

DÉCOUVERTE

Revue du Palais de la découverte

DOSSIER
SPÉCIAL
FOURMIS

MATIÈRE & ÉNERGIE

Communication et fraude chimiques chez les fourmis

VIVANT \ SANTÉ & ENVIRONNEMENT

Fourmis géantes ou minuscules, le jeu de l'Évolution

FORMES MATHÉMATIQUES

Un travail de fourmis... artificielles !



MILLE MILLIARDS
DE FOURMIS

TERRE & UNIVERS

Planck livre la plus vieille
photographie de l'Univers

VIVANT \ SANTÉ & ENVIRONNEMENT

Moustiques, tiques et C^{ie},
vecteurs de maladies

Palais
DÉCOUVERTE



COMMUNICATION ET FRAUDE CHIMIQUES CHEZ LES FOURMIS

Les glandes des fourmis sont de véritables usines chimiques. La plupart d'entre elles produisent des phéromones permettant à ces insectes de communiquer entre eux. Clef de voûte de la vie sociale, ces molécules sont impliquées entre autres dans l'élaboration de pistes, l'alarme, la défense, la rencontre des individus sexués, la reconnaissance coloniale et spécifique. Certaines espèces sont capables de tirer profit de ce type de communication et se conduisent en parasites, esclavagistes ou hôtes au sein de la colonie.

PAR **ALAIN LENOIR**, PROFESSEUR ÉMÉRITE, INSTITUT DE RECHERCHE SUR LA BIOLOGIE DE L'INSECTE, TOURS

**Fourmis rouges
des bois qui « parlent »
avec leurs antennes.**

© IStockphoto / Thinkstock
by Getty Images.



à son tour par l'émetteur, qui va en tirer un bénéfice. Par exemple, le chant d'une grenouille mâle sera entendu par une femelle, qui y répondra en s'approchant du mâle avant d'accepter l'accouplement. Toutefois, le chant peut être perçu aussi par un prédateur ou un parasite. Dans ce cas, pour l'espèce émettrice, le coût ne doit pas excéder le bénéfice, sans quoi le signal finirait par disparaître. Classiquement, on distingue quatre types de signaux dans la communication selon leur nature : sonore, tactile, visuelle ou chimique. Souvent, la communication emprunte plusieurs canaux à la fois. Chez les insectes, la communication chimique est fondamentale. Peter Karlson et Martin Lüscher, du Max-Planck-Institute of Biochemistry de Munich, ont créé le terme « phéromone » en 1959, à la suite de l'identification du bombykol – phéromone sexuelle du papillon du ver à soie femelle *Bombyx mori* – par Adolf Butenandt (1903-1995) la même année.

DES GLANDES À TOUT FAIRE

Chez les fourmis, tous les aspects de la vie sociale dépendent de la communication chimique. Des phéromones sexuelles permettent d'attirer les femelles ou le regroupement des mâles. Celle de la reine indique son statut de pondreuse. D'autres sont impliquées dans la reconnaissance coloniale et spécifique, l'alarme, le marquage du territoire ou encore l'élaboration de pistes chimiques (recrutement de congénères pour exploiter une source de nourriture ou « déménager »). Ces phéromones sont produites par les glandes exocrines⁽¹⁾, qui fabriquent aussi d'autres substances comme des enzymes

La vie sociale des fourmis est l'une des plus développées du règne animal, au même titre que celle des abeilles, des guêpes ou des termites. Elle repose sur un système de communication très élaboré utilisant le plus souvent des signaux chimiques. E. David Morgan, de l'université de Keele en Grande-Bretagne, spécialiste réputé pour ses travaux sur la communication chimique des fourmis, n'hésite pas d'ailleurs à qualifier les sécrétions des glandes de fourmis de « sorcellerie chimique pour la socialité ».

La communication nécessite l'émission d'un signal par un individu émetteur, signal qui doit être perçu par un autre individu de la même espèce, le récepteur. Ce dernier réagit et sa réponse est perçue

(1) Glandes qui sécrètent des substances dans le milieu extérieur.

