



Un insecte généraliste : le Criquet pèlerin - Cliché H. Guyot-OPIE

Par Jacques Huignard

## LES PLANTES ET LES INSECTES : UNE LUTTE PERMANENTE - 1

# Les défenses des plantes



En haut, un insecte spécialiste : la Bruche du pois - Cliché Dimitri Geystor - En bas, des pois bruchés - Cliché R. Coutin-OPIE

Les insectes ont colonisé tous les milieux continentaux ; ils représentent le groupe animal le plus abondant et le plus diversifié. Les entomologistes estiment qu'il y aurait environ 4 à 5 millions d'espèces d'insectes vivant sur terre mais la plupart d'entre elles sont encore inconnues. Il y a environ 1 million d'espèces qui ont été déterminées et 46 % se nourrissent de végétaux. Si la biologie des espèces s'attaquant aux plantes cultivées a fait l'objet de nombreuses recherches afin de mettre en place des méthodes de contrôle de ces ravageurs, on connaît beaucoup moins celle des espèces inféodées aux plantes sauvages qui sont de loin les plus nombreuses. Une même plante peut être attaquée par différentes

espèces d'insectes phytophages qui consomment les parties végétatives (feuilles, tiges ou racines) ou les organes reproducteurs (fleurs, fruits ou graines). De nombreuses espèces d'insectes ne consomment qu'un nombre limité d'espèces végétales appartenant toutes à la même famille ; ce sont des phytophages spécialistes. Certaines espèces n'ont parfois qu'une seule plante-hôte, comme la Bruche du pois (*Bruchus pisorum*, Col. Bruchiné) qui ne se reproduit, au stade adulte que sur les gousses de pois tandis que ses larves ne se développent que dans les graines de cette

Cet article est paru initialement dans le *Bulletin trimestriel de la Société des amis du Muséum national d'histoire naturelle*, n°251, septembre 2012.



La Blatte américaine est un insecte généraliste de grande taille, très utilisé pour les études physiologiques chez les insectes - Cliché H. Guyot-OPIE

légumineuse. D'autres espèces, dites généralistes, sont capables de se nourrir aux dépens de nombreuses espèces végétales appartenant à des familles très différentes. Ainsi, le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Orth. Acrididé) est capable de consommer plus de 400 espèces végétales.

Les végétaux sont riches en sels minéraux et en glucides tels que la cellulose, l'amidon ou le saccharose mais sont généralement pauvres en protéines (à l'exception des légumineuses) et en lipides. Ils produisent des composés dits secondaires qui jouent un rôle important dans la spécificité des relations entre les insectes et leurs plantes-hôtes. Il y a une grande diversité de composés secondaires qui peuvent être classés en trois grands groupes : les composés azotés, les terpènes et les phénols. Les composés secondaires azotés comme les alcaloïdes et les glucosinolates dérivent des acides aminés. Les terpènes présents dans les huiles essentielles de nombreuses plantes aromatiques sont des hydrocarbures. Les phénols sont des alcools aromatiques. Les tanins que l'on trouve dans pratiquement toutes les parties des végétaux (écorces, racines, feuilles, fruits et graines) appartiennent à ce groupe de

composés secondaires. Les insectes phytophages ont mis en place tout un ensemble de stratégies leur permettant de découvrir leurs plantes-hôtes puis de se reproduire et de se développer à leurs dépens. Mais les plantes, soumises aux attaques des insectes phytophages, ne sont pas des organismes passifs qui se laissent manger sans réagir. Il y a eu, au cours des générations, sélection de systèmes de défense qui limitent les attaques des insectes phytophages.

#### ■ SUBSTANCES TOXIQUES CONTRE INSECTES GÉNÉRALISTES

Les composés secondaires contenus dans les plantes peuvent provoquer la mort des insectes généralistes qui

essayent de les consommer en perturbant le fonctionnement du système nerveux, du système digestif ou en empêchant la croissance larvaire.

**Les neurotoxiques.** Ils agissent directement au niveau des neurones comme l'ont montré des études réalisées chez des insectes généralistes comme la Blatte américaine *Periplaneta americana* (Blatt. Blattidé) (fig. 1) et provoquent la mort par paralysie.

