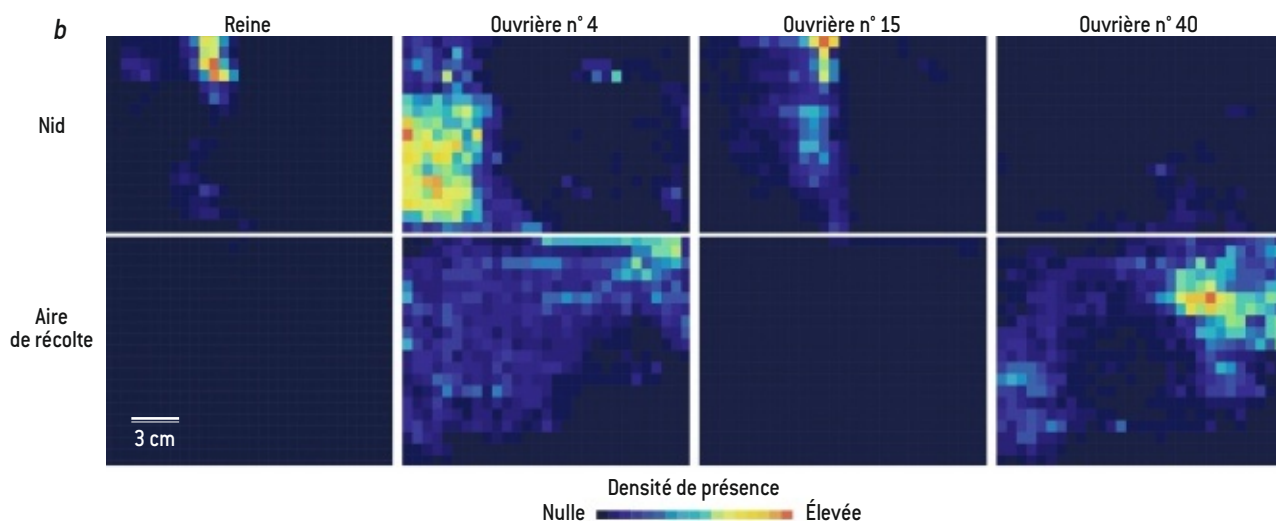
Pendant très longtemps, l'étude de l'organisation de ces insectes sociaux est restée « artisanale », car il fallait marquer tous les individus

au moyen de dossards numérotés ou de taches de peinture permettant de les identifier. Grâce à l'observation minutieuse d'une colonie et à l'analyse de longues heures d'enregistrements vidéo, on obtenait une image plus ou moins précise du rôle joué par les différents individus, de leur position dans la hiérarchie et de la répartition des tâches. Ces méthodes ne permettaient toutefois pas de suivre sur le long terme l'ensemble d'une colonie ni d'analyser avec une précision suffisante la dynamique des interactions, qui constitue une clé pour comprendre



les processus de répartition des tâches et le transfert des informations dans la colonie.

C'est aujourd'hui possible grâce à l'utilisation de radio-étiquettes miniaturisées, des RFID (de l'anglais *Radio Frequency Identification*). Ces radio-étiquettes sont des disposi-



CES CARTES INDICENT L'OCCUPATION DE L'ESPACE par différentes fourmis, au sein du nid et sur l'aire de récolte de nourriture. La reine ne bouge quasiment pas et reste dans le nid. Les ouvrières ont des compor-

tements variés : certaines sont présentes dans le nid et à l'extérieur (ouvrière n° 4), d'autres restent près de la reine (ouvrière n° 15), d'autres encore sont en permanence sur l'aire de récolte (ouvrière n° 40).

en Afrique, Asie et Australie, où les colonies peuvent s'étendre sur plusieurs arbres et compter jusqu'à 500 000 individus, ce qui est comparable aux populations des fourmis légionnaires, dont elles diffèrent néanmoins par le mode de vie.

Les fourmis légionnaires ne défendent pas de territoire, parce qu'elles errent en rangs serrés à la recherche d'autres espèces de fourmis pour s'en nourrir. Au contraire, les colonies de tisserandes sont installées sur un site et déploient leurs ouvrières sur une vaste étendue pour tenir les concurrents éloignés. Elles contrôlent d'immenses espaces dans les arbres en défendant quelques passages obligés, tel le pied des arbres. Des « nids-casernes » de feuilles, bien placés dans les cimes, permettent de déployer les troupes efficacement.

