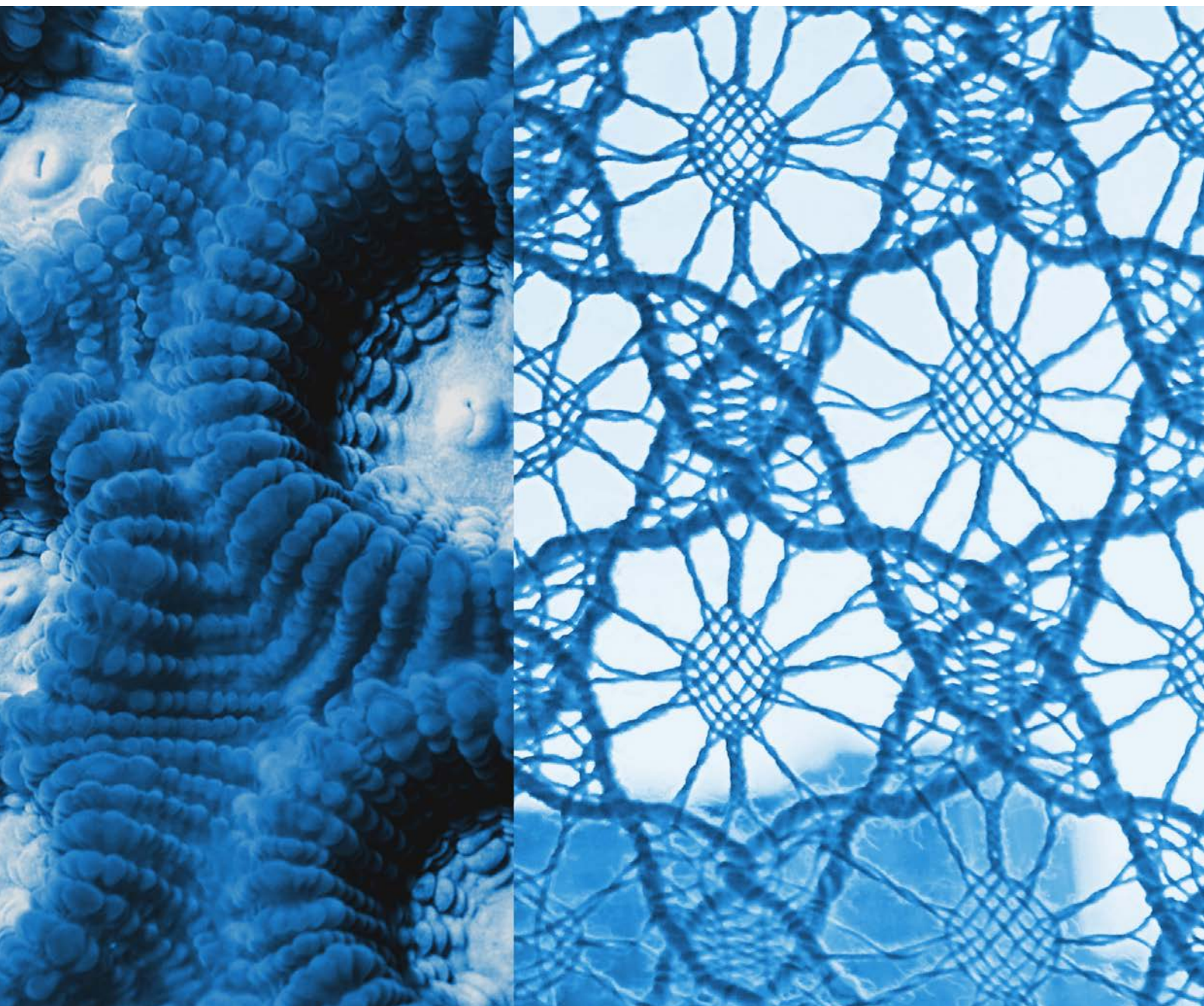




adaptation des microorganismes au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Elle étudie l'affinité du corail, plus précisément des larves, pour la dentelle, un matériau biodégradable mieux adapté que le béton ou le métal généralement utilisés pour régénérer (ces supports fonctionnent à court terme, mais polluent les océans et dégradent les coraux à long terme). Les premiers résultats sont très encourageants.