Le disulfure de diméthyle est un composé soufré volatil produit par les Crucifères et les Alliées. Il agit au niveau des mitochondries (en rouge sur la figure 1) et diminue l'activité respiratoire des neurones du cerveau de la blatte, ce qui réduit la production d'énergie et entraîne une disparition de l'activité électrique de ces cellules. Les neurones ne sont plus excitables et les informations ne sont plus transmises du cerveau vers les organes. Les huiles essentielles, produites par de nombreuses plantes aromatiques, sont des mélanges de monoterpènes qui agissent sur les neurones à plusieurs niveaux :

- Ils peuvent modifier l'activité électrique des membranes des neurones qui ne sont plus excitables. Le linalool et l'estragol contenus dans l'huile essentielle de basilic (*Ocimum basilicum*, Lamiacées) agissent de cette façon.
- Ils peuvent agir au niveau des synapses en empêchant la transmission de l'influx nerveux d'un neu-

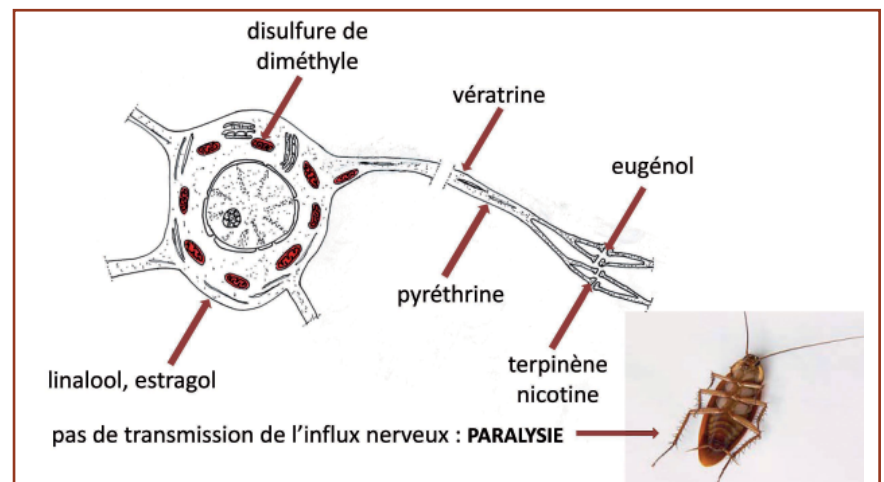


Fig. 1. Mode d'action des différents neurotoxiques d'origine végétale sur les cellules nerveuses de la blatte (d'après Huignard *et al.*, 2008).

rone à un autre. L'eugénol produit par les boutons floraux du giroflier (*Syzygium aromaticum*, Myrtacées) se fixe sur les récepteurs de l'octopamine qui est un neurotransmetteur spécifique des invertébrés<sup>1</sup> et l'empêche d'agir. Les composés terpéniques présents dans l'huile essentielle des feuilles de thé (terpinène et cinéole) inhibent l'activité d'une enzyme, l'acétylcholinestérase, qui détruit l'acétylcholine après la transmission de l'influx nerveux. Les alcaloïdes, présents dans de nombreux végétaux agissent soit en inhibant la production d'acétylcholine (cas de la nicotine), soit en modifiant l'activité électrique des neurones (cas de la vératrine produite par la Liliacée *Veratrum album*, la fausse hellébore).

Les pyréthrinés sont des substances dérivées des fleurs de différentes espèces d'Astéracées comme le pyrèthre de Dalmatie (*Tanacetum cinerariifolium*). Elles agissent en perturbant le fonctionnement des canaux sodium au niveau des membranes des neurones et empêchent la transmission des influx nerveux.