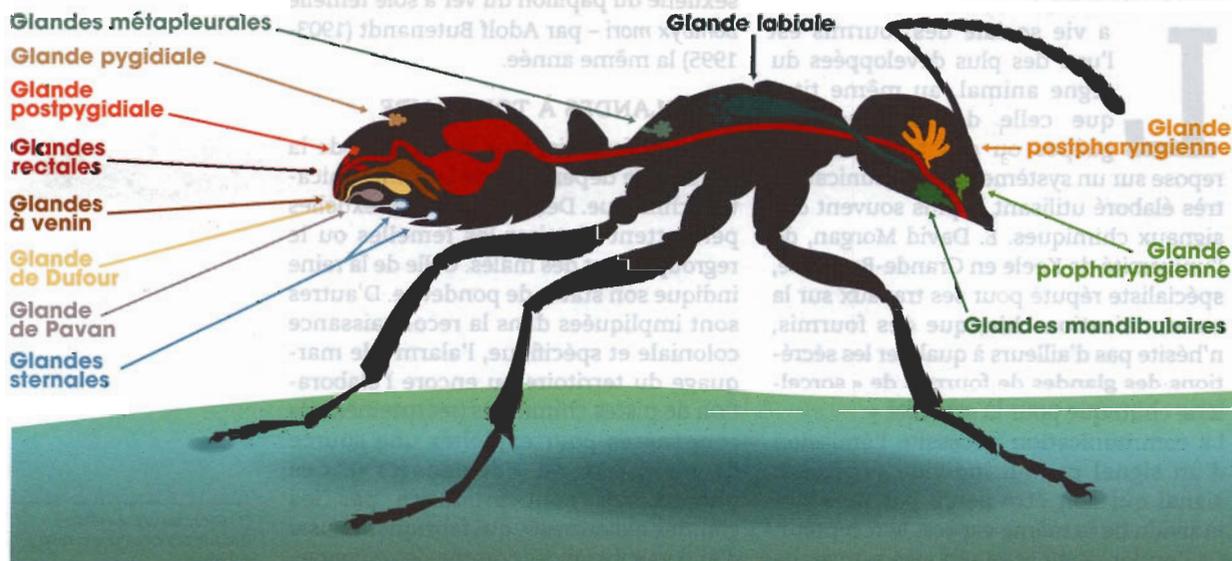


Lorsque deux fourmis se rencontrent, elles se « parlent » avec leurs antennes. En réalité, elles se touchent pour échanger des informations sur leur « visa chimique ».

digestives, du venin, des antibiotiques ou des lubrifiants de l'aiguillon. À l'heure actuelle, 75 glandes exocrines ont été décrites chez les fourmis (fig. 1) – on en connaissait 40 en 2009, 21 chez l'abeille –, certaines présentant une production continue sans réservoir telles que les glandes métapleurales pour la production d'antibiotiques. Parmi les plus connues, on peut citer la glande postpharyngienne et les glandes mandibulaires situées dans la tête, les glandes salivaires et métapleurales du thorax, les glandes de Dufour, à venin et pygidiales

de l'intestin postérieur (rectales ou cloacales) ou encore les glandes tibiales. Grâce aux techniques modernes d'analyse chimique – comme la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse qui permettent d'analyser des quantités infimes de substances de l'ordre de quelques nanogrammes (10^{-9} gramme) – les scientifiques ont pu montrer que ces glandes produisent de très nombreuses substances. Plus d'une centaine de molécules, hors hydrocarbures, ont déjà été identifiées : terpènes, alcools, esters, alcaloïdes (poisons), aldé-

Figure 1. Principales glandes des fourmis.
© J. Billen.



hydés (répulsifs en général), cétones ou bien lactones... La même substance peut être identifiée dans diverses glandes et avoir des fonctions distinctes : c'est le principe de parcimonie. Plus de 20 glandes ont été répertoriées dans les pattes, qui peuvent servir à marquer des pistes chez les *Crematogaster* (fig. 2) ou encore au nettoyage des antennes.

Les phéromones de piste ont été très étudiées. Extrêmement volatiles (elles s'évaporent en général en quelques minutes), elles comportent de 1 à 14 substances, provenant d'une ou deux glandes (de Dufour, à venin ; parfois tibiale ou de l'intestin postérieur). On trouve les mêmes substances chez plusieurs espèces différentes. La quantité de phéromones contenue dans une glande peut être extraordinairement faible, souvent de quelques nanogrammes voire quelques picogrammes (10^{-12} gramme). On a calculé ainsi que 1 milligramme de la phéromone de piste d'*Atta* (fourmi champignonnière tropicale - fig. 3) permettrait de marquer trois fois le tour de la Terre tout en conservant son efficacité.