Les fourmis ouvrières tisserandes sont aussi plus indépendantes que les ouvrières des espèces guerrières. Les légionnaires n'ont aucun esprit d'initiative ou d'autonomie. Les troupes s'éloignent peu de la horde en marche et ont peu besoin de communiquer. Face aux ennemis et aux proies, leur réaction suit le mouvement de l'ensemble. Les fourmis tisserandes se déplacent, au contraire, librement et répondent avec plus de souplesse aux différentes situations en présence d'une proie ou d'une menace. Les différences de style rappellent les contrastes entre la rigidité des armées de Frédéric le Grand et les troupes flexibles et mobiles de Napoléon Bonaparte.

Pour détruire un ennemi, les fourmis tisserandes utilisent les mêmes méthodes que les fourmis guerrières : une fourmi

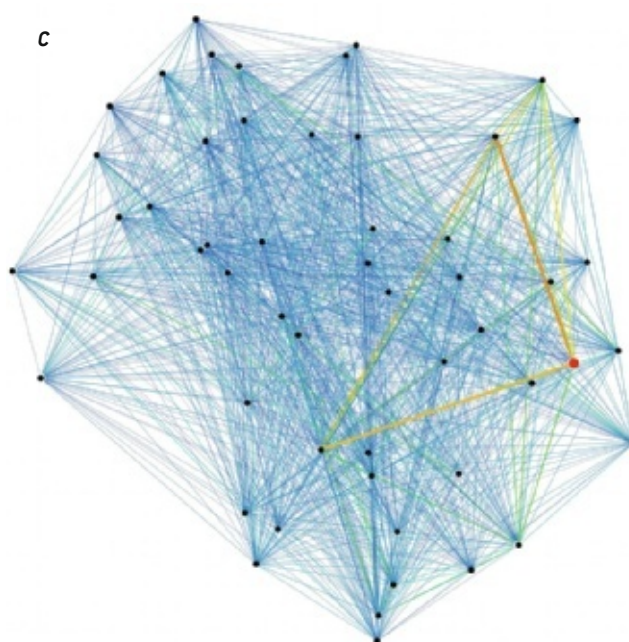
tifs constitués d'une antenne associée à une puce électronique suivie par un émetteur-récepteur. L'émetteur active les radio-étiquettes situées à proximité, qui renvoient leur identification numérique recueillie par le récepteur. Ces radio-étiquettes ont tout d'abord été utilisées pour détecter la présence de fourmis au voisinage de sources de nourriture ainsi que leurs entrées dans le nid et leurs sorties. Au Centre de recherches sur la cognition animale à Toulouse, nous avons développé un dispositif constitué d'un lecteur mobile permettant de balayer à intervalles réguliers la surface d'un nid artificiel et l'aire de récolte utilisée par une colonie pendant plusieurs jours consécutifs. Ce système permet de relever la position et l'identité de chaque fourmi et de reconstruire le réseau d'interactions.

Des fourmis de l'espèce *Odonotomachus hastatus*, équipées d'une radio-étiquette (voir la figure a, flèche), ont été suivies pendant trois semaines. L'analyse de ces données a permis d'établir le réseau d'associations entre individus (voir la figure c) et a mis en évidence une importante disparité dans la connectivité de ce réseau. Certaines fourmis interagissent de la même façon avec l'ensemble des congénères ; d'autres, au contraire, comme la reine, ont des contacts privilégiés avec certaines

ouvrières. L'analyse a aussi révélé une importante variabilité interindividuelle dans l'occupation de l'espace : certaines fourmis sont présentes surtout dans le nid ou l'aire de récolte alors que d'autres, beaucoup plus mobiles, visitent toutes les zones (voir la figure b). Ces différences de mobilité conditionnent les occasions de rencontre entre fourmis et la connectivité du réseau d'interactions.

