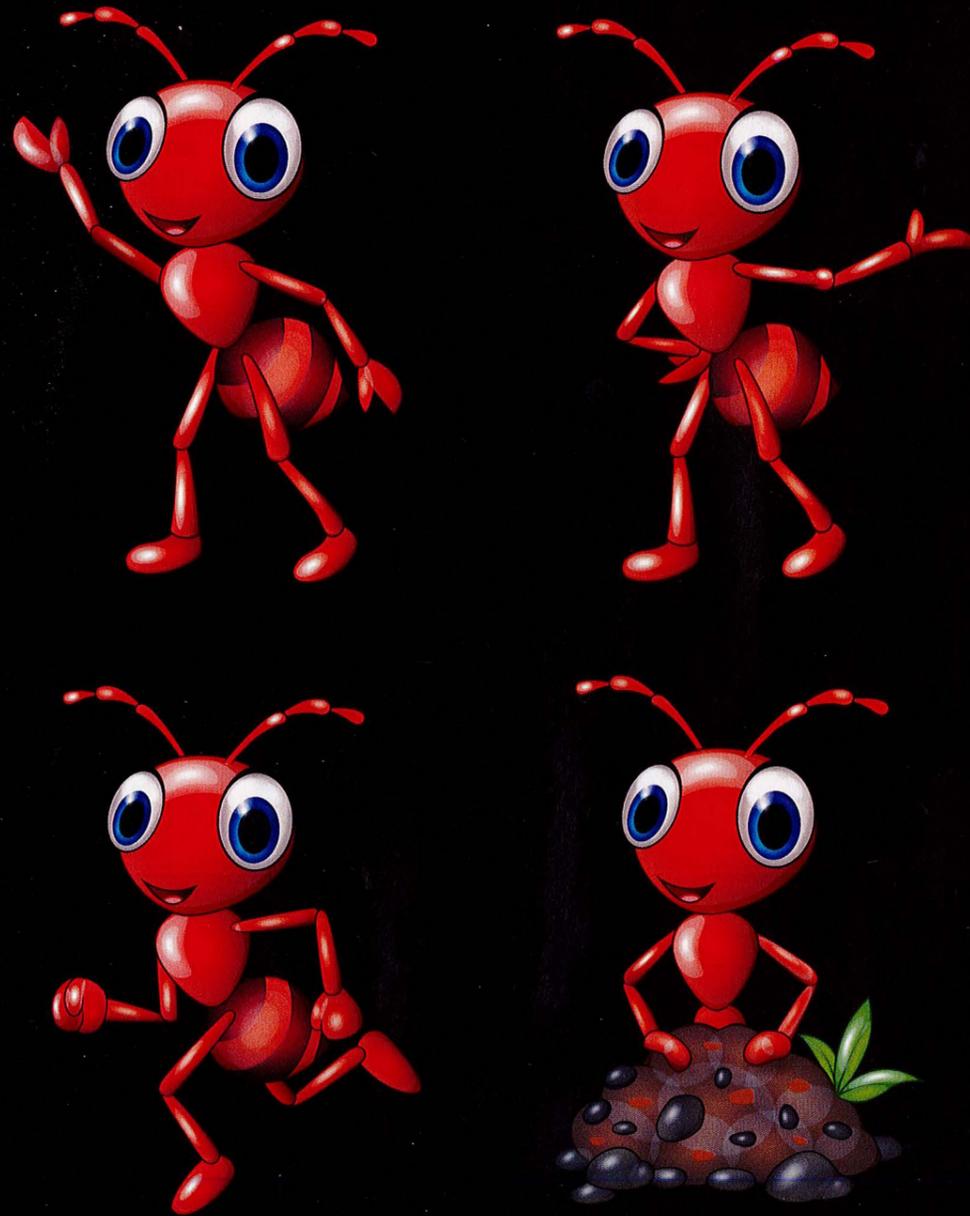


odeur fourmis odeur fourmis  
 phéromones abeilles apprentissage  
 communication communication apprentissage  
 reconnaissance abeilles communication  
 reconnaissance reconnaissance

# Fourmi... fourmi... fourmidable !

Rencontre avec Patrizia d'Ettorre



Abstract

## Incredible ant!

Communication and recognition are essential for social life: ants, in particular, show a large variety of adaptations and are extremely diverse. Their evolutionary history and ecological adaptations give them the ability to interact effectively, organize their society and learn. Even if a direct comparison between humans and ants is not appropriate, studies on ants show that they are not undeveloped regarding their cognitive skills and capacities.