FOURMIS, VOS PAPIERS !

On connaît le « langage des fourmis » : lorsque deux fourmis se rencontrent, elles se « parlent » avec leurs antennes. En réalité, elles se touchent pour échanger des informations sur leur « visa chimique ». Actuellement, on a tendance à séparer les phéromones, au sens large, des signaux identitaires. Une phéromone correspond, au sens original du terme, à une molécule ou combinaison de molécules capable de déclencher une réponse innée chez d'autres individus de la même espèce. Quant à la signature chimique, elle est définie comme étant un mélange de molécules dont la composition est « apprise » par le récepteur, permettant



Figure 2. Fourmis écussonnées *Crematogaster scutellaris* recueillant le miellat de pucerons. © Biosphoto / B. Borrelli

Figure 3. Fourmis champignonnistes coupeuses de feuilles en Guyane. © Biosphoto / M. Molfett / Minden Pictures.



ainsi la reconnaissance de l'autre individu ou colonie. La colonie de fourmis est en général une entité fermée. Les étrangers sont identifiés et rejetés. Le mécanisme de reconnaissance est lié à une odeur caractéristique de la colonie portée sur la cuticule, qualifiée donc de signature chimique. Les substances impliquées dans ce processus sont des hydrocarbures (chaînes de carbone et d'hydrogène appelées alcanes) très peu volatils (fig. 4). Chez les insectes, ces

substances ne proviennent pas de glandes mais sont synthétisées dans le corps gras, avant de migrer à travers la cuticule qu'elles protègent contre la dessiccation, tout en y « apposant » un visa spécifique de l'espèce. Chez les fourmis, ces molécules sont stockées dans la glande postpharyngienne et interviennent aussi lors de la reconnaissance coloniale. Elles constituent une sorte de code-barres identitaire. Plus de 1 000 hydrocarbures différents

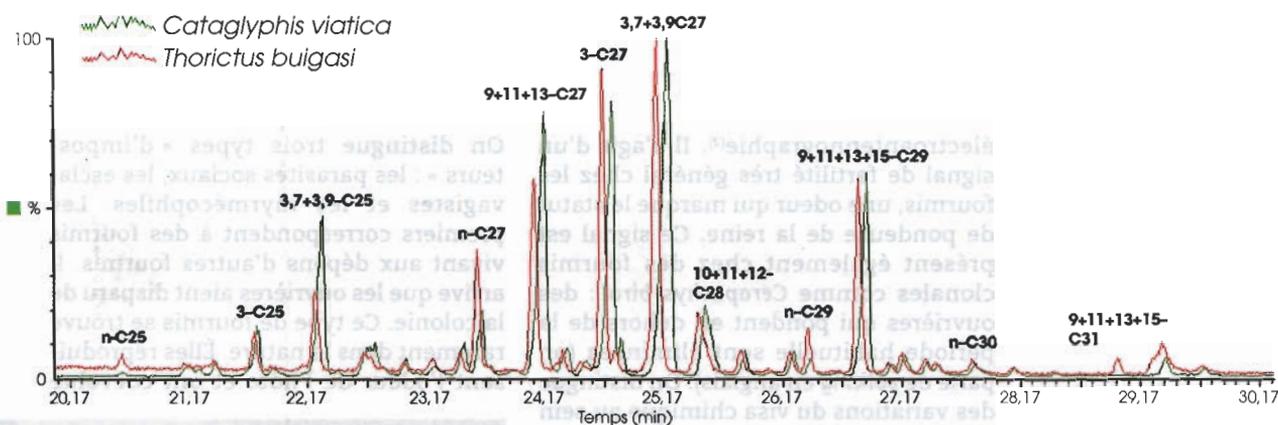


Figure 4. Chromatogrammes en phase gazeuse d'hydrocarbures culicaires de *Thorictus buigasi* (coléoptère myrmécophile, en rouge) et de son hôte fourmi *Cataglyphis viatica* (en vert). Les pics sont décalés pour la clarté mais les substances sont identiques, montrant un mimétisme chimique très fort entre le coléoptère et son hôte. © A. Lenoir.



Figure 5. Fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*), espèce invasive sur la côte méditerranéenne.

© Biosphoto / M. Moffett / Minden Pictures.

ont déjà été identifiés. Ils sont échangés en permanence entre les individus pour établir un visa colonial commun. Ce phénomène a été retrouvé chez toutes les fourmis.