Examinons la position occupée par la reine dans le réseau : elle se caractérise par une très faible mobilité et un degré de connectivité très élevé. En revanche, son retrait de la colonie ne modifie pas la structure du réseau d'associations entre ouvrières, ce qui confirme qu'elle n'exerce aucun rôle direct dans la coordination des activités réalisées au sein de la colonie. Nous ignorons cependant si les ouvrières très connectées dans le réseau jouent un rôle particulier dans le fonctionnement de la colonie, en favorisant notamment la propagation de l'information.

L'analyse des réseaux d'interaction chez les insectes sociaux et plus généralement les sociétés animales connaît actuellement un développement considérable, en raison des avancées techniques récentes permettant l'automatisation du recueil de données, mais aussi grâce aux outils développés par la physi-



UN RÉSEAU D'INTERACTION a été reconstitué après avoir suivi les mouvements d'une quarantaine de fourmis (les points). Cette analyse a en particulier révélé que la reine (en rouge) est très connectée aux autres membres de la colonie. Les traits jaunes et orange indiquent les contacts privilégiés. Par ailleurs, on peut montrer que son retrait ne perturbe pas de réseau de communications entre les ouvrières.

que des réseaux complexes. La théorie des graphes, à travers l'analyse de la topologie des réseaux, a permis de mieux comprendre leurs propriétés. Le principal défi auquel sont confrontés actuellement les chercheurs concerne l'analyse temporelle de la dynamique des réseaux. Le développement de ces approches

ouvre de nouvelles perspectives pour mieux comprendre le fonctionnement des sociétés où les interactions individuelles jouent un rôle déterminant.

**Raphaël Jeanson
et Guy Theraulaz**

CNRS – Centre de recherche sur la cognition animale, Toulouse

R. Jeanson et G. Theraulaz/CNRS



G. Theriault/CROA/CNRS

4. LES FOURMIS TISSERANDES utilisent des feuilles pour construire leur nid. Elles les assemblent avec des fils de soie produits par les larves.

tisserande émet une phéromone de recrutement de courte portée (produite par une glande dite sternale), ce qui attire les renforts à proximité, lesquels l'aident à la mise à mort. Par ailleurs, quand une ouvrière revient d'un combat avec une autre colonie, elle effectue des mouvements saccadés en passant près d'autres fourmis pour les alerter du combat en cours. En même temps, elle dépose une odeur différente le long de son trajet, une phéromone produite par une glande rectale qui indique aux membres de sa colonie le chemin à suivre jusqu'au champ de bataille. Enfin, pour revendiquer un espace préalablement inoccupé, les ouvrières utilisent un autre signal, en déféquant à l'endroit concerné, un peu comme les chiens marquent leur territoire en urinant.

Une question de taille

Pour les fourmis comme pour les hommes, la propension à s'engager dans une guerre est liée, au moins en partie, à la taille de la colonie. De petits groupes mènent rarement de grandes batailles. Comme les hommes chasseurs-cueilleurs, qui sont souvent nomades et ont tendance à vivre au jour le jour, les plus petites colonies de fourmis de quelques dizaines d'individus ne construisent pas d'infrastructures fixes, de sentiers ni de lieux d'habitation, et n'ont pas de réserves de nourriture, qui vaudraient de mourir pour les défendre. Lors de conflits entre groupes, ces fourmis, comme leurs homologues humains, préfèrent souvent la fuite au combat.

Les sociétés de taille intermédiaire disposent probablement de plus de ressources à défendre, mais sont encore assez petites pour éviter de mettre en danger leurs troupes. Les fourmis pot-de-miel du Sud-Ouest des États-Unis, qui vivent en groupes de taille moyenne de quelques milliers d'individus, illustrent cette minimisation des risques. Pour s'approprier une proie sans avoir à affronter un groupe entier, une colonie de fourmis pot-de-miel peut organiser un « tournoi »

près d'un nid voisin. Elles occupent ainsi l'ennemi, évitant une bataille meurtrière. Pendant le tournoi, les fourmis rivales tournent les unes autour des autres dressées sur leurs six pattes. Ce comportement de « marche sur échasses » ressemble aux démonstrations cérémonielles de force, le plus souvent sans effusion de sang, courantes chez les hommes vivant en petits clans, comme l'ont fait remarquer les biologistes Bert Hölldobler, de l'Université d'État de l'Arizona, et Edward Wilson, de l'Université Harvard.