Keywords: ant, pheromone, bee, communication, learning, recognition, odor

Les fourmis nous sont familières : entrées (bien que non invitées !) dans nos maisons, voire héroïnes de livre (une célèbre trilogie), elles semblent jouir d'une proximité qui nous en fait connaître certains aspects. C'est leur art de vivre en société, leur capacité à communiquer, à porter des aliments bien plus lourds qu'elles, etc. Mais ce faisant, nous en occultons d'autres phénomènes, notamment leurs facultés cognitives les rendant êtres d'apprentissage, de mémoire et d'identité. Des processus valables pour les fourmis, mais aussi bien d'autres insectes sociaux.

## Communication et phéromones

Les fourmis ont des sociétés extrêmement organisées (bien plus que les nôtres !) et un système de communication très sophistiqué : ces insectes sociaux offrent ainsi un terrain d'observation éthologique passionnant - bien que non directement pertinent dans une optique de comparaison avec l'Homme.

La communication chimique constitue la forme la plus ancienne, coïncidant avec l'apparition des premiers êtres vivants sur la terre. Fait important, cet échange de molécules bien souvent réduit à tort aux seules phéromones et, par suite, aux insectes, est pourtant partagé universellement, mammifères compris !

Les phéromones (du grec *pherein* [transporter, transférer] et *hormon* [exciter]) sont des messagères chimiques à la composition assez simple utilisées au sein d'une même espèce. La première identifiée - en 1956, par des scientifiques allemands - était celle des femelles *bombyx mori* (lépidoptère élevé pour produire de la soie). S'il existe des phéromones aux fonctions immédiates (de déclenchement), comme celles signifiant l'alarme, d'autres (d'amorçage) vont agir sur la physiologie, telles chez l'abeille la phéromone émise par la reine, qui produit chez ses ouvrières un blocage des ovaires ; d'autres encore peuvent

mêler ces deux fonctions. Les principales catégories de phéromones sont les sexuelles (attraction entre partenaires et déclenchement de comportement reproducteur), les grégaires (pour se retrouver ou se réunir et maintenir la structure du groupe), de piste (pour garder une trace du chemin entre une source de nourriture et le nid), territoriales (délimitation du territoire), etc. Leur sécrétion est permise par des glandes situées de part en part de la fourmi (de la tête aux pattes, en passant par l'abdomen). La nature faisant bien les choses, chaque glande a sa fonction. Notons qu'à leur naissance, les insectes ont les phéromones dont ils ont besoin au vu de leur niveau de développement. Ils en produisent ensuite d'autres.

Autres messagères chimiques, les allélo-mones. Leur finalité est de régir les interactions entre membres d'espèces différentes. Ils se distinguent selon l'effet obtenu : bénéfique au seul émetteur (allomones), au seul récepteur (kairomones) ou aux deux (synomones). Notons que les phéromones d'alarme peuvent aussi être allélo-mones puisqu'ayant une action interspécifique.

Ces substances chimiques participent bien évidemment au comportement, mais d'autres canaux peuvent être utilisés, comme la vision ou l'audition. Selon la situation, le type de message à formuler ou les nécessités, les insectes élistent ceux qui sont les

plus à même de répondre ou d'émettre ce qu'ils souhaitent. De manière basique, une colonie de fourmis évoluant sous terre aurait du mal à utiliser la vue ! Les principaux avantages de la communication chimique résultent de sa capacité à dépasser certaines barrières sensorielles, mais également de sa durabilité : exemple type, les phéromones de piste. Si la communication chimique est universelle, son choix est relatif à la fois aux espèces et au contexte : ainsi, chez les insectes sociaux, l'alarme sera véhiculée par les phéromones tandis que les oiseaux useront de cris. Autrement dit, une même fonction via un mode de communication distinct. Il existe également la communication multimodale faisant intervenir, comme le nom l'indique, différents canaux de communication.

À la différence des phéromones, la signature chimique, une odeur spécifique très complexe de par ses composants - de 30/40 à 100 *versus* les trois à quatre d'une phéromone - est aussi produite par les fourmis et peut s'assimiler à l'odeur se dégageant de notre propre peau.