**Les antimétaboliques.** Les graines de légumineuses sont attaquées par les larves de Coléoptères Bruchinés qui consomment au cours de leur développement les réserves contenues dans les cotylédons. Ces graines contiennent des inhibiteurs de protéases qui empêchent la digestion des protéines végétales par les larves en bloquant la production des enzymes digestifs comme la trypsine. Ces inhibiteurs sont des protéines qui jouent un rôle important dans la spécificité des relations entre les Coléoptères Bruchinés et leur plante-hôte. Ainsi, les larves de l'espèce tropicale *Callosobruchus maculatus* qui consomment les graines d'une légumineuse africaine, le niébé *Vigna unguiculata* (fig. 2), meurent lorsqu'elles com-

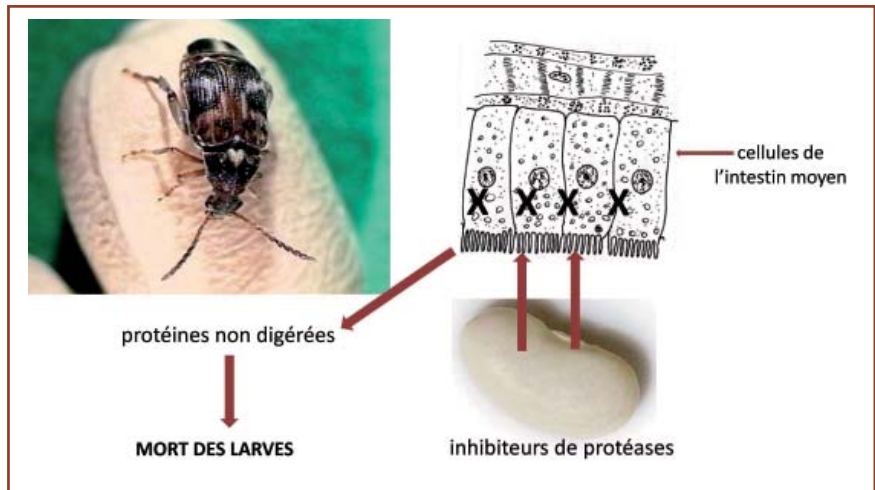
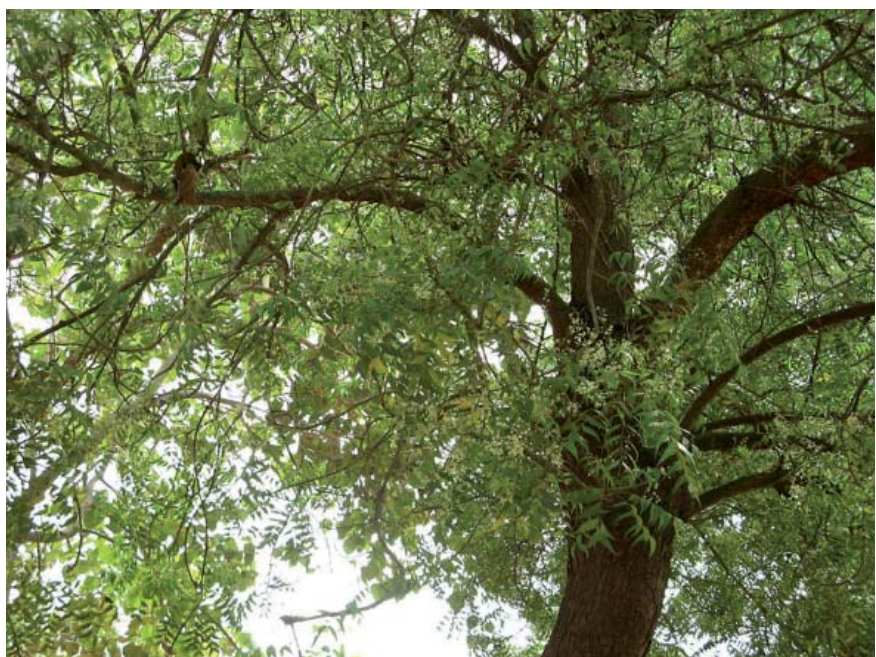


Fig. 2. Mode d'action des inhibiteurs de protéases contenus dans les graines de haricot au niveau des cellules intestinales de la Bruche du haricot. - Schéma et photos J. Huignard



Le margousier produit des fruits riches en azadirachtine ayant des propriétés insecticides  
Cliché J. Huignard

mencent à manger des graines de haricot (*Phaseolus vulgaris*). Les graines de haricot contiennent en effet des inhibiteurs de trypsine qui agissent au niveau des cellules intestinales des larves de *C. maculatus* et bloquent la production de cette protéase. Par contre les larves de la Bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* sont insensibles à ces inhibiteurs de protéases et se développent sans mortalité importante aux dépens des graines de cette légumineuse.