Avec un peu de chance, la colonie dont les fourmis ainsi dressées sont les plus petites et les plus faibles, bat en retraite sans pertes. Le camp gagnant en profite pour dévorer la couvée des perdantes et enlever les fourmis-réservoirs. Ces ouvrières ont l'abdomen rempli de miellat, qu'elles régurgitent à la demande pour les autres. Les vainqueurs rapportent les fourmis-réservoirs jusqu'à leur nid et conservent ces garde-manger vivants comme esclaves. Pour échapper aux conséquences d'une défaite, des ouvrières de reconnaissance surveillent le tournoi pour organiser la retraite si nécessaire.

En revanche, dans les colonies matures composées de centaines de milliers d'individus, les affrontements sont fréquents. Les entomologistes ont eu tendance à considérer que ces grandes sociétés d'insectes étaient inefficaces, car elles produisent, en moyenne, moins de reines et de mâles que ne le font les petits groupes. Je les considère, au contraire, comme étant si productives qu'elles ont la possibilité d'investir non seulement dans la reproduction, mais également dans une main-d'œuvre plus abondante que ne l'exige l'entretien de la colonie, un peu comme nos organismes fabriquent des réserves de tissu adipeux où nous puisons en cas de besoin. Il est probable que chaque fourmi a moins de travail à fournir dans les grandes colonies. Les fourmis inactives, de plus en plus nombreuses, grossissent les rangs d'une armée de réserve lors d'affrontements avec des ennemis. De même, la plupart des anthropologues estiment que la guerre entre les hommes ne serait apparue qu'après l'explosion démographique favorisée par le début de l'agriculture.

Superorganismes et supercolonies

En fait, la capacité de conduire diverses formes de guerre résulterait de ce qu'une société de fourmis est une entité se comportant comme un organisme vivant. Les cellules se reconnaissent grâce à des molécules présentes à leur surface ; un système immunitaire efficace attaque toute cellule présentant des signaux de reconnaissance différents. Dans la plupart des colonies, les fourmis se reconnaissent aussi grâce à des molécules spécifiques de la colonie, des phéromones présentes à la surface de leur corps. Elles évitent ou attaquent les individus émettant une odeur différente. Changer de camp est impossible pour les fourmis

adultes, qui, à de rares exceptions près, appartiennent à leurs colonies, de la naissance jusqu'à leur mort.

Cependant, certaines ouvrières agissent parfois contre l'intérêt de leur colonie. Elles tentent de se reproduire, mais leur projet échoue généralement, un peu comme il arrive que des conflits surviennent entre des gènes. En général, l'identification à leur colonie est la seule carte d'identité des fourmis, car elles forment des sociétés anonymes : au-delà de la distinction entre castes – celles des soldats et celles des reines –, les fourmis ouvrières ne se reconnaissent pas en tant qu'individus. Parce qu'elles font partie d'un superorganisme, la mort d'une ouvrière a peu d'importance, et leur engagement social sans faille est leur seule caractéristique.

L'exemple le plus stupéfiant d'allégeance à la colonie est celui de l'espèce *Linepithema humile*. Originaire d'Argentine, elle s'est répandue dans de nombreuses autres régions du monde, transportée par des bateaux de marchandises. En Californie, elle forme une supercolonie qui s'étend de San Francisco jusqu'à la frontière mexicaine et pourrait rassembler des milliards d'individus, unis d'un bout à l'autre par la même identité « nationale ». Tous les mois, des millions de fourmis argentines meurent au cours des combats qui s'étirent sur des kilomètres autour de San Diego, où des affrontements ont lieu avec trois autres colonies dans des guerres qui durent peut-être depuis l'arrivée de l'espèce, il y a une centaine d'années.

Les équations de Lanchester s'appliquent parfaitement à ces combats. Les ouvrières argentines sont minuscules, constamment remplacées par des renforts inépuisables à mesure qu'elles périssent, et leur densité atteint plusieurs millions pour quelques centaines de mètres carrés. En surpassant largement en nombre toute espèce indigène qu'elles rencontrent, les supercolonies exercent un contrôle absolu du territoire, tuant tout concurrent qu'elles croisent.