## Phéromones

Nous connaissons aujourd'hui le trajet des phéromones. Au niveau des antennes des fourmis existent différents types de récepteurs permettant de capter les molécules chimiques

puis, grâce au nerf antennaire, de les mener au cerveau. Les informations arrivent aux lobes antennaires, qui sont organisés en petites unités (plus de quatre cents chez les fourmis) spécialisées dans le traitement des odeurs et nommées glomérules, puis passent dans d'autres zones du cerveau (corps pédonculé, corne latérale). Ce processus est finalement assez similaire au nôtre : notre nez remplace leurs antennes, notre bulbe olfactif, leurs lobes antennaires. Autrement dit, une même organisation résultant peut-être d'une évolution parallèle. Les glomérules permettent de comprendre comment se passent la reconnaissance et la discrimination des odeurs. Selon ces dernières, certaines vont s'activer quand d'autres ne réagiront point. Dans un second temps, le cerveau traitera ces premières informations filtrées en les mettant en relation notamment avec des structures liées à la mémoire.

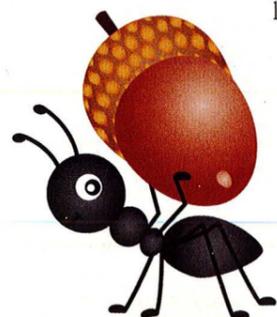
## De l'apprentissage

Contrairement à ce qui a longtemps été pensé, les réponses aux phéromones ne se réduisent pas à de simples réflexes ou réponses innées. Si les phéromones peuvent effectivement être liées à la transmission ou réception de messages simples, elles sont également associées à des fonctions cognitives plus importantes telles que l'apprentissage. En 2007, une étude a montré que les jeunes abeilles, sous l'influence directe des phéromones de la reine, ne pouvaient réaliser ce que l'on nomme un apprentissage associatif aversif (constituer une association entre un stimulus donné et une situation négative, par exemple, un danger)<sup>1</sup>. À l'opposé, l'apprentissage associatif appétitif demeure intact. Autrement dit, les phéromones ont un rôle de modulation quant aux apprentissages et comportements possibles, fait important lorsque l'on sait que ces derniers deviennent de véritables acquis, objets d'une mémoire à long terme<sup>2</sup> !

Outre les apprentissages



que nous voyons butiner sur les fleurs sont les plus



que nous voyons butiner sur les fleurs sont les plus



son prix puisque les autres ouvrières, ne pouvant point laisser passer une telle



associatifs, d'autres types existent. Le plus simple est l'habituation : par exemple, un stimulus auquel une réponse aurait été donnée se révélant guère saillant se verra ensuite ignoré. Autre sorte, le latent : c'est notamment la capacité à apprendre les caractéristiques d'un environnement sans s'en rendre compte, mais de manière néanmoins utile pour l'orientation. Ce sont des exemples d'apprentissage individuel. De plus, chez les animaux, des apprentissages sociaux existent, par exemple via l'imitation, l'émulation, l'enseignement... Les fourmis sont effectivement de « bonnes maîtresses »<sup>3</sup> ! Quel que soit le type d'apprentissage, la mémoire est en jeu : celle à court, moyen et long terme. Des expériences menées cherchent ainsi à voir si les phéromones peuvent influencer sur celle-ci.

## De parfaites organisations sociales ?

L'organisation, à multiples niveaux, de la vie des fourmis repose sur la division du travail, dans le sens où chacun a sa tâche, sa spécialisation bien dévolue et reconnue<sup>4</sup>. La colonie différencie d'une part les reproductrices (reines) et les non-reproductrices (ouvrières) et, d'autre part, au sein des ouvrières, celles qui seront spécialisées dans la surveillance du couvain, dans l'entretien du nid, dans la recherche de nourriture ou dans la défense. Les ouvrières sont ainsi capables de distinguer qui fait quoi et de marquer des différences entre caste, âge, classe et statut social. La division du travail est essentielle, mais ne peut fonctionner qu'à condition qu'une reconnaissance d'identité soit possible et que les comportements y soient en adéquation.

Il en va de même chez d'autres insectes tels que l'abeille. Les jeunes adultes sorties du cocon s'occupent des larves, de la reine et demeurent au sein du nid. Puis, devenues plus matures, elles partent à l'extérieur afin de fourrager - les abeilles

vieilles de la colonie. Cette sortie prend tout son sens à partir du moment où elles sont proches de mourir et dès lors, il est plus cohérent que ce soient elles qui s'exposent aux dangers plutôt que les plus jeunes. Cette organisation sociale est liée à l'interaction entre insectes. Lorsque les abeilles fourrageuses sortent et reviennent au sein de la colonie, un contact sous forme d'échange de composés chimiques a lieu avec les nourrices. Ces dernières savent dès lors qu'elles n'ont point besoin d'aller dehors. Si par contre, les fourrageuses ne reviennent pas et que cette transmission n'a pas lieu, les nourrices se mettent petit à petit à sortir, prenant alors le rôle des premières. Nous voyons bien comment l'environnement social provoque des changements dans le comportement. Cela souligne également la grande plasticité de ce dernier et son adaptation aux besoins de la colonie. Autre marque d'organisation : le fait, évoqué, que les ouvrières ne se reproduisent pas. Plus précisément, elles le font de manière indirecte puisque leur mère, la reine, se reproduit. Cela vient du fait qu'il est de l'intérêt de chaque individu de faire en sorte que la colonie soit en bonne santé et équilibrée, ce qui ne peut avoir lieu que si la reproduction est uniquement laissée à la reine. Respect pour cette dernière ! Les sociétés des fourmis n'étant généralement pas plus que les nôtres clonales - aucun individu n'est strictement pareil à un autre -, certains conflits peuvent avoir lieu bien que les insectes soient bien plus forts à les résoudre que nous.

Un des principaux est lié à la reproduction, et plus précisément aux intérêts pouvant diverger entre la reine et les ouvrières. Comme évoqué, la reine produit une phéromone empêchant ses ouvrières de développer leurs ovaires. C'est globalement ce qui se passe même si certaines « rebelles », souhaitant se reproduire elles-mêmes, vont pondre quelques œufs. Un comportement qui porte

son prix puisque les autres ouvrières, ne pouvant point laisser passer une telle

chose, vont remettre de l'ordre, soit en les attaquant, soit en mangeant leurs œufs<sup>5</sup>. Pourquoi cela ? Car une telle enfreinte met en péril l'organisation de la société : si toutes les fourmis (de même pour les abeilles) se mettent à se reproduire, plus aucun individu ne travaillera.

Les phéromones ont ainsi évolué au cours du temps (plusieurs millions d'années) en évitant ce genre de désordre. Ce phénomène d'innovation chimique a pu être démontré notamment grâce à des comparaisons entre espèces phylogénétiquement proches (avec ancêtre commun). Cette évolution des messages chimiques peut mener à la spéciation, c'est-à-dire un processus évolutif par lequel de nouvelles espèces apparaissent.

## Identité et reconnaissance

Pour que l'incroyable organisation sociale de la colonie puisse fonctionner, il est nécessaire que les individus soient capables de distinguer les étrangers des membres du groupe : il en va en effet de la défense de leur nid, de ses habitants - notamment les larves - et des réserves de nourriture ! En la matière, au moins deux types de reconnaissance existent<sup>6</sup> : celle visant les liens de parenté (*kin recognition*) et celle reposant sur les compagnons du nid (*nestmate recognition*). Pour qu'une fourmi identifie une autre comme appartenant au même groupe, elle doit obtenir une correspondance entre la marque chimique de cet individu et un de ses modèles internes, espèce de représentation neurale de l'odeur de la colonie. La signature chimique est constituée par des hydrocarbures à longue chaîne accrochés à la cuticule (couche externe du revêtement) de l'insecte. Ces hydrocar-

bures, dans leur assemblage divers à l'origine à la fois génétique et environnementale, forment une espèce de « visa » de la colonie. Patrizia d'Ettorre s'est intéressée à l'apprentissage précoce lié à cette reconnaissance. Si nous prenons des larves de fourmis et les transférons dans une autre colonie avant de les réintégrer après qu'elles soient devenues des nymphes (stade suivant la larve), il s'avère que les jeunes fourmis, une fois adultes, seront moins agressives envers les membres de leur colonie d'adoption que vis-à-vis d'inconnus. Autrement dit, la période précédant la métamorphose de l'insecte vers son stade adulte semble importante quant à la constitution de la reconnaissance : odeur connue au stade de larve égale fourmi tolérée ! Cette formidable capacité de reconnaissance porte néanmoins ses limites. De fait, certains parasites s'avèrent capables de s'imprégner de l'odeur des ouvrières hôtes, soit de leurs molécules d'identification. C'est le cas notamment de certains chenilles et scarabées qui parviennent ainsi à mener une action d'infiltration avec succès ! Ils sont en effet capable, en quelques jours, d'acquiescer les hydrocarbures des hôtes de la colonie dans laquelle ils sont entrés, notamment en faisant les morts en attendant de revêtir cette nouvelle signature chimique<sup>7</sup>. Le système de reconnaissance se fondant sur l'odorat et non sur la vision, les intrus ne sont pas facilement démasqués et peuvent dès lors commettre leur forfait en toute impunité...

## Fourmis et Homme

Si nous ne pouvons mener de comparaison directe entre la société des fourmis et celles des hommes, l'étude de leur système de communication, par exemple, peut être instructive. De fait, ce dernier est tellement bien développé et efficace qu'il peut nous permettre d'élaborer des modèles mathématiques. Typiquement, certains algorithmes sont utilisés en particulier dans le champ de la télécommunication pour améliorer nos propres réseaux. De même, si nous ne pouvons transposer le comportement des fourmis au nôtre, il existe néanmoins de grands principes généraux permettant de comprendre l'évolution de la coopération et de l'organisation sociale. Autrement dit, nous pouvons apprendre des choses des insectes sociaux, qui peuvent nous profiter indirectement.

La présence humaine impacte nécessairement les animaux - comme les plantes - quels qu'ils soient. Le fait que nous soyons aujourd'hui confrontés à des fourmis devenues invasives

est un des effets de la transformation de nos modes de vie (mondialisation, multiplication des échanges commerciaux, etc.). Il nous faut prendre conscience que, en jouant sur les caractéristiques de notre environnement, celui-ci voit son équilibre bouleversé : même la gentille petite fourmi peut devenir un ennemi...

1. Vergoz, V., Roussel, E., Sandoz, J.C., & Giurfa, M., (2007) Aversive learning in honeybees revealed by the olfactory conditioning of the sting extension reflex. *PLOS ONE*, 2(3): e288.
2. Notons que la durée de vie des fourmis est variable selon les espèces. De manière générale, une ouvrière vit entre un et deux ans, les reines, elles, ayant une longévité pouvant atteindre une dizaine d'années (le record étant détenu par une reine de la fourmi noire des jardins ayant évolué dans une colonie de laboratoire : vingt-neuf ans !).
3. Franks, N.R., & Richardson, T., (2006) Teaching in tandem-running ants. *Nature*, 439: 153.
4. D'Ettorre, P., (2008) Multiple levels of recognition in Aants: a feature of complex societies. *Biological Theory*, 3(2): 108-113.
5. Van Zweden, J.S., Fürst, M.A., Heinze, J., d'Ettorre, P., (2007) Specialization in policing behaviour among workers of the ant *Pachycondyla inversa*. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological sciences*, 274: 1421-1428.
6. D'Ettorre, P., (2013) Learning and recognition of identity in ants. In Menzel, R., Benjamin, P.R., (Eds) *Invertebrate Learning and Memory*. Elsevier, San Diego: Academic Press, p. 501-513.
7. Passera, L., & Aron, S., (2005) *Les fourmis: comportement, organisation sociale et évolution*. Ottawa: Canadian Science Publishing.

Patrizia d'Ettorre est professeur d'éthologie au Laboratoire d'éthologie expérimentale et comparée de l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité. Elle fait également partie de l'Institut francilien d'éthologie.

### Bibliographie

- D'Ettorre, P., & Heinze, J., (2005) Individual recognition in ant queens. *Current Biology*, 15(23): 2170-2174.
- Heinze, J., & d'Ettorre, P., (2009) Honest and dishonest communication in social Hymenoptera. *Journal of Experimental Biology*, 212(12): 1775-1779.
- Holman, L., Jørgensen, C.G., Nielsen, J., & d'Ettorre, P., (2010) Identification of an ant queen pheromone regulating worker sterility. *Proceedings of the Royal Society B*, 277(1701): 3793-3800.
- Perez, M., Giurfa, M., & d'Ettorre, P., (2015) The scent of mixtures: rules of odour processing in ants. *Scientific reports*, 5: 8659.