#### Les inhibiteurs de la croissance.

Certaines plantes produisent des substances qui agissent au niveau

des glandes endocrines régulant la croissance des insectes. Elles provoquent un arrêt ou un ralentissement de la croissance larvaire. *Agrotum conyzoides* est une plante tropicale de la famille des Astéracées qui synthétise des substances de la famille des chromènes, appelées précocènes. Lorsqu'elles sont présentes dans les plantes consommées par les insectes, elles inhibent la production d'hormone juvénile et induisent des métamorphoses anticipées. Les adultes obtenus sont de petite taille et généralement stériles. De même, le margousier (*Azadirachta indica*) également appelé neem, est un arbre tropical

1. Un neurotransmetteur est une substance libérée au niveau des synapses d'un neurone permettant la transmission de l'influx nerveux à un autre neurone.

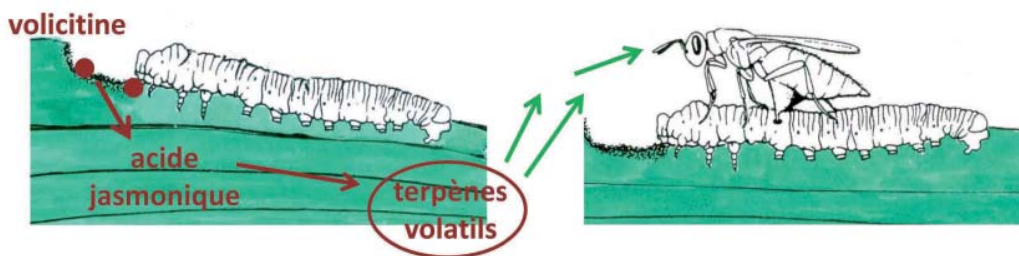


Fig. 3. La plante réagit à la présence de volicitine contenue dans la salive de la chenille en émettant des composés volatils de nature terpénique qui attirent la guêpe parasite. L'acide jasmonique est une hormone végétale qui induit la synthèse des terpènes et joue un rôle important dans la mise en place des systèmes de défense.

de la famille des Méliacées dont les graines produisent une huile contenant de l'azadirachtine. Cette substance bloque le développement larvaire des insectes en inhibant l'activité des glandes endocrines qui induisent la mue. Elle provoque un arrêt de la croissance entraînant au bout d'un certain temps la mort des larves. L'huile de neem extraite des graines est utilisée en tant qu'insecticide biologique.

#### ■ LES PLANTES APPELLENT AU SECOURS

Le maïs est attaqué non seulement par les larves de la Pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis* (Lép. Crambridé) mais également par des larves d'espèces beaucoup plus généralistes comme la Noctuelle exigüe *Spodoptera exigua* (Lép. Noctuidé) qui mange les feuilles ou la Chrysomèle du maïs *Diabrotica virgifera* (Col. Chrysomélidé) qui se nourrit aux dépens des racines. Des études récentes montrent que la plante attaquée est capable de réagir à son

agresseur en faisant appel à autre être vivant qui va la défendre.

Les mécanismes de défense mis en place par la plante ont pu être étudiés. Lorsque les larves de la noctuelle mangent les feuilles de maïs, elles broient les feuilles à l'aide de leurs pièces buccales et déposent de la salive au niveau de la brisure. La plante reconnaît alors, grâce à des récepteurs situés au niveau des membranes des cellules végétales, une substance appelée volicitine contenue dans la salive de l'insecte et réagit à la présence de cette substance. La volicitine active certains gènes dans les cellules végétales qui vont déclencher toute une série de réactions chimiques se traduisant par la synthèse puis par la libération des composés volatils de nature terpénique. Ceux-ci diffusent dans l'atmosphère et attirent les guêpes parasitoïdes *Cotesia marginiventris* (Hym. Braconidé) (fig. 3). Ces guêpes vont attaquer les larves de *S. exigua*, injectant un venin para-

lysant à l'intérieur de leur corps, puis y déposent des œufs. Le parasitoïde se développe aux dépens de la larve de noctuelle et provoque sa mort. Toutes les feuilles d'un même végétal attaqué par une larve de *S. exigua* répondent à l'attaque en émettant des terpènes. La réponse qui concerne l'ensemble du végétal est dite systémique.