Chez certaines espèces, il existe même des gardiennes, ou portières, spécialisées dans la reconnaissance des intrus. Dans le cas des supercolonies de fourmis invasives, telles que les fourmis de feu ou d'Argentine (fig. 5), qui constituent des colonies sans frontières sur des

milliers de kilomètres, la fermeture coloniale a disparu. De même chez certaines *Formica* au Japon ou en Suisse, qui fondent de grandes colonies de plusieurs centaines de dômes. La reconnaissance s'effectue par contact ou à courte distance, à moins de un centimètre. À l'intérieur de la colonie, la reine exhale une odeur particulière caractéristique de la colonie, à laquelle viennent s'ajouter diverses molécules, comme cela a été révélé récemment par





électroantennographie⁽²⁾. Il s'agit d'un signal de fertilité très général chez les fourmis, une odeur qui marque le statut de pondreuse de la reine. Ce signal est présent également chez des fourmis clonales comme *Cerapachys biroi* : des ouvrières qui pondent en dehors de la période habituelle sont éliminées (on parle de *policing* en anglais). On distingue des variations du visa chimique au sein de la colonie. Au-delà de la reine, les sous-castes, s'il y en a, tels les soldats, ont une odeur quelque peu différente. Le profil varie aussi en fonction de l'âge : les vieilles ouvrières qui sortent pour fourrager produisent plus d'alcane saturés, ce qui leur permet de lutter contre la dessiccation de leur cuticule. Il existe des fourmis agricultrices (sous-famille des attines) élevant un champignon dont elles nourrissent leurs larves. La fourmi et le champignon établissent une véritable symbiose. Les ouvrières reconnaissent leur propre souche de champignon, qui possède l'odeur de la colonie, tout champignon étranger étant rejeté.

COMMUNICATION ET TRICHERIE

Les fourmis échangent par ailleurs de la nourriture liquide – un comportement appelé trophallaxie – ainsi que des battements antennaires rapides pour s'informer de leur état de motivation alimentaire. Il ne s'agit pas toutefois d'un véritable langage. Certains coléoptères myrmécophiles (« qui aiment les fourmis ») ont appris, au cours de leur évolution, à mimer ce comportement pour quémander, par le biais de leurs antennes, de la nourriture aux fourmis ouvrières. Mais le plus souvent, la tricherie est chimique. Les signaux émis par un animal peuvent être détournés par d'autres espèces, sans se faire attaquer : elles miment l'odeur de l'hôte pour passer inaperçues.

(2) Enregistrement de l'activité électrique des antennes en réaction à un stimulus.

On distingue trois types « d'impos- teurs » : les parasites sociaux, les esclavagistes et les myrmécophiles. Les premiers correspondent à des fourmis vivant aux dépens d'autres fourmis. Il arrive que les ouvrières aient disparu de la colonie. Ce type de fourmis se trouve rarement dans la nature. Elles reproduisent l'odeur de l'hôte et ont coévolué



probablement avec lui. On peut citer *Myrmica karavajevi*, parasites sans ouvrières de *Myrmica scabrinodis* dans les Alpes, chez lesquels le profil des hydrocarbures cuticulaires est identique à celui de l'hôte. Les esclavagistes, quant à elles, utilisent les ouvrières d'une autre espèce comme travailleuses. Les fourmis n'ont pas d'odeur à la naissance. Celle-

là se forme en plusieurs jours pendant lesquels les individus « apprennent » l'odeur de leur colonie. Les fourmis esclavagistes ont tiré profit de cet apprentissage : elles ont recours à de jeunes ouvrières d'une autre espèce, kidnappées lors de raids, qui s'imprègnent à l'issue de leur métamorphose de l'odeur de leurs parents adoptifs et se



Figure 6. Un coléoptère *Thoricus bulgari* sur la tête d'une fourmi *Cataglyphis viatica*.

© F. Amor.