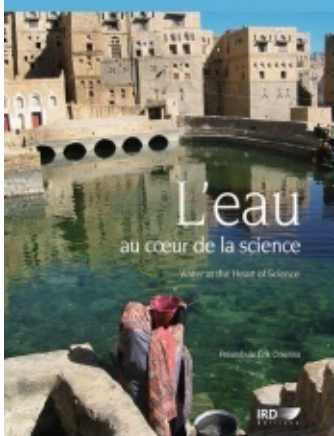
Qu'est-ce qui confère à ces fourmis argentines leur attitude implacable au combat ? Chez de nombreuses espèces de fourmis, mais cela est vrai pour l'homme aussi, après un conflit, le taux de mortalité baisse, car les deux parties s'établissent le long de frontières délimitant une zone neutre. Dans les plaines inondables, d'où sont originaires les fourmis argentines, les colonies en guerre doivent cependant interrompre le combat chaque fois que les eaux montent et les repoussent vers des terrains plus élevés. Pour autant, la guerre ne s'arrête jamais. Les affrontements continuent sans répit, décennie après décennie.

L'expansion agressive des supercolonies de fourmis rappelle comment des superpuissances coloniales humaines ont autrefois éradiqué des groupes plus petits, des Amérindiens aux Aborigènes d'Australie. Heureusement, les hommes ne constituent pas des supercolonies de fourmis : notre allégeance peut basculer au fil du temps, pour accueillir des immigrants, permettant à différentes nations de fusionner. Bien que la guerre soit peut-être inéluctable chez bon nombre de fourmis, pour nous, elle devrait être évitable. ■

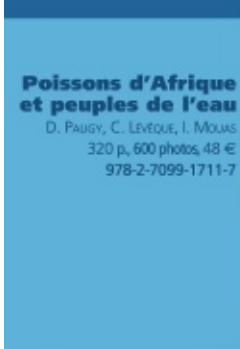


Institut de recherche pour le développement

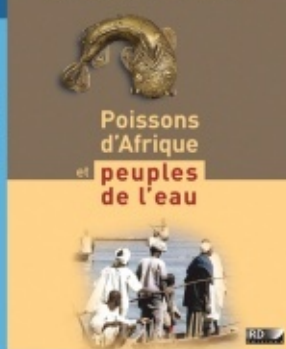
Un éditeur pour le développement



L'eau
au cœur de la science
Water at the Heart of Science
160 p., 138 photos, 35 €
978-2-7099-1723-0



Poissons d'Afrique et peuples de l'eau
D. PAUGY, C. LEVEQUE, I. MOUAS
320 p., 600 photos, 48 €
978-2-7099-1711-7



Poissons d'Afrique et peuples de l'eau
DIDER PAUGY - CHRISTIAN LEVEQUE - ISABELLE MOUAS



Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc
Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes
É. ROOSE, M. SABIR, A. LAQUINA
344 p., 46 €
978-2-7099-1683-7



La Sierra Madre occidentale
Un château d'eau menacé
L. DESCHOUX et al.
328 p., 42 €
978-2-7099-1582-0



La Sierra Madre occidentale
Un château d'eau menacé
L. DESCHOUX et al.

Diffusion libraires : Eyrolles/Géodif
Vente par correspondance : IRD Diffusion
32, av. Varagnat - F 93143 Bondy cedex
Tél : 01 48 02 56 49 Fax : 01 48 02 79 09
diffusion@ird.fr
www.ird.fr

HISTOIRE DES SCIENCES

Comment Newton a inspiré la biologie

Au XVIII^e siècle, nombre de naturalistes ont invoqué Dieu pour expliquer le vivant et son origine. Peu à peu, l'histoire naturelle s'est affranchie de ces idées grâce à des arguments inspirés de la physique newtonienne.