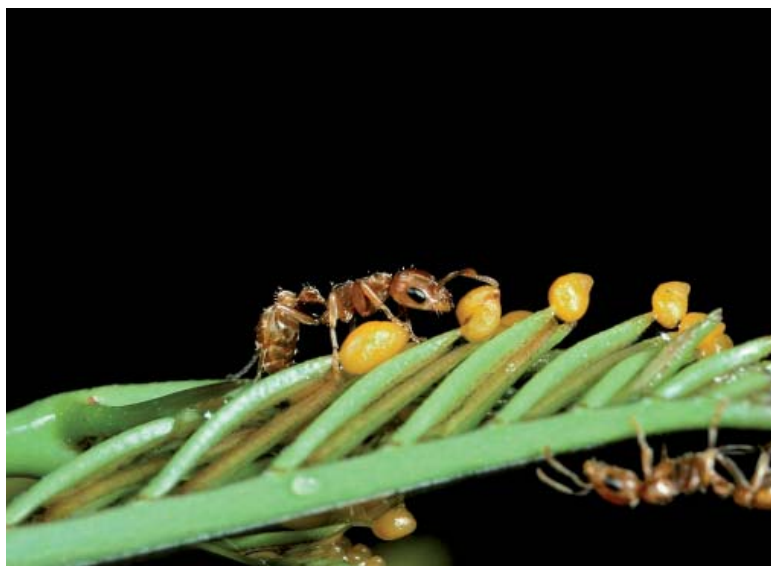
On observe une réponse du même type lorsque les racines de certaines variétés de maïs sauvages sont consommées par les larves de la Chrysomèle du maïs. Les racines réagissent en émettant des composés terpéniques qui attirent des nématodes entomophages présents dans le sol qui dévorent les larves de chrysomèle.

Les feuilles et les racines de maïs émettent notamment, lorsqu'elles sont attaquées, du (E)- $\beta$ -caryophyllène. Ce composé terpénique volatil est synthétisé grâce à l'activité d'un gène appelé « terpène synthétase TPS23 » qui ne s'exprime que lorsque les feuilles ou les racines commencent à être mangées par les larves de ces deux insectes phytophages.

De tels types de réponse à des attaques de phytophages généralistes ont été retrouvés chez un certain nombre de plantes comme le coton, le chou, le tabac ou le niébé et semblent répandus chez de nombreuses espèces végétales. Ils ont même été



Adulte de Lophyre du pin – Cliché Entomart à [www.entomart.be](http://www.entomart.be) – et larves se nourrissant de pinules de pin sylvestre – Cliché Gyorgy Csoka, Hungary Forest Research Institute, Bugwood.org, licence CC 3.0



Ci-dessus, des fourmis se nourrissent des sécrétions contenues dans les corps de Belt (en jaune) situés au niveau des feuilles de l'Acacia corne de bœuf  
Cliché © Dan L. Pearlman/EcoLibrary.org



Les fourmis sont hébergées dans les épines creuses de l'Acacia corne de bœuf  
Cliché © Daniel L. Nickrent, PhytoImages

observés récemment chez le pin sylvestre attaqué par le Lophyre du pin *Diprion pini* (Hym. Diprionidé) dont les larves se nourrissent des pinules. Lorsque les femelles pondent sur ces pinules, l'arbre réagit en modifiant la composition des composés volatils terpéniques qu'il produit. Les nouveaux composés émis attirent un petit Hyménoptère qui vient pondre à l'intérieur des œufs du lophyre et les tue. Là encore des substances encore inconnues émises avec l'œuf agissent au niveau des gènes intervenant dans la synthèse des composés terpéniques.

Ce type de défense – dit indirect car il nécessite l'aide d'un partenaire (un parasitoïde ou un prédateur) – permet une réponse rapide. La plante n'est donc pas un organisme passif ; elle peut mettre en place des systèmes de défense élaborés en réponse à des attaques de phytophages.

Des chercheurs ont évalué l'efficacité réelle de ce système de protection sur du tabac sauvage *Nicotiana attenuata* aux États-Unis. Cette plante répond aux attaques des larves du Sphinx *Manduca quinquemaculata* (Lép. Sphingidé) en émettant des composés volatils qui attirent *Geocoris pallens* (Hém. Géocoridé), punaise qui se nourrit des œufs et des chenilles du Sphinx.

De plus, les composés volatils émis dissuadent le papillon de venir pondre à nouveau sur le tabac. Les chercheurs estiment que ce système de protection réduit de plus de 90 % les attaques ultérieures. Ils sont ensuite parvenus à modifier chez le tabac l'activité de certaines enzymes intervenant dans la synthèse des composés volatils. Ils constatent que les plantes modifiées ne libèrent plus ces composés et sont fortement attaquées par les larves de sphinx car elles n'attirent plus les punaises.

#### ■ GÎTE ET COUVERT CONTRE PROTECTION

Les fourmis de par leur nombre et leurs armes (mandibules, aiguillon, glandes produisant des sécrétions chimiques) sont de redoutables prédatrices et leur simple présence peut suffire à repousser de nombreux phytophages. Le meilleur moyen d'attirer les fourmis qui ont de bonnes capacités de mémorisation est de leur fournir une nourriture abondante. Les glandes à nectar peuvent favoriser la protection des plantes en produisant un liquide riche en sucres et en acides aminés dont les fourmis sont très friandes. Mais certaines plantes ont développé au cours de l'évolution des stratégies souvent surprenantes pour héberger

les colonies de fourmis et les nourrir. L'acacia corne de bœuf *Acacia cornigera* est un arbre tropical et subtropical de la famille des Fabacées que l'on rencontre en Amérique centrale. Il ne synthétise pas de composés secondaires toxiques mais a sélectionné un autre système de défense. Cet acacia possède à la base de chaque feuille deux épines en forme de corne de bœuf dont la partie centrale est creuse. Chaque épine héberge une colonie de *Pseudomyrmex ferruginea* (Hym. Formicidé) qui assure la protection de l'arbre contre les animaux défoliateurs. Les ouvrières sont actives jour et nuit et se déplacent sur les branches. Elles mordent avec leurs mandibules les vertébrés ou invertébrés qui essaient de consommer les feuilles et injectent un venin douloureux produit par des glandes situées à l'extrémité de leur abdomen. Elles mangent également les feuilles des jeunes pousses se développant autour de l'acacia et rédui-

sent la compétition avec les autres plantes se trouvant autour de l'arbre. En contrepartie, l'arbre fournit un gîte aux colonies de fourmis et leur apporte de la nourriture : des sucres produits par des nectaires situés à la base des feuilles, des lipides et des protéines contenus dans des nodules se trouvant au niveau de certaines feuilles appelés corps de Belt. Il s'agit bien dans ce cas, d'une véritable symbiose, c'est-à-dire d'une association à bénéfices réciproques (Passera, 2006).

Les fourmis *Crematogaster mimosae* protègent les feuilles d'*Acacia depranobium* contre les vertébrés végétariens au Kenya. Lorsqu'une girafe commence à manger une feuille, les ouvrières sortent de leur nid et se précipitent sur elle. Les fourmis émettent alors un signal chimique pour appeler leurs congénères qui arrivent en grand nombre. Les ouvrières mordent la tête de la girafe à l'aide de leurs mandibules puis retournent leur abdomen au-dessus de leur tête et injectent un puissant venin dans la plaie. L'effet est immédiat : la girafe s'éloigne rapidement de l'arbre en secouant

la tête. Cette association entre l'acacia et les fourmis est cependant fragile et ne se maintient que si les vertébrés exercent une pression importante sur les plantes. Si l'on entoure les acacias avec des barrières afin d'éviter la consommation des feuilles par les girafes, les arbres forment moins d'épines et les nectaires régressent, ce qui entraîne la disparition des fourmis protectrices. Ces arbres sont alors attaqués par de petits mammifères, par des insectes xylophages et par d'autres espèces de fourmis peu agressives, ce qui limite leur croissance. Par contre, les arbres qui ne sont pas entourés de barrières sont beaucoup plus grands et plus vigoureux car ils hébergent des colonies de *C. mimosae* qui assurent une protection efficace en repoussant les girafes.

■ Toutes ces études montrent que plantes ne sont donc pas des organismes passifs qui sont consommées sans réagir aux attaques des phytophages. Il y a eu sélection au cours du temps de mécanismes de défense essentiellement basés sur la synthèse de composés chimiques

agissant à des niveaux très divers et pouvant assurer une protection efficace. ■

À suivre...

#### Bibliographie

- Cortesero A.M., Thibout E., 2004. Des insectes gardiens des plantes. *La Recherche*, 380, 54-58.
- Huignard J., Lapied B., Dugravost S., Magnien-Robert M., Ketoh K., 2008. Modes d'actions neurotoxiques des dérivés soufrés et de certaines huiles essentielles et risques liés à leur utilisation. In : *Les biopesticides d'origine végétale*. Éd. Lavoisier
- Passera L., 2006. *La véritable histoire des fourmis*. Éd. Fayard

■ À relire : Les Fourmis et les plantes, un exemple de coévolution, *Insectes* n°83, 1991(4), en ligne à : [www.inra.fr/opie-insectes/pdf/i83jolivet.pdf](http://www.inra.fr/opie-insectes/pdf/i83jolivet.pdf)

#### L'auteur

Jacques Huignard est professeur honoraire à l'université de Tours. Il a dirigé l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI : unité de recherche associée au CNRS) dans cette université et a réalisé des recherches sur la biologie, la physiologie et le contrôle des insectes ravageurs des plantes.

### EN ÉPINGLE - voir les autres Épingles à [www7.inra.fr/opie-insectes/epingle13.htm](http://www7.inra.fr/opie-insectes/epingle13.htm)



Une blatte nettoie ses antennes - Cliché Ayako Wada-Katsumata

#### ■ LES ANTENNES TOUJOURS PROPRES !

Pourquoi exactement ? Trois exemples : la Mouche domestique se passe les pattes avant par dessus la tête et frotte ses antennes, tout écolier a pu l'observer ; la fourmi charpentière brosse l'antenne du même côté avec sa brosse spéciale, attachée au tarse avant, qu'elle se fourre ensuite dans la bouche pour la nettoyer ; la blatte attrape l'antenne opposée avec la patte avant, la plie et l'amène à la bouche où elle est récurée de bas en haut. Tous ces gestes sont répétés scrupuleusement, même dans un environnement propre.

Pour savoir exactement à quoi sert ce toilettage, une équipe de l'université de Caroline du Nord (États-Unis) a procédé à une série d'expériences, principalement sur la Blatte américaine *Periplaneta americana* (Blatt. Blattellidé). Quelques individus adultes se sont vus munis d'une rondelle collée à la base d'une antenne, d'autres ont eu les pièces buccales collées – de quoi les empêcher de débarbouiller 1 ou 2 antennes. Les substances présentes sur l'antenne ont été analysées, les performances des sensilles chimioréceptrices mesurées.

Il en ressort que si les antennes ne sont pas nettoyées comme il faut, la cire épicuticulaire (à base d'hydrocarbures) qu'elle sécrète à l'instar de tout le tégument mais en abondance particulière s'accumule et perturbe l'olfaction. Cette cire, indispensable à l'imperméabilisation de l'insecte, porte des signaux de reconnaissance intraspécifiques ; elle module aussi la rétention des composés chimiques indispensables – les phéromones, les odeurs de nourriture – et accumule les substances nocives. Les expériences sur *Blatella germanica* (Blatt. Blattellidé), sur *Camponotus pennsylvanicus* (Hym. Formicidé) et sur *Musca domestica* (Dip. Muscidé) ont confirmé ce résultat.

A.F.

À lire : Katalin Böröczkety *et al.*, 2013. Insects groom their antennae to enhance olfactory acuity, *PNAS*, vol. 110 n° 6