Des expérimentations de plus grande ampleur, avec des fragments de corail (des boutures), sont entreprises à l'aquarium tropical du palais de la Porte Dorée, à Paris. Et, depuis septembre, des tests *in*

situ ont lieu sur une île des Philippines, en partenariat avec la fondation Sulubaaï.

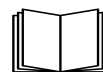
Pour améliorer l'efficacité du procédé, différents points de dentelle, toujours produits par Fontanille, sont testés. Il s'agira également d'envisager d'autres matériaux que le coton, comme les fibres de bananier, pour s'adapter aux contraintes locales, et ainsi impliquer les populations dans le projet.

Jérémy Gobé travaille à la conception d'un nouveau type de béton, en commençant comme toujours par réaliser des sculptures avant d'engager un protocole de recherche scientifique et industriel. Des premières œuvres

réalisées en collaboration avec Saint-Gobain Weber dans un matériau contenant moins de 8% de ciment seront présentées à la fondation Bullukian, dans le cadre de la Biennale de Lyon, jusqu'en janvier 2020. L'occasion de se rendre compte que l'art est un vecteur émotionnel idéal pour sensibiliser le public aux enjeux de notre époque. ■

Le site du projet : www.corailartefact.com
Le site de la Biennale de Lyon :
www.biennaledelyon.com

L'auteur a publié :
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer et la science...**
(Belin, 2018)



L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne Université, à Paris

LA MYXINE

UN VERTÉBRÉ SANS VERTÈBRES?

Les myxines, nécrophages des fonds marins, n'ont pas de vertèbres. Cela signifie-t-il que ce ne sont pas des vertébrés? Non...

Dépourvues de nageoires latérales, le corps allongé et souple comme celui d'une anguille, une bouche sans mâchoires mais ornée de plusieurs rangées de dents, les myxines, nécrophages des fonds marins, ressemblent beaucoup aux lamproies... à un détail près: elles n'ont pas de vertèbres. Doit-on en conclure pour autant que les myxines ne sont pas des vertébrés? La réponse n'est pas aussi simple et nombre d'évolutionnistes ont buté sur cette énigme. Jusqu'à ce que, tout récemment, un nouveau fossile fournisse la solution.

La question est d'importance, certes pour réaliser la classification la plus pertinente de l'embranchement des vertébrés au sein de l'arbre du vivant, mais surtout pour dévoiler un joyau jusque-là enfoui dans le passé: l'hypothétique ancêtre commun aux vertébrés. Or, pour en débusquer les caractères, il faut connaître avec certitude la succession des premières émergences, les plus éloignées dans le temps, donc les plus difficiles à établir. Un problème d'autant plus fascinant qu'il concerne «notre» embranchement.

Au début du XIX^e siècle, la question ne se posait pas. Les zoologistes avaient séparé les vertébrés en quatre classes: les mammifères, les oiseaux, les amphibiens

et les poissons. Et parmi ces derniers, ils distinguaient deux groupes suivant la présence de mâchoires: les gnathostomes en avaient, les agnathes en étaient dépourvus. Les gnathostomes se divisaient ensuite en deux taxons: les poissons à squelette cartilagineux (les chondrichthyens) et ceux à squelette osseux (les ostéichthyens). Les agnathes, quant à eux, comprenaient les lamproies et les myxines. En 1806, vu la ressemblance entre lamproies et myxines, le zoologiste français Constant Duméril, dans sa *Zoologie analytique*, les rassembla dans un groupe qu'il appela «cyclostomes» («bouche ronde» en grec). Concernant les organismes actuels, cyclostomes et agnathes signifient la même chose, mais ce n'est plus le cas si l'on introduit les fossiles.

LES VERTÈBRES, POSTÉRIEURES AUX MYXINES?

Avec l'avènement de la théorie de l'évolution de Charles Darwin, cependant, la classification du vivant est devenue, à la fin du XIX^e siècle, une phylogénie, c'est-à-dire l'étude des liens de parenté des espèces, avec l'idée de construire un arbre où chaque branche représenterait un taxon monophylétique, constitué par un ancêtre et l'ensemble de ses descendants. Depuis, les vertébrés ne sont plus séparés en deux classes, mais constitués de deux groupes:

les cyclostomes, rassemblant les lamproies, les myxines et divers fossiles proches, et les gnathostomes, avec tous les autres vertébrés. Mais les cyclostomes forment-ils un taxon monophylétique?

