

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 507 (jan. 20)
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)
réf. PL503



N° 502 (août 19)
réf. PL502



N° 501 (juillet 19)
réf. PL501



N° 500 (juin 19)
réf. PL500



N° 499 (mai. 19)
réf. PL499



N° 498 (avr. 19)
réf. PL498



N° 497 (mar. 19)
réf. PL497



N° 496 (févr. 19)
réf. PL496

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 01 x 9,90 € = 9,90 €
 2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €
 6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/07/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

L'AUTEUR



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

LES CHÉTOGNATHES TROUVENT ENFIN LEUR PLACE !

Avec leur tête chevelue et leur mâchoire fournie, les chétognathes ont longtemps été une énigme pour les zoologistes, qui peinaient à situer ces curieux vers marins dans la classification animale. Mais une solution est enfin apparue...

Les chétognathes ont longtemps été une énigme pour les zoologistes. Ces petits animaux marins transparents à symétrie bilatérale tiennent leur nom (du grec *khaitē*, «chevelure», et *gnathos*, «mâchoire») de puissants crochets préhenseurs qui, de part et d'autre de leur tête renflée, donnent l'impression d'une chevelure. Des arcs de petites dents entourent par ailleurs la bouche. Les côtés portent des nageoires paires et l'extrémité postérieure est munie d'une nageoire caudale. Ces animaux de taille modeste (4 centimètres en moyenne) sont de redoutables prédateurs à la morsure empoisonnée qui se nourrissent de copépodes (petits crustacés), de petits poissons ou de... chétognathes. Pendant deux siècles, du fait de ces étranges attributs, les zoologistes ont échoué à les situer dans la classification animale. Mais récemment, des données issues du développement, de la phylogénie et de la paléontologie ont amené à la résolution du problème.

On doit au naturaliste hollandais Martinus Slabber la première représentation d'un chétognathe, en 1775. Mais ces animaux n'ont été étudiés qu'en 1824, à bord de l'*Astrolabe* durant l'expédition de Jules Dumont d'Urville, par les biologistes marins Jean René Quoy et Joseph Gaimard. Au cours des années suivantes, les zoologistes classent tour à tour les chétognathes près des annélides, des nématodes, des mollusques... À tel point qu'en 1844, Charles Darwin s'exclame qu'ils sont «remarquables par l'obscurité de leurs affinités».

PROCHES DES CORDÉS ?

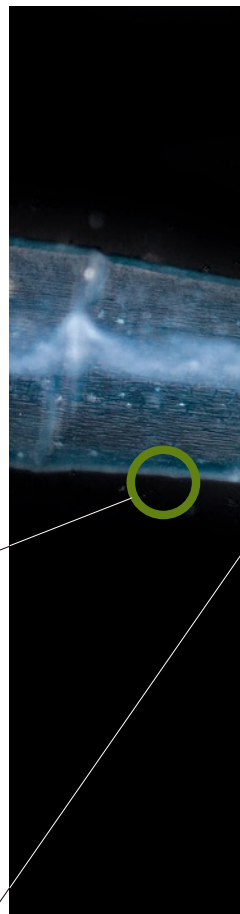
À la fin du XIX^e siècle, les embryologistes allemands décrivent leur développement. Curieusement, ils observent que la bouche de l'embryon se forme secondairement. Or, à l'époque, sur des critères morphologiques et, surtout, embryologiques, les zoologistes séparent les bilatériens – les animaux à symétrie bilatérale – en deux grands taxons, les protostomiens (animaux à bouche

Les chétognathes ont une forme de torpille ou de flèche (on les nomme *arrow worms* en anglais).

Cette espèce commune de chétognathe des eaux peu profondes de la mer du Nord et des côtes fait partie des plus petites de ce groupe.



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



EN CHIFFRES

150

Jusqu'à présent, environ 150 espèces de chétognathes ont été décrites, mais on pense qu'il en existe plutôt 250.