Les signaux émis par un animal peuvent être détournés par d'autres espèces [...] : elles miment l'odeur de l'hôte pour passer inaperçues. On distingue trois types « d'imposteurs » : les parasites sociaux, les esclavagistes et les myrmécophiles.

mettent à leur service. L'esclavagisme est indispensable à la survie des fourmis amazones *Polyergus rufescens*, à l'inverse de *Formica sanguinea* qui peut vivre sans. Cette stratégie d'exploitation d'une autre espèce est néanmoins coûteuse car la mortalité des reines fondatrices esclaves est importante. En effet, ces dernières sont tuées quand elles tentent de pénétrer dans une colonie cible de l'hôte. Chez *Polyergus*, les jeunes reines produisent très peu d'hydrocarbures (elles n'ont donc pas d'odeur) et peuvent s'introduire incognito dans la colonie hôte où elles tuent la reine et prennent l'odeur de leurs hôtes. Enfin, de nombreux myrmécophiles sont parfaitement intégrés dans la société de fourmis qui les héberge. On trouve parmi eux de multiples espèces d'insectes (coléoptères par exemple) mais aussi des cloportes et autres Invertébrés (fig. 6). Les raids de fourmis légionnaires comportent tous une cohorte comprenant aussi bien de simples profiteurs que des individus vivant en symbiose. L'intégration dans la colonie hôte est soumise alors à un mimétisme « passif » ; on parle de camouflage. Les intrus se frottent contre

l'hôte ou le lèchent, comme les *Formicoxenus* qui passent le plus clair de leur temps « à cheval » sur leur hôte. Toutefois, le véritable mimétisme existe aussi et se manifeste sous forme d'une coévolution entre la fourmi et le myrmécophile qui synthétise les mêmes hydrocarbures que son hôte. Cependant, ce cas demeure rare.

LES FOURMIS À LA RESCOUSSE

Les végétaux savent également tirer parti du langage chimique des fourmis. On sait depuis peu que les plantes peuvent communiquer entre elles. Certaines sont capables notamment d'émettre un signal d'alarme volatil à destination des plantes voisines quand elles sont attaquées par un herbivore (un insecte le plus souvent), système qui est exploité par des fourmis symbiotes de plantes. L'agression de la plante provoque des vibrations qui attirent les fourmis. De plus, les feuilles endommagées émettent des substances volatiles perçues par les fourmis, qui vont tenter de repousser l'agresseur. Il s'agit, selon les espèces de plantes, de terpènes, d'aldéhydes, d'alcools ou encore de cétones. Dans un cas, les

Des fourmis et des gènes

La recherche génomique sur les protéines de récepteurs olfactifs et gustatifs est un secteur en plein essor. On trouve chez la fourmi moissonneuse *Pogonomyrmex barbatus* (fig. I) 344 gènes de récepteurs odorants avec environ 350 glomérules* dans les lobes olfactifs du cerveau - soit un récepteur par glomérule du cerveau - incluant des gènes de récepteurs aux hydrocarbures. Chez la fourmi de feu *Solenopsis invicta* (fig. II); on en compte 297 au moins, 367 chez la fourmi d'Argentine et 430 chez la fourmi charpentière *Camponotus* (fig. III), tandis qu'il y en a 10 chez le pou, entre 50 et 60 chez la drosophile, 165 chez l'abeille, 205 chez la blatte américaine, 380 chez l'Homme et plus de 1 000 chez la souris. On estime que ce nombre considérable de gènes de récepteurs odorants est lié à l'importance de la communication chimique dans la vie sociale. Chez les fourmis mâles, qui ont une vie sociale très peu développée et une durée de vie très courte, le nombre de récepteurs est beaucoup plus faible (215 à 260 chez le mâle de *Camponotus*, 116 chez l'abeille mâle).



Figure I. *Pogonomyrmex barbatus*. © Biosphoto / C. König.



Figure II. *Solenopsis invicta*. © Biosphoto / M. Durham / Minden Pictures.



Figure III. *Camponotus*. © Biosphoto / M. Iwaniec.

* Parties du cerveau où se concentrent les neurones olfactifs. Tous les neurones d'un même récepteur se retrouvent dans le même glomérule.

Des fourmis et des gènes



scientifiques ont trouvé en outre du salicylate de méthyle ou essence de Wintergreen, un composé présentant une odeur de pomme sure très utilisé en parfumerie et comme arôme alimentaire. Dans les savanes africaines, les fourmis et les acacias offrent un bon exemple de coopération : les premières protègent les seconds de la défoliation par les

éléphants et les girafes. Si l'on supprime les fourmis, l'arbre est très rapidement consommé et finit par mourir.

