

Depuis plusieurs années, *C. elegans* sert aussi d'animal modèle dans l'espace. Plusieurs spécimens étaient dans la navette spatiale américaine *Columbia*, qui s'est désintégrée lors de sa rentrée dans l'atmosphère le 1^{er} février 2003. On a retrouvé des survivants trois mois plus tard dans un conteneur parmi les débris de la navette.

EN CHIFFRES

250 000

Pour comprendre comment *C. elegans* détecte la lumière, Michael Nitabach et ses collègues ont étudié quelque 250 000 mutants. Seuls 20 d'entre eux ne réagissaient plus à la lumière.

25 000

On connaît plus de 25 000 espèces de nématodes, mais l'embranchement pourrait en compter plusieurs millions. Ce sont les animaux multicellulaires les plus abondants sur Terre. En 2019, une équipe internationale a évalué qu'environ $4,4 \times 10^{20}$ nématodes peuplent les sols en surface de la planète, soit une biomasse de 0,3 gigatonne (82 % de la biomasse totale des humains). Leur nombre excède souvent plus de 1 million par mètre carré de sol.

100

LITE-1, le photorécepteur de *C. elegans*, s'est révélé 100 fois plus sensible aux UV que les opsines, les photorécepteurs classiques des yeux et ocelles.



problème. Dès le début du xx^e siècle, les zoologistes avaient constaté que si la plupart de ces vers étaient aveugles, certaines espèces marines ou d'eau douce présentaient, sur les côtés du pharynx, des ocelles, constitués d'une coupe pigmentée recouverte d'une cuticule ressemblant à une lentille. Plus tard, la microscopie électronique a permis aux anatomistes d'étudier plus en détail ces structures. Ce qu'ils ont observé en a désarçonné plus d'un. Ainsi, en 1966, Neil Argo Croll, en Grande-Bretagne, s'est étonné devant les ocelles du nématode d'eau douce *Chromadorina viridis*. Dépourvus de lentille, ils sont inclus dans la musculature œsophagienne et présentent un pigment connu par ailleurs comme non photorécepteur, l'hémoglobine. Pourtant, le nématode semble bien sensible à la lumière...

Dix ans plus tard, Jay Burr, au Canada, a constaté que l'ultrastructure de l'ocelle du nématode *Oncholaimus vesicarius* calque celle d'un organe chémorécepteur : tout se passe comme si, au fil de l'évolution, un chémorécepteur du nématode était devenu un photorécepteur. Plus récemment, en 2007, son équipe a détaillé l'ultrastructure de l'ocelle de *Mermis nigrescens*, un nématode parasite de forficules (perce-oreille) et a trouvé une ressemblance frappante avec celle d'un >

oiseaux comme le diamant mandarin). Plus le système d'opsines est spécialisé, plus la vision des couleurs est précise.

De plus, la biologie du développement de la fin du xx^e siècle a montré que la construction des organes photorécepteurs (œil, ocelle...) dépend d'un gène majeur, nommé *Pax6* : il semble que, chez tout animal, l'embryologie de ces organes nécessite l'implication de gènes homologues (c'est-à-dire hérités d'un ancêtre commun), d'un côté les opsines comme récepteurs photosensibles et, de l'autre, *Pax6* comme gène maître.

DES OCELLES SUR L'ŒSOPHAGE

Mais dans ce beau scénario, les nématodes semblent avoir toujours posé



Caenorhabditis elegans
Taille : environ 1 mm

> récepteur thermosensible: une fois encore, l'évolution semblait avoir détourné un récepteur et l'avoir rendu sensible à la lumière.

L'équipe de Kenneth Miller, à la fondation de la recherche médicale de l'Oklahoma, aux États-Unis, a alors décidé de se tourner vers *Caenorhabditis elegans*, dont le génome avait été intégralement séquencé en 1998. En effet, cet animal *a priori* aveugle – sans ocelles visibles – et vivant généralement sous terre présente une sensibilité à la lumière. Les investigations de l'équipe ont montré qu'il fuit la lumière, en particulier le bleu dans le spectre visible et l'ultraviolet dans l'invisible.

Kenneth Miller a fait l'hypothèse qu'un animal souterrain doit fuir la lumière pour survivre, évitant ainsi les dommages des UV et les prédateurs. Pour identifier le photorécepteur, son équipe a procédé à une mutagenèse massive dans l'espoir de produire des mutants insensibles aux UV. Plusieurs mutants se sont révélés dépourvus de perception lumineuse. L'équipe s'est focalisée sur la cible majoritaire de leurs mutations, un gène qu'elle a nommé *lite-1*. À sa grande surprise, ce gène s'est révélé coder une protéine appartenant à une famille bien connue, celle des récepteurs gustatifs des insectes: chez la drosophile, les homologues de cette protéine interviennent dans la perception des sucres et des bicarbonates.

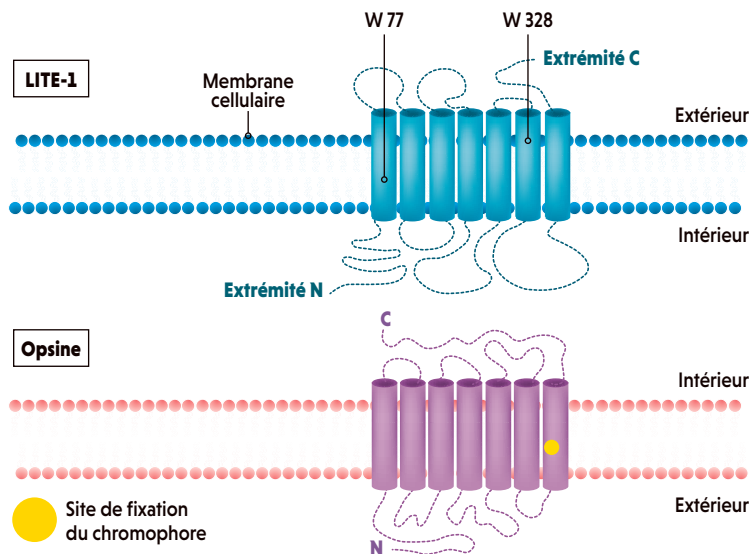
Comment un récepteur gustatif peut-il devenir un photorécepteur? Et s'il était juste thermosensible? Une équipe sino-américaine rassemblée autour de Shawn Xu, de l'université du Michigan à Ann Arbor, aux États-Unis, a résolu l'énigme en 2016. La protéine LITE-1 est bien sensible à la lumière. Si elle absorbe des photons, c'est grâce à sa structure, qui imite celle des opsines et ne nécessite aucun chromophore (voir l'encadré ci-contre).

FUIR LE BLEU, QUESTION DE SURVIE

Le plus surprenant est à venir. Jusqu'à présent, tous ces chercheurs retenaient l'hypothèse de Kenneth Miller, à savoir la fuite de *C. elegans* devant une lumière agressive. Or Michael Nitabach, de l'université Yale, aux États-Unis, et ses collègues, viennent de montrer que le facteur capital n'est pas tant la lumière que la couleur. Plus précisément, ce ne sont pas les UV qui sont signifiants, mais la longueur d'onde bleue. *C. elegans* se nourrit en broutant des tapis bactériens. Or

COMMENT UN RÉCEPTEUR GUSTATIF EST DEvenu PHOTORÉCEPTEUR

Le secret de la protéine LITE-1 est sa structure: si sa séquence est homologue à celle d'un récepteur gustatif des insectes, sa conformation tridimensionnelle mime celle d'une opsine: comme cette protéine, elle présente sept segments transmembranaires. L'équipe de Michael Nitabach a montré que cette structure est nécessaire à son activité photoréceptrice. En revanche, alors que dans le cas de l'opsine, c'est un chromophore, le rétinal (une forme de la vitamine A), qui absorbe les photons, LITE-1 n'en a pas besoin: deux acides aminés de sa séquence (tryptophanes, notés W) en jouent le rôle.



certaines bactéries sont toxiques. En particulier, la bactérie *Pseudomonas aeruginosa* sécrète une toxine pigmentée bleue, la pyocyanine, qui induit la formation de dérivés réactifs de l'oxygène, lesquels endommagent les tissus. Par une série d'expériences comportementales élaborées, l'équipe de Michael Nitabach a prouvé que *C. elegans* repère la pyocyanine par sa couleur, et s'en détourne. En d'autres termes, le nématode voit le bleu... grâce à un récepteur gustatif.

Dépourvu de gènes d'opsines et de *Pax6*, *C. elegans* n'a pas d'ocelles classiques. La protéine LITE-1 est donc un cas d'exaptation – un mécanisme évolutif par lequel un caractère remplit une nouvelle fonction pour laquelle il n'avait pas été primitivement sélectionné. Faute de disposer du séquençage complet des autres nématodes, il est encore impossible de leur élargir cette conclusion. En revanche, le fait que certains voient avec des récepteurs thermosensibles ou chémosensibles suggère que de telles exaptations sont répandues parmi ces animaux. Une belle illustration du bricolage de l'évolution cher au biologiste François Jacob! ■

BIBLIOGRAPHIE

D. D. Ghosh et al., *C. elegans* discriminates colors to guide foraging, *Science*, vol. 371, pp. 1059-1063, 2021.

J. Gong et al., The *C. elegans* taste receptor homolog LITE-1 is a photoreceptor, *Cell*, vol. 167, pp. 1252-1263, 2016.

S. I. Edwards et al., A novel molecular solution for ultraviolet light detection in *Caenorhabditis elegans*, *Plos Biol.*, vol. 6(8), pp. 1715-1729, 2008.

A. K. Mohamed et al., Unique two-photoreceptor scanning eye of the nematode *Mermis nigrescens*, *Biol. Bull.*, vol. 212, pp. 206-211, 2007.