



CURIOSITÉS MARINES

Denis Allemand, directeur scientifique du centre scientifique de Monaco

Des bras, des pattes et des tentacules



Bras et tentacules, même usage ? Gravure sur bois d'Utagawa Kuniyoshi (cliché The Trustees of the British Museum/CC).

Is ont des allures d'extraterrestres comme les fameux heptapodes du film de science-fiction *L'arrivée*, du Canadien Denis Villeneuve. Aristote est le premier à en avoir fait une description précise dans son *Histoire des animaux* (Περὶ τὰ ζῷα ἱστορίαι) en les appelant "polypes". Les légendes médiévales scandinaves en faisaient des monstres, les Kraken, capables d'engloutir des navires entiers. Celui de Victor Hugo combat le héros Gilliatt dans *Les Travailleurs de la mer*. Qui sont-ils ? Ce sont les pieuvres, calmars et autres céphalopodes. Des organismes qui semblent n'avoir que peu de points communs avec nous... Une idée qu'un article récent bat en brèche.

De curieux animaux

Les Céphalopodes sont l'une des cinq classes des Mollusques. Leur morphologie est très originale,

Le nautille, *Nautilus pompilius* (cliché H. Hillewaert/CC).



puisque le "pied" est transformé en une couronne de "bras" entourant la tête de l'animal, d'où le nom de "céphalopodes" que forgea Cuvier en 1795. Les Céphalopodes comprennent eux-mêmes deux groupes actuels : les Nautilles, qui possèdent une coquille externe et une multitude de bras (environ 90), et les Coléoïdes qui regroupent les pieuvres (ou poulpes) à 8 bras et les calmars et seiches à 10 bras. Le terme de tentacules, quelquefois utilisé comme synonyme de bras, désigne en fait les deux bras surnuméraires, plus longs, des calmars et des seiches. Contrairement aux bras équipés de ventouses sur toute leur longueur (sauf chez les nautilles), les tentacules ne sont munis de ventouses qu'à leurs extrémités. L'un des bras, appelé hectocotyle, sert à la reproduction : le mâle saisit avec celui-ci son spermatophore, où sont regroupés ses spermatozoïdes, et l'introduit dans la cavité palléale de la femelle, un pénis au bout des bras en quelque sorte. Les Céphalopodes possèdent d'autres particularités : des yeux très performants, proches de ceux des Vertébrés, mais résultant de processus évolutifs différents, un sang bleu où l'hémoglobine est remplacée par l'hémocyanine, trois cœurs... Mais la particularité la plus intéressante

est le fort développement de leur système nerveux, le plus développé hors des Vertébrés. Le système nerveux de la pieuvre contient en effet près d'un demi-milliard de neurones, soit près de six fois plus que le nombre de neurones d'un cerveau de souris. De ce fait, les Céphalopodes Coléoïdes font preuve de comportements particulièrement sophistiqués, notamment la capacité de résoudre des problèmes complexes, l'apprentissage par l'observation, la discrimination conditionnelle, d'exceptionnelles capacités d'homochromie... Un article, publié en avril 2021 par l'équipe brésilienne de Sylvia Medeiros, suggère même que le poulpe présente des phases de sommeil actif, similaire à notre sommeil paradoxal!

De nombreux changements à l'origine des Céphalopodes

Toutes ces caractéristiques morphologiques n'existaient pas chez les ancêtres des Céphalopodes. Ces derniers sont apparus durant le Cambrien, il y a environ 530 millions d'années. Les Coléoïdes se sont développés plus tardivement, vers 270 millions d'années. Pour expliquer l'origine de ces innovations, une étude internationale

menée par l'immunologiste australien E. J. Steele et publiée en 2018 a même suggéré qu'elles résultaient de l'insertion de gènes provenant de virus... extraterrestres! Cet adepte de la théorie de la panspermie* est même allé jusqu'à suggérer plus récemment que le Sars-CoV-2 provenait également de l'espace... Plus sérieusement, l'étude de l'origine du plan de développement des bras des Céphalopodes a récemment révélé des surprises. À priori, il n'y a aucune ressemblance entre les bras des seiches et nos bras et jambes, et pourtant, l'équipe de Martin Cohn de l'université de Floride vient de montrer qu'il existait de profondes similitudes entre ces membres si différents en apparence.