Surprise, les phylogénies des années 1990, fondées sur des descriptions morphologiques d'une grande précision, l'ont infirmé et ont proposé une première émergence des myxines, suivie de celle des lamproies (voir l'encadré page 94). Deux nœuds successifs seraient apparus: celui des craniates (myxines et vertébrés), puis celui des vertébrés (lamproies et gnathostomes). Dans ce modèle, les myxines ont acquis une place privilégiée, qui paraît d'ailleurs cohérente: les vertèbres seraient apparues après l'émergence de leur groupe. Or, au même moment, les biologistes ont disposé d'assez de séquences d'ADN pour réaliser des phylogénies moléculaires fiables. Et, cette fois, ils ont obtenu que les cyclostomes étaient monophylétiques, donnant raison à Duméril!

Qui avait raison? Le doute s'est porté d'abord sur les phylogénies moléculaires, pour lesquelles on commençait à bien comprendre plusieurs artefacts qui faussaient les arbres. Mais certains chercheurs, comme Christopher Braun, de l'université de Californie à San Diego, en 1998, se sont aussi penchés sur la description des caractères morphologiques des lamproies et des ➤



Lamproie de rivière
(*Lampetra fluviatilis*)
Taille: jusqu'à 45 cm de longueur



Myxine de Stout
(*Eptatretus stoutii*)
Taille: jusqu'à 60 cm de longueur

EN CHIFFRES

485 MILLIONS

L'ancêtre le plus récent des cyclostomes, qui rassemble les myxines et les lamproies, vivait probablement il y a 485 ± 50 millions d'années.

22

C'est le nombre d'espèces de myxines répertoriées à ce jour, contre 38 espèces de lamproies.

300 MILLIONS

Découvert dans l'Illinois, aux États-Unis, le plus ancien fossile de myxine, *Myxiniakela siroka*, est vieux de 300 millions d'années.

Les myxines actuelles se sont diversifiées plus tard, il y a entre 183 et 103 millions d'années.



Leur bouche, au centre d'une ventouse, est constituée d'une « langue » portant des dents cornées fixées sur des plaques de cartilage.

Qu'elles soient marines ou d'eau douce, comme celle-ci, les lamproies ont une colonne vertébrale rudimentaire: une baguette fibreuse (ou corde) qui sert d'axe rigide dorsal et est entourée de pièces squelettiques (des vertèbres rudimentaires).



Leur corps porte de multiples glandes qui sécrètent un mucus repoussant les prédateurs. Leur autre stratégie d'évasion consiste à faire des nœuds avec leur corps.

Les myxines vivent seulement en milieu marin. Leurs yeux sont sous la peau et leur bouche est entourée de plaques munies de dents actionnées par un ensemble de cartilages et de muscles.

> myxines. Ils savaient en effet que la distribution de ces caractères est «asymétrique»: certains traits, comparables chez les lamproies et les gnathostomes, sont tout simplement absents chez les myxines, si bien que l'on ne peut rien en conclure en termes de classification. Par exemple, les myxines sont dépourvues d'électrorécepteurs sur les flancs, de bourgeons du goût et bien sûr de vertèbres, traits largement distribués chez les autres vertébrés aquatiques. Or ce type d'asymétrie peut entraîner des artefacts comme casser la monophylie d'un groupe. N'était-ce pas le cas ici?

Certains zoologistes et paléontologues, comme Philippe Janvier, au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, avaient déjà soulevé cette question de fond. Devait-on interpréter l'absence de ces caractères chez les myxines comme primitive ou secondaire? Dans le premier cas, les ancêtres des myxines n'ont jamais été pourvus de ces caractères, qui sont apparus plus tard, dans la lignée menant aux gnathostomes. Dans le second, certains ancêtres des myxines ont présenté de tels caractères, qui ont ensuite été perdus dans la lignée menant aux myxines. Ces dernières seraient alors des vertébrés ayant perdu leurs vertèbres...

