

Bactéries (en vert) mises en évidence par un procédé d'électrofluorescence dans le tube digestif du ver nématode - Cliché Mathieu Sicard

Par Pierre-Olivier Maquart, Denis Richard et Mathieu Sicard

La symbiose entre nématodes et bactéries : une arme fatale contre les larves d'insectes

Parmi les nématodes (un groupe de petits vers), plusieurs espèces vivent aux dépens des insectes ; certains sont d'usage courant en lutte biologique. Les *Steinernema* consomment indirectement leurs hôtes, des larves souterraines d'insectes dont les Coléoptères, mais n'ont pas toutes les armes pour les tuer. Pour ce faire, ils leur inoculent une bactérie *Xenorhabdus*, avec laquelle ils vivent en symbiose, qui va les aider à mettre à mort la larve.

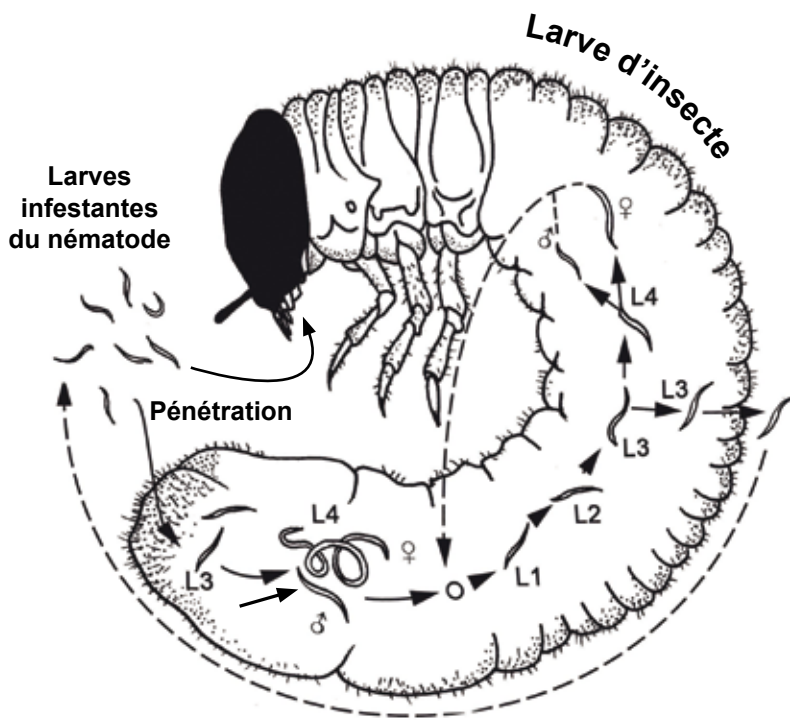
La bactérie, qui ne peut survivre hors du corps d'un hôte, ne se multiplie activement et ne devient pathogène que dans un seul milieu : l'hémolymphe d'un insecte. À la suite d'une longue co-évolution, les génomes des nématodes et des bactéries se sont

adaptés pour travailler ensemble. Au cours de ce « dialogue évolutif » qui a façonné cette interaction à bénéfice mutuel (mutualisme), la morphologie du tube digestif du ver s'est modifiée ce qui lui permet d'héberger ses hôtes, dans un diverticule appelé « vésicule » (si-

tué entre l'œsophage et le segment proximal de l'intestin) à l'intérieur duquel les bactéries entomopathogènes s'agrègent autour d'une structure intra-vésiculaire : cette compartimentation soigneuse empêche une propagation accidentelle de la bactérie « tueuse » dans le ver. Longues de quelques centaines de micromètres, les larves infestantes du ver ne se nourrissent pas. Leur système digestif est d'ailleurs clos à ses deux extrémités et son seul contenu est constitué par les bactéries symbiotiques vivant au ralenti dans la vésicule. Ainsi armées de leurs bactéries, elles arpentent le sol à la recherche de quelques infortunées larves d'insectes (telles que celles des Coléoptères *Otiorhynchus* ou des Rutelidés¹). Pénétrant par l'anus, la bouche ou même

1. Plusieurs *Otiorhynchus* (Col. Curculionidés) sont des ravageurs : *O. cribriolis*, *O. ligustici* et *O. sulcatus* sont respectivement les Otiorynches de l'olivier, de la luzerne et de la vigne. Les larves (apodes) grignotent les racines tandis que les imagos font des encoches sur le bord des feuilles.

Les larves rhyzophages des Rutéliidés (ou Col. Scarabéidés Rutélinés) sont des vers blancs ; les adultes dévorent les feuilles. Exemple agricole : le Hanneton du blé, *Anisoplia austriaca*.



Cycle de vie des nématodes *Steinernema* - Dessin BD

les stigmates respiratoires de leurs hôtes, tel un cheval de Troie, les partenaires maléfiques vont pouvoir commencer l'attaque. Une fois à l'intérieur du tube digestif de l'insecte, la larve du nématode alors au stade L3 entame sa quatrième mue, qui lui permet de perdre la double cuticule qui la protégeait dans le sol, ouvrant ainsi son tube digestif. Poursuivant son exploration, le nématode passe du tube digestif de l'insecte à sa cavité

générale, rentrant ainsi au contact de l'hémolymphe. La stimulation engendrée par cette ressource alimentaire entraîne la libération par le ver des bactéries *Xenorhabdus* contenues dans son système digestif. Celles-ci, se développent alors avec une rapidité sans pareille.

Dans les premières heures de l'attaque, l'armée bactérienne peut certes accuser un peu de perte dans ses rangs, car le système immuni-

Un lien indéfectible ?

Lorsque plusieurs espèces de vers ont pris possession d'un même insecte, elles y libèrent plusieurs souches de bactéries *Xenorhabdus*. Lors du ré-appariement du couple ver/bactérie, il pourrait arriver que certains vers se « trompent » de partenaire et réintègrent une souche de *Xenorhabdus* qui ne leur était pas destinée : c'est une transmission horizontale (à l'inverse de la transmission verticale classique, où la souche de bactérie vient des parents). De tels accidents, même s'ils sont détectés à l'échelle évolutive, sont excessivement rares ! En effet, si les *Xenorhabdus* que rencontre un ver sont éloignés génétiquement de leur symbiote habituel, il est fort peu probable que l'interaction soit très défavorable pour le nématode : la plupart du temps les bactéries iront même jusqu'à tuer l'hôte-nématode qui n'est pas le leur. Cela s'explique facilement par le fait que les nématodes et les insectes sont parents (Nématodes et Arthropodes font partie du super embranchement des Ecdysozoaires) et que le cocktail de toxines produit par les bactéries pour tuer l'insecte peut aussi tuer aisément un nématode. Ainsi, moins le ver est adapté grâce la coévolution à un génotype de bactérie symbiotique, moins il sera adapté à résister à ses toxines... qui pourront aller jusqu'à avoir raison de lui.

taire de l'insecte se défend, mais en vain : rapidement les cellules immunitaires (hémocytes) ne phagocytent plus. Cette annihilation des cellules immunitaires a lieu en moins de 3 heures, car les bactéries grâce aux nombreuses toxines qu'elles produisent, tuent les cellules d'insectes (jusqu'à 50% des hémocytes sont ainsi détruits). Les autres cellules immunitaires de l'insecte – en particulier celles du corps gras qui produisent des facteurs humoraux (notamment des peptides antimicrobiens) – sont également mises hors d'état de nuire. Finalement la larve de l'insecte meurt, son système immunitaire anéanti. Le buffet étant ainsi ouvert, les nématodes peuvent commencer à se nourrir des restes de la larve d'insecte. Ils ingurgitent alors la ressource nutritive acquise grâce à l'action des bactéries mais mangent également quelques bactéries elles-mêmes. Devenus adultes, ils peuvent se reproduire : le mâle s'enroule autour de la femelle (plus grosse et plus allongée) et enfonce un spi-



Émergence en masse du nématode *Steinernema scapterisci* chez la courtilière américaine *Scapteriscus vicinus* (Orth. Gryllotalpidé) - Cliché université de Géorgie, Bugwood.org, licence CC-A 3.0

Et si les malfaiteurs étaient des bienfaiteurs ?

L'« association de malfaiteurs » que forment le nématode et la bactérie, aux méthodes de mises à mort bien rodées est employée en lutte biologique. On maîtrise deux types de production.

In vivo, des larves vivantes de la Fausse Teigne de ruche (*Galleria mellonella*) sont utilisées comme substrat de croissance des nématodes. L'infestation et la mise à mort se font de façon naturelle, en utilisant les bactéries naturellement hébergées par le nématode. Une fois les ressources nutritives épuisées, les larves infestantes de nématodes, sont récoltées manuellement lorsqu'elles abandonnent la dépouille de la chenille.

In vitro, les nématodes sont cultivés dans des incubateurs contenant un milieu de culture qui mime l'hémolymphe de l'insecte.

Dans les deux procédés, une fois les larves infestantes récoltées, elles sont souvent mélangées à de la poudre d'argile et survivent ainsi jusqu'à 5 mois en attendant l'épandage sur les cultures à protéger.

Les nématodes sont relativement spécifiques quant à leur choix de prédation. Ainsi, tandis que les *Steinernema* peuvent s'utiliser contre les larves des charançons du genre *Otiorrhynchus*, les *Heterorhabditis* - des cousins éloignés - s'attaquent aux larves endogées d'autres Curculionidés ou Rutelidés, tandis que les *Plasmarhabditis* s'en prennent plutôt aux limaces.

Des nématodes sont disponibles en jardinerie. En grande culture, les difficultés d'épandage limitent leur emploi.

cule sexuel dans sa vulve pour l'inséminer. Cette dernière pond des œufs embryonnés dans le cadavre de l'insecte. Se succèdent alors plusieurs générations du nématode jusqu'à ce que l'épuisement de la ressource alimentaire ne contraigne les nématodes à se

dispenser. Des stades infestants sont produits qui, avant de quitter le cadavre de l'insecte, s'associent avec quelques bactéries *Xenorhabdus* qui viennent se loger dans leur vésicule. Les larves de nématodes munies de leur symbiote se revêtent alors de leur double cu-

ticule, quittent le cadavre de l'insecte, et partent explorer le sol à la recherche d'un nouvel insecte à parasiter. ■

Les auteurs

Pierre-Olivier Maquart est doctorant à l'université de Stirling (Ecosse). Il travaille sur la contribution d'une mouche à la bioconversion des déchets organiques, valorisés en engrais et en protéines renouvelables pour l'aquaculture. Coléoptériste passionné, il se consacre aux Cérambycides africains.

Courriel : pierreoliviermaquart@yahoo.fr

Denis Richard est journaliste scientifique, auteur, traducteur de nombreux ouvrages consacrés au jardinage et aux sciences de la nature et consultant muséographique. Il a été à l'origine de la création du « Jardin aux Insectes » de Poitiers.

Courriel : denis.richard@ch-poitiers.fr

Mathieu Sicard est enseignant à l'université de Montpellier. Il travaille sur l'évolution des relations symbiotiques entre eucaryotes (nématodes, insectes) et bactéries.