Des réseaux génétiques communs ?

Dans cette étude publiée en 2019 dans le journal *eLife*, les auteurs montrent que les membres de l'homme et de la seiche se développent sous le contrôle des mêmes gènes! Les jambes, les ailes, les nageoires ou les bras des céphalopodes ne sont que quelques exemples de la diversité des membres des animaux. Ces structures sont apparues de façon indépendante à de nombreuses reprises de l'évolution à partir d'ancêtres dépourvus de membres et l'on pensait donc que ces structures étaient des nouveautés morphologiques non homologues apparues par convergence évolutive. Trois taxons importants parmi les animaux possèdent des membres : les

* Panspermie: théorie selon laquelle la vie sur terre provient de germes venus d'ailleurs.



Au contraire des tentacules, les bras sont munis de ventouses sur toute leur longueur (cliché B. Wills/CC).

Vertébrés, comme les Mammifères ou les Reptiles, les Arthropodes, comme les insectes ou les Crustacés et les Céphalopodes. Depuis deux décennies environ, les chercheurs savent que les membres des Vertébrés et des insectes se développent selon un contrôle moléculaire similaire. Étant donné leurs profondes différences morphologiques, on pensait que les membres des Céphalopodes

résultaient quant à eux de processus différents. Une des raisons de cette méconnaissance venait du fait que l'étude des stades précoces des Céphalopodes était très difficile car ces animaux pondent leurs œufs à l'intérieur d'une capsule coriace, empêchant leur manipulation. L'ingéniosité et l'adresse des chercheurs américains, et en particulier d'Oscar Tarazona, le premier auteur

de cet article, ont permis de contourner le problème pour extraire, sans les abîmer, les œufs de la capsule de seiche (*Sepia officinalis*) afin de les mettre en culture dans des boîtes de Pétri. Ils ont alors étudié grâce à des anticorps ou des techniques d'hybridation *in situ* (révélant la présence de certains ARN messagers précurseurs de protéines issus de la transcription de certains gènes) dans quelle partie des bras et à quel moment se faisait l'expression de ces gènes. Puis, ils ont réalisé une série d'expériences en modifiant l'expression des gènes avec différents inhibiteurs ou en réalisant des greffes. Ils ont alors découvert que les membres de la seiche, malgré leurs différences morphologiques, sont modelés par les mêmes réseaux de signalisation qui agissent chez les Vertébrés et les Arthropodes, bien qu'ils aient évolué indépendamment. Ainsi, les signaux de développement Hedgehog, BMP et Wnt qui établissent la polarité dorso-ventrale des membres des Vertébrés et des Arthropodes, sont polarisés de manière similaire chez la seiche. Ces protéines, appelées morphogènes, qui ont valu à leurs découvreurs, l'Allemande Christiane Nüsslein-Volhard et les Américains Edward B. Lewis et Eric F. Wieschaus, le prix Nobel de physiologie ou de médecine en 1995, jouent également un rôle dans les processus de cancérogenèse.

L'ancêtre commun de la seiche, de la mouche et de l'homme utilisait donc déjà ces gènes pour une fonction aujourd'hui inconnue, mais peut-être pour initier le développement de ses membres. Puis chaque lignée a évolué de son côté, développant des membres spécifiques pour chaque groupe... Le même réseau génétique a été réutilisé plusieurs fois au cours de l'évolution, ce que le généticien

François Jacob, prix Nobel de médecine, avait appelé "le bricolage de l'évolution". Ces processus étaient déjà connus dès le milieu des années quatre-vingt-dix pour le développement comparé de l'œil: l'œil composé des insectes et l'œil caméculaire des vertébrés se développent en mobilisant les mêmes gènes initiaux. Après tout, ce n'est pas très surprenant. Le vivant d'aujourd'hui est le résultat d'un vaste élagage d'où sont absentes de nombreuses lignées disparues. Un même réseau d'impulsions génétiques peut avoir été mobilisé pour une fonction générale (voir ou se déplacer à l'aide de membres mobiles) dont nous ne voyons plus aujourd'hui que des formes très spécialisées, et donc dissemblables au point qu'on ne les considère pas comme homologues à l'échelle de l'observation anatomique. Le zoologiste italien Sandro Minelli a appelé ce type d'homologie "l'homologie factorielle": un bras de seiche et un membre de vertébré ne peuvent pas être anatomiquement considérés comme homologues car il est impossible de détecter des points de comparaison à l'échelle d'observation macroscopique et de tracer un état des membres ancestral aux deux lignées. Cependant, ils entretiennent entre eux une homologie développementale au motif qu'ils

se développent par les impulsions de même réseau génétique. Qu'il s'agisse de la mouche et nous, ou bien de la seiche et nous, on peut être homologues par les gènes sans l'être dans son anatomie, voilà une belle découverte des trente dernières années.

Au service de l'homme

Si les poulpes et autres calmars ont montré leur importance pour l'homme, que cela soit en gastronomie ou pour déterminer les résultats de la Coupe du monde de football (rappelons-nous de Paul le Poulpe), on connaît moins leur utilité dans la santé humaine. Pourtant, la connaissance du fonctionnement de notre système nerveux est due largement à l'étude des axones géants du calmar (qui a valu à ses découvreurs, l'Australien John Carew Eccles et les Britanniques Alan Lloyd Hodgkin et Andrew Huxley, le prix Nobel de médecine en 1963). L'exceptionnelle capacité des bras de ces animaux à se mouvoir a fait naître chez l'équipe italienne de

T. Ranzani, l'idée d'un robot médical bio-inspiré. Aujourd'hui, les travaux de Martin Cohn et de son équipe démontrent les mécanismes de base de régulation du patron (*pattern*) des membres, apparus il y a près de 600 millions d'années. La vie a créé une profusion de formes dont l'étude nous permettra de mieux nous connaître... Nous ne regarderons plus les poulpes de la même manière. ■

Remerciements à Guillaume Lecointre et François Bonhomme pour leurs nombreuses remarques constructives.

Retrouvez d'autres chroniques et de nombreuses informations sur www.centrescientifique.mc

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Albertin C.B. et al., 2015** – "The octopus genome and the evolution of cephalopod neural and morphological novelties", *Nature*, 524: 220-224.
- **Jacob F., 1977** – "Evolution and tinkering", *Science* 196(4295): 1161-1166.
- **Medeiros S. L. S. et al., 2021** – "Cyclic alternation of quiet and active sleep states in the octopus", *iScience* 24, 102223
- **Ranzani T., Gerboni G., Cianchetti M. et Menciassi A., 2015** – "A bioinspired soft manipulator for minimally invasive surgery", *Bioinspiration & Biomimetics*, 10(3), 035008.
- **Tarazona O. A., Lopez D. H., Slota L. A. et Cohn M. J., 2019** – "Evolution of limb development in cephalopod mollusks", *eLife*, 8: e43828
- **Site Web**: les premières images de calmars géants de grandes profondeurs filmées avec des caméras à faible luminosité par une équipe de biologistes américains sur www.sciencedirect.com (urlr.me/yr2Z1).



Mâle en approche: chez les seiches, le mâle parade en usant de sa capacité à modifier ses couleurs extrêmement rapidement. L'accouplement se fait face à face, bras entrelacés (cliché R. Zenz/CC).