UN FOSSILE REMARQUABLE

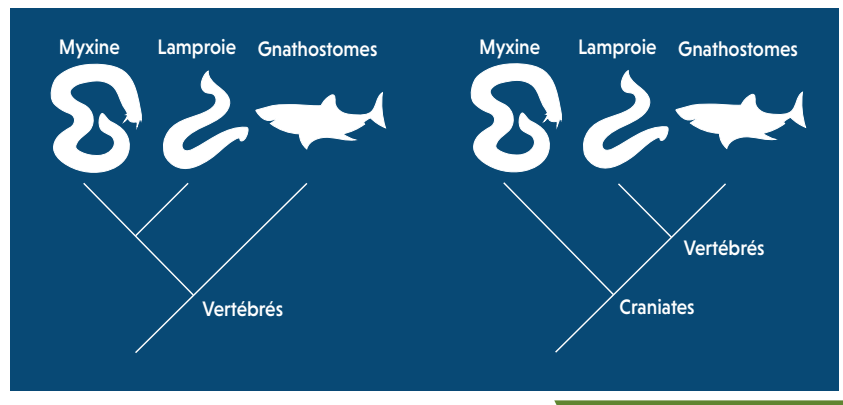
De tels cas sont légion en biologie. Par exemple, les serpents sont des «tétrapodes apodes». Nichés parmi des animaux tétrapodes (geckos, varans, iguanes, lézards...), leurs ancêtres ont eu quatre pattes, qui ont été perdues secondairement. De même, les cétacés, qui n'ont plus que des pattes antérieures, les ailerons, ont perdu secondairement leurs pattes postérieures. Remarquons que, dans ces deux cas, des organes vestigiaux (bassin réduit chez les pythons et chez les baleines) sont des indices convaincants.

Comment résoudre ce problème? On pense évidemment à la paléontologie. Mais le plus ancien fossile de myxine, *Myxiniakela siroka*, du Carbonifère (il y a environ 300 millions d'années), présente les mêmes difficultés d'interprétation que les myxines actuelles. Or, par un heureux hasard, *Tethymyxine tapirostrum*, fossile en remarquable état de préservation, vient d'être exhumé dans un site calcaire du Liban datant du Crétacé supérieur (il y a environ 100 millions d'années). Tetsuto Miyashita, de l'université de Chicago, et ses collègues l'ont étudié avec minutie.

Le nouveau fossile présente des caractères de myxine actuelle introuvables chez

QUEL ARBRE POUR LES MYXINES ?

Les évolutionnistes hésitent entre deux classifications pour les myxines. Dans l'une, fondée sur des phylogénies moléculaires, elles auraient appartenu, avec les lamproies, à un taxon monophylétique, c'est-à-dire constitué d'un ancêtre commun et de tous ses descendants (à gauche). Dans l'autre, s'appuyant sur des descriptions morphologiques, elles se seraient diversifiées avant les vertébrés (à droite). Les cyclostomes, qui historiquement rassemblent les myxines et les lamproies, auraient alors été un groupe non pas mono-, mais paraphylétique. La première classification était la bonne.



l'animal du Carbonifère, comme des glandes à mucus dispersées sur le corps, la situation de l'appareil branchial ou la structure du foie. En le comparant aux animaux actuels (myxines, lamproies, gnathostomes) et à de nombreux agnathes fossiles comme les anaspides ou les euconodontes, dont les situations évolutives sont problématiques, l'équipe a montré que les cyclostomes sont monophylétiques, avec deux caractères morphologiques propres: des plaques munies de dents kératineuses et la migration particulière des muscles du tronc autour des yeux. Les myxines se retrouvent nichées à l'intérieur des cyclostomes. Elles ont donc évolué depuis leur émergence, développant des organes qui leur sont propres, en perdant d'autres.

Enfin, dans la lignée qui mène aux cyclostomes se trouvent des animaux fossiles comme les anaspides et les euconodontes, qui portent des traces de minéralisation d'une matrice squelettique. La possibilité d'une telle minéralisation précède donc la diversification des myxines – un scénario cohérent avec les observations de Tetsuto Miyashita sur des embryons de myxines et de lamproies, qui présentent des dépôts de phosphate de calcium dans leurs oreilles internes.

Les myxines sont donc bel et bien des vertébrés. Ce qui complique le portrait-robot de l'ancêtre commun des vertébrés, car l'indice qu'elles auraient fourni en étant extérieures a disparu... ■



Hervé Le Guyader a récemment publié : **L'Aventure de la biodiversité**, (Belin, 2018).