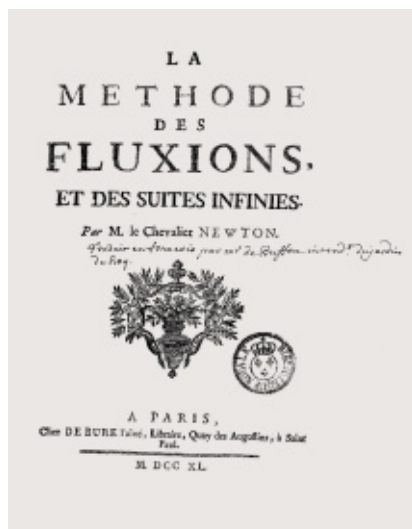
Pascal Charbonnat

Lorsque l'on s'interroge sur les apports de Newton à la science, viennent immédiatement à l'esprit ses lois de la mécanique, sa théorie de la gravitation ou son calcul infinitésimal, et les révolutions que ces concepts ont entraînées dans l'étude des phénomènes physiques. Néanmoins, la physique et les mathématiques ne furent pas les seuls domaines influencés par l'œuvre de Newton. Comme tant d'autres savants et philosophes, nombre de naturalistes du XVIII^e siècle ont été marqués par ses idées.

En France, Pierre Louis Moreau de Maupertuis et Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon, ont été parmi ses premiers défenseurs. Ils ont retenu de lui plusieurs concepts physiques et, surtout, un certain modèle de scientificité, qui s'est reproduit dans leur histoire naturelle et s'est propagé chez leurs disciples durant la seconde moitié du XVIII^e siècle. Ce legs newtonien semble avoir été décisif au cours du mouvement qui a conduit à la naissance de la biologie, au début du XIX^e siècle. À travers quelques exemples, nous allons voir que cette « physicalisation » de l'ancienne histoire naturelle a participé à l'élaboration de la biologie, en tant que science ayant le vivant comme objet spécifique et autonome, libéré de la tutelle théologique.

Au milieu du XVIII^e siècle, les naturalistes sont divisés sur la génération des êtres vivants. D'un côté, les partisans de la préexistence des germes invoquent une providence divine. Réaumur, par exemple, soutient que l'organisation des êtres vivants ne peut être que le fruit de l'intelligence

divine, qui a façonné chacun d'eux sous la forme d'un germe, lequel n'aura plus qu'à croître une fois libéré dans la nature. De l'autre, des naturalistes mécanistes rejettent catégoriquement l'intervention divine et recherchent une explication physique au phénomène. Buffon est de ceux-là. Selon sa théorie, dite des moules organiques, le corps d'un être vivant est une sorte de moule à partir duquel les molécules ingérées prennent la forme de ce corps. L'être se structure ainsi grâce à la nutrition et à la reproduction.



1. LA MÉTHODE DES FLUXIONS et des suites infinies de Newton, traduite par Buffon [1740]. Newton y utilise des sommes infinies pour calculer des aires. La notion d'infini mathématique qu'il y développe a montré à Buffon l'importance de distinguer l'infini, en tant qu'outil mathématique, de l'infini dans la réalité. En sciences naturelles, ce dernier n'existe pas...

La proximité de Buffon avec l'œuvre de Newton n'est sans doute pas pour rien dans l'élaboration de cette explication.

Buffon a étudié les mathématiques à Angers à la fin des années 1720, et rédigé un mémoire sur le calcul infinitésimal en 1733 pour l'Académie des sciences. En 1740, il a traduit *La méthode des fluxions et des suites infinies* de Newton, dont il a retenu la critique de l'infini ontologique, c'est-à-dire de la transposition du concept d'infini au monde extérieur. Pour Buffon, la notion d'infini est un « retranchement » ou une « privation » de l'idée du fini (l'in-fini), et n'a pas d'objet réel. Elle est utile sur le plan de la méthode en tant que pur objet mathématique pour simplifier ou généraliser certains résultats, mais n'a aucune réalité tangible.

L'infini newtonien : un argument contre la préexistence des êtres

Cet infini mathématisé reçu de Newton a une conséquence importante sur l'histoire naturelle. Comme les objets d'étude de l'histoire naturelle sont tous des corps particuliers, il n'est nul besoin d'invoquer l'infini pour les décrire. Les naturalistes partisans de la préexistence des germes sont ainsi récusés. En effet, en imaginant que tous les germes d'êtres vivants existent depuis la création, ils supposent que Dieu, au moment de la création, les a disposés les uns dans les autres dans un emboîtement à l'infini. Autrement dit, ils font exister l'infini dans chaque être vivant