La communication chimique des fourmis inspire aussi les scientifiques. Les informaticiens, par exemple, créent des algorithmes basés sur le phénomène de marquage de piste par des phéromones de ces insectes afin de résoudre certains



problèmes. Les fourmis sont donc de formidables usines chimiques. Et les scientifiques sont loin d'avoir percé tous leurs mystères. Ainsi, si l'identification chimique des molécules composant une phéromone est relativement aisée, la détermination du rôle de chaque substance demeure complexe. Identifié il y a 30 ans, le (Z)-9-décénal était considéré

Détecter la pollution grâce aux fourmis

C'est la chimiste Theo Colborn qui a découvert, en 1980, que des femelles de rapaces et certains poissons prédateurs de grands lacs des États-Unis sont défeminisés sous l'effet de substances chimiques agissant au cours du développement embryonnaire. Dans son livre *L'Homme en voie de disparition* paru en 1997, elle invente le terme *endocrine disruptor chemicals* (« perturbateurs endocriniens ») pour qualifier ces substances de synthèse, dont la formule de base comporte un noyau aromatique comparable à celui des hormones sexuelles des Vertébrés. Ces molécules interfèrent donc avec les récepteurs de ces dernières en les stimulant ou en les bloquant. De nombreuses substances sont des perturbateurs endocriniens, notamment les phtalates (utilisés comme assouplissants dans le plastique). Ces molécules sont présentes partout dans le sol, l'air, les eaux, les aliments. Elles se retrouvent sur la cuticule des fourmis et de tous les insectes du monde entier, en quantités non négligeables car la paroi lipidique de la cuticule forme un piège qui absorbe les substances lipophiles. Les fourmis constituent donc de bons indicateurs de la pollution des sols et de l'air. Plus résistantes que les Vertébrés, leur système de reconnaissance coloniale ne semble pas perturbé par ces substances, mais ces dernières entraînent tout de même des réactions de stress.

depuis comme la phéromone de piste de la fourmi d'Argentine. Mais des expériences viennent de démontrer récemment que la molécule était présente en quantité trop faible pour être détectée et qu'elle était formée en réalité de deux terpènes, le dolichodial et l'iridomyrmécine, le (Z)-9-décénal ne servant qu'à augmenter l'effet des deux autres substances. Les progrès de la biologie moléculaire ouvrent également de nouveaux horizons aux scientifiques. L'étude des gènes des récepteurs olfactifs des fourmis est aujourd'hui en plein développement (encadré *Des fourmis et des gènes*). Des perspectives thérapeutiques sont envisagées. Les fourmis fabriquent des antibiotiques et des antifongiques, pour la plupart inconnus, qui pourront peut-être servir dans le futur. Certaines produisent des alcaloïdes aux propriétés insecticides dont on a pensé un temps qu'ils pourraient être utilisés pour lutter contre la maladie d'Alzheimer. Par ailleurs, on commence aussi à explorer les venins peptidiques des ponérines tropicales ou des *Myrmecia* d'Australie (fourmis bouledogues). Les fourmis sont donc loin de nous avoir livré tous leurs secrets ! A. L.

Alain Lenoir

Alain Lenoir a effectué un doctorat d'État sur la division du travail chez la petite fourmi noire des jardins.

Il s'intéresse à la reconnaissance coloniale et spécifique chez diverses fourmis et leurs hôtes myrmécophiles qui utilisent les hydrocarbures cuticulaires. Il a travaillé à Paris 13 (campus de Villetaneuse) et il est actuellement professeur émérite à l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI) à Tours.

Pour en savoir plus

- Dahbi A., Jaisson P., Lenoir A. et Hefetz A., « Comment les fourmis partagent leur odeur », *La Recherche* n° 314, 1998, p. 32-34.
- Keller L. et Gordon E., *La vie des fourmis*, Paris, Odile Jacob, 2006.
- Lenoir A., « Les fourmis », in : *Graines de Sciences* 6, Le Pommier, 2004, p. 1-19.
- Mannin T., Espadaler X., Lenoir A. et Peeters C., *Guide des fourmis de France*, Paris, Belin, 2013.
- Passera L. et Aron S., *Les fourmis. Comportement, organisation sociale et évaluation*, Ottawa, Presses scientifiques du CNRC, 2005.
- Passera L., *La véritable histoire des fourmis*, Paris, Fayard, 2006.
- Passera L., *Le monde extraordinaire des fourmis*, Paris, Fayard, 2008.