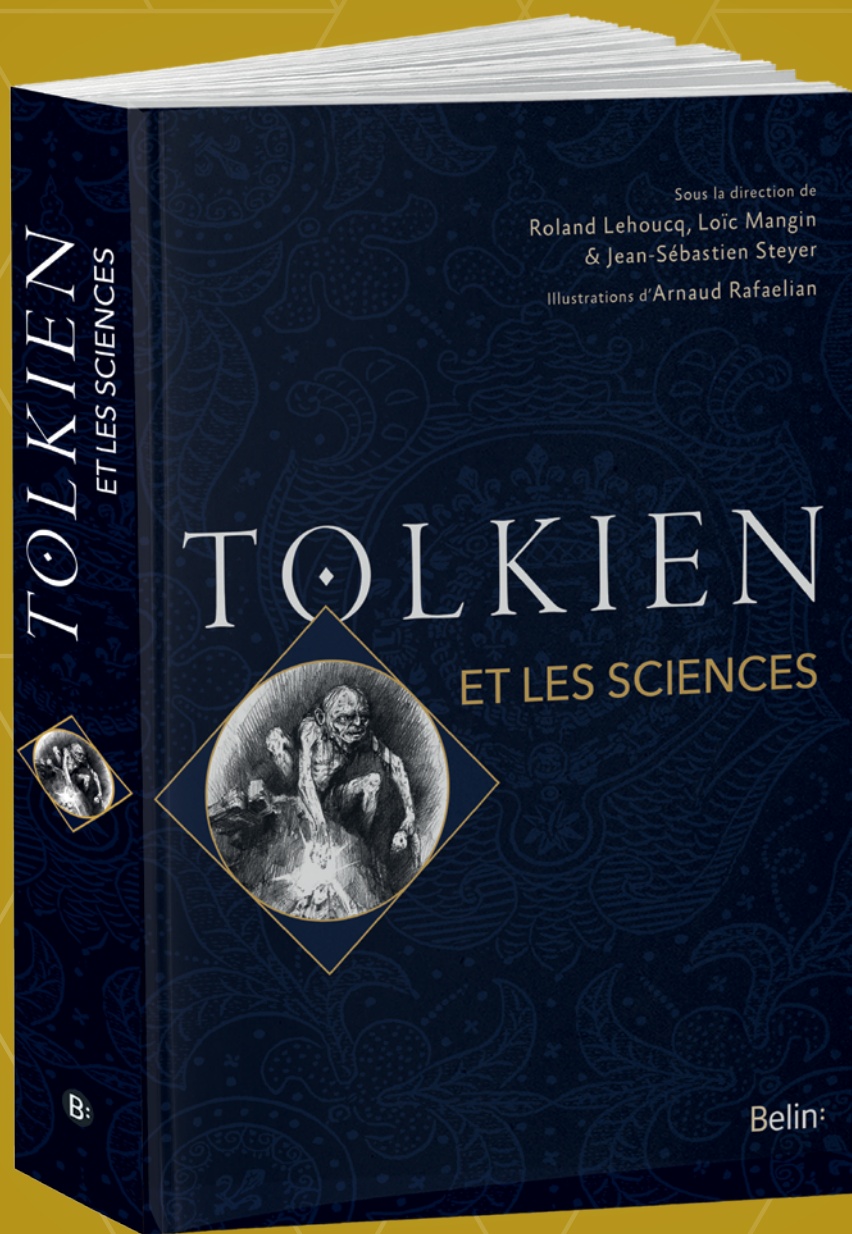
BIBLIOGRAPHIE

T. Miyashita et al., **Hagfish from the Cretaceous Tethys Sea and a reconciliation of the morphological-molecular conflict in early vertebrate phylogeny**, PNAS, vol. 116, pp. 2146-2151, 2019.

P. Janvier, **Early Vertebrates**, Oxford University Press, 2003.

C. B. Braun, **Schreiner organs : a new craniate chemosensory modality in hagfishes**, J. Comp. Neurol., vol. 392(2), pp. 135-163, 1998.

QUAND LA SCIENCE **NOUS ÉMERVEILLE...**



En librairie le 16 octobre

Belin: