

La science-fiction passée au crible de la science !



PAR LES
CHRONIQUEURS
DE LA RUBRIQUE
SCIENCE & FICTION
DE **SCIENCE**

Un ouvrage idéal pour
découvrir les sciences
qui gouvernent notre
monde... en compagnie
de Godzilla, Superman
et des extraterrestres !

Belin:

Inscrivez-vous à la newsletter sciences sur editions-belin.com

La guêpe émeraude et

Christie Wilcox

En injectant son venin, une petite et chatoyante guêpe met à sa merci une blatte et fait de celle-ci un repas vivant pour sa progéniture. Un très bel exemple de manipulation neurologique d'une espèce par une autre.

J'ignore si les blattes rêvent, mais j'imagine que si c'est le cas, les guêpes émeraude *Ampulex compressa* et leurs espèces voisines figurent en bonne place dans leurs cauchemars. Ces petites guêpes tropicales solitaires manipulent le système nerveux de leurs proies de façon à ce que ces dernières servent de garde-manger vivant à leur progéniture fraîchement éclos. C'est la matière de certains films d'horreur, presque littéralement : ces espèces de guêpe ont inspiré les terrifiants *chestbusters* (les « éclateurs de poitrine ») de la franchise *Alien*.

L'histoire est à la fois simple et extravagante : la guêpe femelle prend le contrôle du système nerveux de la blatte qu'elle donne à manger à sa progéniture, laquelle blatte perd alors toute crainte ou volonté d'échapper à son destin. Mais contrairement à ce que l'on voit sur le grand écran, ce n'est pas un virus incurable qui transforme une blatte bien vivante en un zombie décérébré, mais un venin. Pas n'importe quel venin non plus : un venin spécifique, qui agit comme une drogue sur le système nerveux de la blatte.

En leur cœur, les systèmes nerveux, qu'il s'agisse de ceux des humains ou des insectes, ne sont que des assemblages de neurones. Il existe potentiellement des millions de composés venimeux pouvant activer ou

désactiver des neurones. Il ne devrait donc pas être surprenant que certains venins puissent agir sur le système nerveux central qui, chez les humains notamment, est soigneusement protégé. Certains de ces venins sont injectés loin du cerveau et parviennent à faire leur chemin en franchissant les barrières physiologiques de protection, telles que la barrière hématoencéphalique chez l'homme. D'autres sont injectés directement dans le cerveau, comme dans le cas de la guêpe émeraude et sa blatte-hôte qu'elle transforme en zombie.

La blatte paralysée, puis transformée en zombie

Les guêpes émeraude constituent un exemple magnifique, bien que terrifiant, de la façon dont les venins neurotoxiques peuvent faire beaucoup plus que paralyser. Elles sont étudiées depuis bon nombre d'années par les biologistes, en particulier par Frédéric Libersat et ses collègues à l'université Ben Gourion, en Israël.

La guêpe, dont la taille est à peu près la moitié de celle de sa victime, commence son attaque par le dessus ; elle fonde sur la blatte et la saisit avec ses pièces buccales,



sa blatte-zombie



LES GUÊPES ÉMERAUDE

(ici *Ampulex compressa*) sont des espèces éblouissantes, tant sur le plan visuel que sur le plan évolutif. Leur venin leur permet de contrôler le comportement d'autres insectes, afin d'assurer l'alimentation de leur progéniture.

L'ESSENTIEL

- La guêpe émeraude se sert de blattes vivantes pour nourrir ses larves.
- Les guêpes de ce type ont un venin particulier qui, injecté dans la tête d'une blatte, modifie le comportement de l'insecte et son métabolisme.
- L'insecte ainsi zombifié constituera un repas vivant lorsque la larve éclore de l'œuf déposé par la guêpe sur la blatte.
- De nombreuses autres espèces de guêpes ont des venins qui leur permettent de parasiter des araignées, des chenilles, voire des larves d'autres guêpes.

© blog.livedoor.jp/antroom

■ L'AUTEURE



Christie WILCOX est postdoctorante en biologie cellulaire et moléculaire à l'université

de Hawaï, où ses recherches portent sur les animaux venimeux. Elle se consacre par ailleurs à la vulgarisation scientifique.

Cet article est tiré et adapté de son ouvrage *Venomous : How Earth's Deadliest Creatures Mastered Biochemistry*, édité par Scientific American/Farrar, Straus and Giroux, LLC [©Christie Wilcox, 2016].

tandis qu'elle introduit dans le thorax de sa proie, entre les deux pattes antérieures, son ovipositeur (l'aiguillon qui lui permet de déposer ses œufs, et aussi d'injecter du venin). Cette piqûre ne prend que quelques secondes et les composants venimeux fonctionnent vite. La blatte est ainsi temporairement paralysée, ce qui laisse à la guêpe le temps de piquer sa proie une seconde fois avec plus de précision. Avec son long aiguillon, elle injecte son venin neurotoxique dans deux régions de ses ganglions cérébraux, l'équivalent du cerveau chez l'insecte.

Une piqûre de haute précision

L'aiguillon de la guêpe est si bien adapté à sa victime qu'il est sensible à l'endroit où il se trouve à l'intérieur de la tête de la blatte. À partir de signaux mécaniques et chimiques, l'aiguillon cherche à tâtons son chemin à travers la tête de la blatte et l'enveloppe ganglionnaire (l'équivalent pour l'insecte d'une barrière hémato-encéphalique), jusqu'à trouver l'endroit exact visé. Les deux régions cérébrales ciblées ont beaucoup d'importance pour la guêpe : quand, dans des expériences, on les retirait préalablement de la blatte, la guêpe prenait beaucoup de temps à rechercher, avec son aiguillon encastré, les parties cérébrales manquantes.

Les ganglions de la blatte étant piqués, le contrôle cérébral commence. Tout d'abord, la victime fait sa toilette, et rien d'autre : dès que les pattes antérieures de la blatte récupèrent de la paralysie temporaire provoquée par la piqûre sur le corps, une routine méticuleuse de toilettage commence, qui dure environ une demi-heure. Les scientifiques ont montré que ce comportement est spécifique du venin : un percement des ganglions cérébraux, un stress général de la blatte ou un contact sans piqûre avec la guêpe ne provoquaient pas la même pulsion hygiénique. Ce besoin soudain de propreté peut aussi être provoqué par un afflux de dopamine dans les ganglions nerveux de la blatte, et l'on sait aujourd'hui que le composé de type dopamine du venin est la cause de ce comportement de toilettage compulsif.

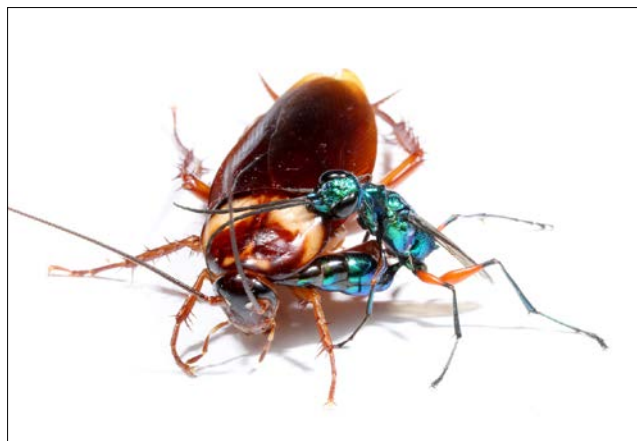
On ignore si ce toilettage est une caractéristique bénéfique du venin constituant une adaptation, ou s'il s'agit simplement d'un effet secondaire. D'après certains chercheurs, ce comportement assure que le garde-manger dont bénéficiera la fragile progéniture de la guêpe sera dépourvu de champignons et de bactéries ; d'autres chercheurs pensent qu'il permet d'occuper la blatte, le temps que la guêpe poursuive et termine son œuvre.

La dopamine est l'un de ces produits chimiques intrigants que l'on retrouve dans le cerveau d'une grande variété

UNE BLATTE ENTIÈREMENT SOUMISE À LA GUÊPE ET À SA PROGÉNITURE

Deux piqûres

Une première piqûre dans un ganglion nerveux du thorax paralyse pendant une ou deux minutes la blatte, le temps pour la guêpe d'effectuer sa seconde piqûre (*ci-dessous*), qui doit être beaucoup plus précise : celle-ci vise deux parties déterminées des ganglions cérébraux de la tête.



Mise à l'abri dans un terrier

La blatte, après envenimation par la seconde piqûre de la guêpe, devient une sorte de mort-vivant : elle ne cherche pas à fuir, n'oppose aucune résistance et effectue des mouvements lents et désordonnés. La guêpe en profite pour traîner sa proie jusqu'au terrier qu'elle a trouvé.



d'animaux, et qui exerce des effets vitaux. Dans nos têtes, elle fait partie du « système de récompense » : des afflux de dopamine sont déclenchés par des choses agréables. Comme la dopamine nous procure une sensation de bien-être, elle peut être fantastique, mais elle est également liée à des comportements addictifs et aux sensations obtenues avec des drogues telles que la cocaïne. Il nous est impossible de savoir si une blatte ressent aussi une bouffée d'euphorie quand son cerveau est inondé de dopamine, mais je préfère penser que c'est le cas, étant donné la triste fin que l'insecte va connaître...

Pendant que la blatte se toilette, la guêpe l'abandonne pour rechercher un endroit approprié. Elle a besoin d'un terrier où elle puisse laisser son œuf et la blatte-zombie, et il lui faut un peu de temps pour trouver le bon endroit et le préparer. Quand elle revient, une trentaine de minutes plus tard, le venin a fait son effet – la blatte a perdu toute volonté de s'enfuir.

En principe, ce stade est temporaire : si l'on retire de la blatte envenimée l'œuf qu'y dépose la guêpe, c'est-à-dire avant que la larve puisse éclore, se nourrir et se métamorphoser, la zombification disparaît en une semaine. Malheureusement pour

la blatte envenimée, ce laps de temps est trop long. Avant que son cerveau ait une chance de revenir à la normale, la guêpe nouveau-née s'est déjà rassasiée et a tué son hôte.

Les capacités motrices de la blatte envenimée restent intactes, mais l'insecte ne semble tout bonnement pas disposé à les utiliser. Ainsi, le venin n'engourdit pas les sens de l'animal – il modifie la façon dont son cerveau y réagit. Les scientifiques ont même montré que les stimuli qui déclenchent normalement un comportement de fuite, comme lorsqu'on touche les ailes ou les pattes de la blatte, parviennent toujours au cerveau de l'insecte ; ils ne suscitent simplement pas de réaction comportementale. En fait, le venin modifie certains neurones de telle façon qu'ils deviennent moins actifs et réactifs. C'est ce qui conduit chez la blatte à ce soudain manque de crainte et cette absence de résistance à se faire enterrer et dévorer vivante.

Cette activité du venin nécessite des toxines qui ciblent certains canaux ioniques présents sur la membrane des neurones, les canaux chlorure GABA-dépendants. Le GABA, ou acide γ -aminobutyrique, est l'un des plus importants neurotransmetteurs

Le venin n'engourdit pas les sens de la blatte, mais modifie la façon dont son cerveau y réagit

Un œuf fixé au bon endroit

Après avoir placé la blatte dans un terrier, la guêpe pond et colle l'œuf à la base d'une patte, endroit qui a peu de chance d'être perturbé par les éventuels mouvements résiduels de la proie. Quand la larve (dans le cercle rouge) éclôt, elle perce la cuticule de l'insecte et se nourrit d'hémolymphe.



Une croissance larvaire dans l'abdomen de la blatte

Quelques jours après, la larve pénètre dans l'abdomen qu'elle dévore peu à peu. Environ un mois plus tard, elle s'enveloppe d'un cocon (ci-contre) pour se métamorphoser en une jeune guêpe adulte, qui sortira de la blatte et entamera un nouveau cycle de vie parasitoïde.



dans le système nerveux des animaux. C'est un neurotransmetteur inhibiteur. Si l'on assimile l'activité neuronale à une fête, alors le GABA est un rabat-joie. En effet, en déclenchant l'ouverture des canaux chlorure, il diminue la capacité d'un neurone à s'activer.

Expliquons comment. Quand les canaux chlorure s'ouvrent, les ions chlorure (Cl^-) peuvent traverser la membrane du neurone. Que se passe-t-il lorsque, de surcroît, un canal sodium (Na^+) s'ouvre, processus qui constitue normalement le début de

C'est ce système d'engourdissement que met en œuvre la guêpe pour soumettre la blatte à sa volonté. Son venin contient du GABA et deux autres composés qui activent aussi les canaux chlorure, la β -alanine et la taurine. Ces dernières agissent également de façon à empêcher l'absorption du GABA par les neurones, ce qui prolonge l'effet inhibiteur.

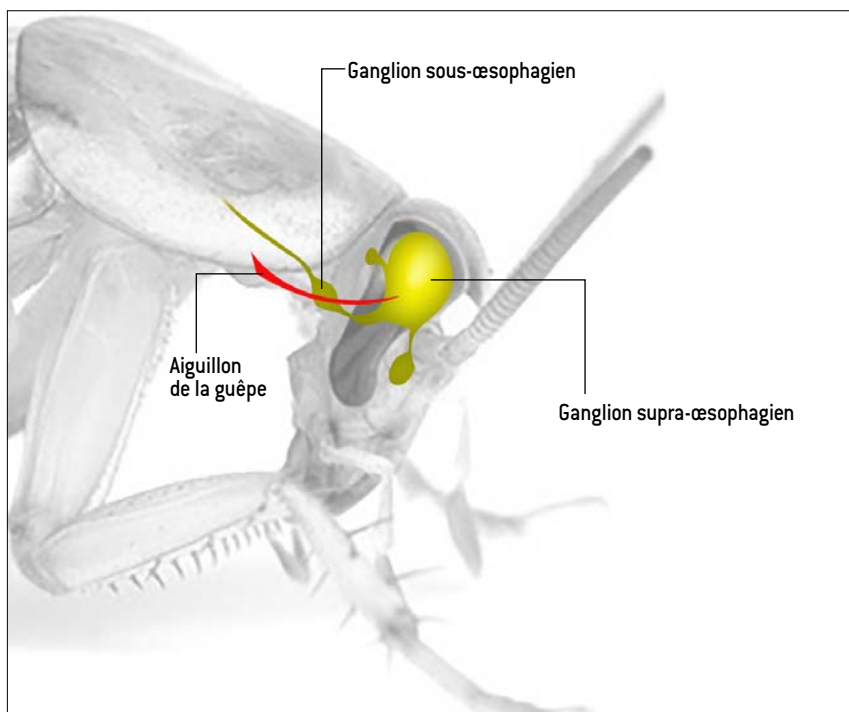
Si ces composés du venin sont capables d'inhiber l'activité cérébrale qui ferait fuir la blatte, ils ne peuvent pas se diriger d'eux-mêmes vers les parties appropriées des ganglions cérébraux. Aussi la guêpe doit-elle les injecter directement au bon endroit. Heureusement pour elle, grâce à une opportune bizarrerie de la nature, le venin qui zombifie le cerveau de la blatte produit aussi la paralysie temporaire nécessaire à la préparation de l'injection dans la tête. En effet, le GABA, la β -alanine et la taurine inactivent aussi temporairement les neurones moteurs. Par conséquent, la guêpe n'a besoin que d'un seul venin pour réaliser deux tâches très différentes.

Une proie devenue calme et passive, au métabolisme ralenti

Sa proie étant désormais calme et passive, la guêpe peut refaire son plein d'énergie en brisant les antennes de la blatte et en aspirant par les extrémités coupées un peu d'hémolymphe, le liquide nutritif qui baigne le corps de l'insecte (une sorte de sang, mais qui ne transporte pas d'oxygène). Puis elle conduit sa victime jusqu'à sa dernière demeure en utilisant ce qu'il reste d'une antenne, à la façon d'un cavalier qui guide son cheval avec ses rênes. Une fois à l'intérieur de son terrier, elle fixe un œuf à la base d'une patte de la blatte, puis ferme le terrier à l'aide de petits objets ou débris (feuilles, petits cailloux...).

Comme si cette manipulation cérébrale n'était pas suffisamment cruelle, le venin de la guêpe produit un autre effet sur la blatte : il ralentit son métabolisme. La blatte vivra ainsi suffisamment longtemps pour être dévorée encore fraîche et pleine de nutriments.

Une façon de mesurer le métabolisme est d'évaluer la quantité d'oxygène consommée au cours du temps, puisque tous les animaux brûlent de l'oxygène pour



D'après F. Libersat et R. Gall, *Journal of Experimental Biology*, vol. 216, pp. 47-55, 2013

Précision chirurgicale

Lorsqu'elle pique une seconde fois sa blatte, la guêpe émeraude vise deux régions précises dans la tête de l'insecte : le ganglion cérébral supra-œsophagien et le ganglion sous-œsophagien. C'est cette seconde piqure qui transforme la blatte en un insecte mort-vivant.

la cascade de réactions formant l'activation neuronale ? Comme les ions négatifs tendent à accompagner des ions positifs, les ions chlorure traversent la membrane cellulaire à la même vitesse, ou presque, que les ions sodium. Ainsi, lorsque les canaux chlorure sont ouverts, même si un neurone reçoit l'ordre de s'activer, le potentiel d'action est stoppé net.

Le GABA n'est cependant pas un inhibiteur total. Les canaux chlorure ne compensent pas entièrement l'effet des canaux sodium, de sorte qu'un stimulus puissant peut surmonter l'effet inhibiteur.

produire de l'énergie à partir des aliments ou des réserves de graisse. Les scientifiques ont découvert que la consommation d'oxygène par des blattes ayant été piquées est beaucoup plus faible que celle de leurs congénères en bonne santé. Ils pensaient initialement que ce métabolisme réduit était la conséquence de la faible mobilité des victimes. Toutefois, ils ont constaté que quand on provoque une paralysie de la blatte à l'aide de substances chimiques ou en sectionnant des neurones, l'insecte vit moins longtemps qu'une blatte envenimée par la guêpe émeraude.

La clé de cette survie prolongée semble être l'hydratation. On ne sait pas exactement comment le venin agit pour que la blatte garde son eau et reste hydratée, mais il fait en sorte que quand la larve de guêpe éclôt de son œuf, son repas soit prêt à être consommé. Cette larve commence par sucer l'hémolymph de l'insecte puis, quelques jours après, s'introduit dans l'abdomen pour le dévorer, avant de se métamorphoser en pupes. Environ un mois après, une nouvelle guêpe émerge du terrier, laissant derrière elle la carcasse de la blatte.

Le venin de la guêpe émeraude n'est qu'un exemple, poussé à l'extrême, de venin neurotoxique. On connaît plus de 130 espèces dans le genre auquel appartient la guêpe *Ampulex compressa*. Le genre *Ampulex* lui-même appartient à un groupe très vaste et très divers de guêpes, qui compte des dizaines de milliers d'espèces (et peut-être des centaines de milliers ou plus, selon certains spécialistes), connues pour l'effet manipulateur de leur venin. Toutes ont un cycle de vie macabre : au stade adulte, elles se nourrissent comme les autres guêpes et abeilles, mais au stade larvaire, elles se nourrissent d'autres animaux. Elles ne sont ni tout à fait indépendantes ni tout à fait parasites – ce sont des « parasitoïdes ».

Un grand nombre d'espèces manipulatrices

Les blattes ne sont pas leurs seules cibles ; il existe des guêpes parasitoïdes qui déposent leurs œufs sur ou dans des araignées, des chenilles, des fourmis.

La guêpe *Agriotypus*, qui vit dans l'hémisphère Nord tempéré, plonge sous l'eau pour fixer ses œufs sur des larves de phryganes (ou trichoptères, des insectes ressemblant à des papillons de nuit) et peut

rester immergée jusqu'à une quinzaine de minutes pour accomplir sa tâche.

Les guêpes *Lasiochalcidia* d'Europe et d'Afrique se jettent courageusement dans les mandibules cauchemardesques d'un fourmilion, les écartent et déposent leurs œufs dans sa gorge.

Il existe même des guêpes dites hyperparasitoïdes qui parasitent d'autres guêpes semblables à elles, à l'instar des espèces euro-asiatiques du genre *Lysibia* : celles-ci

Il existe des guêpes dites hyperparasitoïdes qui parasitent d'autres guêpes parasitoïdes

détectent des chenilles parasitées par des guêpes parasitoïdes du genre *Cotesia* et déposent leurs œufs dans des larves de guêpe qui viennent juste de se métamorphoser en pupes. Dans certains cas, de multiples espèces de guêpes se parasitent l'une l'autre, conduisant à une poupée russe d'interactions parasites.

Et pour assurer la sécurité de leur passage de l'état larvaire à l'âge adulte, ces guêpes obtiennent de leur hôte souvent davantage qu'un simple repas. Ainsi, une espèce transforme ses chenilles-hôtes en gardes du corps morts-vivants qui vont défendre de jeunes guêpes métamorphosées en pupes et venant de se nourrir de leur corps. Une larve d'une autre espèce force son araignée-hôte à tisser une toile qui protégera son cocon, juste avant de tuer l'araignée.

Tandis que les guêpes de cette famille peu ordinaire ont poussé à la perfection l'art du contrôle cérébral, il existe d'autres animaux venimeux dont les toxines modifient les états mentaux. Il existe même des espèces dont les composés neurotoxiques traversent notre propre barrière hématoencéphalique, un exploit qu'aucun venin de guêpe n'accomplit. Mais contrairement aux blattes, nous autres *Homo sapiens* avons une étrange affinité pour les substances qui perturbent notre cerveau. Alors que les blattes fuient celles qui cherchent à leur détraquer le cerveau, certaines personnes sont disposées à payer plusieurs centaines d'euros pour une dose de produit qui leur fera connaître une expérience similaire. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Kaiser et F. Libersat, **The role of cerebral ganglia in the venom-induced behavioral manipulation of cockroaches stung in the parasitoid jewel wasp**, *Journal of Experimental Biology*, vol. 218(7), pp. 1022-1027, 2015.

F. Libersat et R. Gal, **What can parasitoid wasps teach us about decision-making in insects**, *Journal of Experimental Biology*, vol. 216, pp. 47-55, 2013.

F. Thomas et F. Libersat, **Les parasites manipulateurs**, *Pour la Science*, n° 391, pp. 36-42, mai 2010.

R. Gal et F. Libersat, **A wasp manipulates neuronal activity in the sub-esophageal ganglion to decrease the drive for walking in its cockroach prey**, *PLoS One*, vol. 5(4), article e10019, 2010.

Les



© James Gurney