12 cm

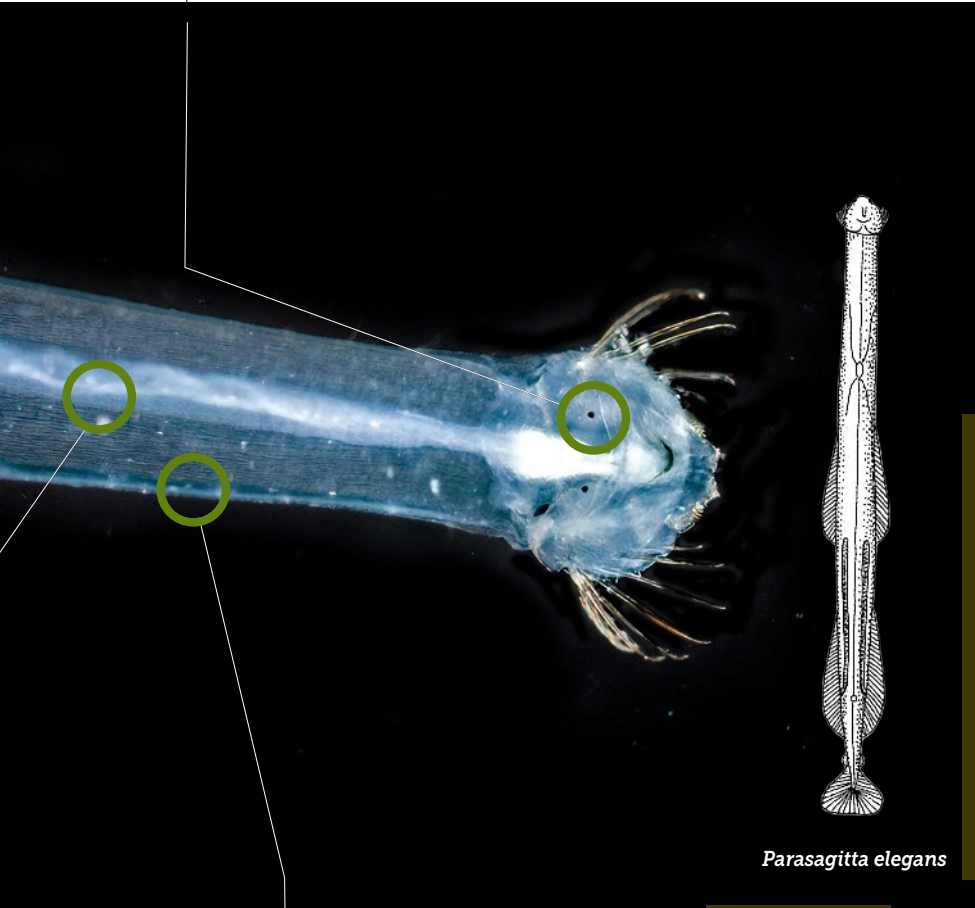
Le plus grand chétognathe connu mesure 12 centimètres; le plus petit, 2 millimètres.

Les gnathostomulides et les rotifères les plus grands mesurent respectivement 1 et 3 millimètres. Les plus petits gnathostomulides et rotifères, quant à eux, ne dépassent pas 0,3 et 0,05 millimètre.

15 %

Présents surtout dans les eaux tropicales et tout le long de la colonne d'eau (certaines espèces sont benthiques, d'autres non), les chétognathes forment parfois jusqu'à 15 % de la masse du plancton marin.

Munie d'une paire d'yeux, la tête peut se couvrir d'un capuchon qui, enveloppant les crochets, améliore le comportement hydrodynamique de l'animal.



Parasagitta elegans

Chez cette espèce, les nageoires sont toutes situées sur la moitié postérieure (non visible) de l'animal.

formée premièrement) et les deutérostomiens (animaux à bouche formée secondairement). Les chétognathes sont donc classés dans les deutérostomiens, avec les échinodermes (oursins, étoiles de mer...) et les cordés, qui incluent les vertébrés. Et on les trouve toujours à cette place dans les traités de zoologie moderne, tels celui de 1959 de la zoologiste new-yorkaise Libbie Hyman ou celui des frères Brusca, dont la deuxième édition date de 2003. Pourtant, les chétognathes ont bien l'air de protostomiens, en particulier quand on observe l'organisation de leur système nerveux central, qui ressemble à celui d'un annélide ou d'un mollusque.

Au cours de la dernière décennie du xx^e siècle, cependant, les phylogénies moléculaires (les études des liens de parenté des organismes *via* la comparaison de leurs séquences d'ADN) commencent à résoudre les multiples problèmes de la classification animale. La division en deutérostomiens et protostomiens est validée et ces derniers se partagent en deux taxons: les ecdysozoaires, ou animaux à mue (arthropodes, nématodes...), et les spiraliens (appelés à l'époque «lophotrochozoaires»), animaux dont les premières divisions cellulaires de l'œuf suivent une segmentation spirale (annélides, mollusques...).

L'ÉTRANGE GROUPE DES GNATHIFÈRES

Or, dans cette nouvelle classification, les chétognathes se situent parmi les protostomiens, sans toutefois y trouver réellement leur place. En effet, ils sont la source d'un artéfact classique de reconstruction phylogénétique qui entraîne le regroupement de taxons non apparentés évoluant plus rapidement. De plus, à l'intérieur des spiraliens, c'est le bazar. Si certains regroupements paraissent solides, comme celui des annélides et des mollusques, nombre d'embranchements, comme les plathelminthes, se déplacent d'une branche à l'autre au gré des phylogénies.

Pas à pas, les zoologistes mettent de l'ordre dans les spiraliens en suivant deux directions. D'une part, ils passent >



Parasagitta setosa
Longueur maximale: 14 mm

> de la phylogénie moléculaire à la phylogénomique, c'est-à-dire l'utilisation de la plus grande fraction possible du génome – au mieux de son intégralité – pour réaliser des phylogénies plus fiables; d'autre part, ils n'omettent pas pour autant l'anatomie comparée.

C'est alors que Martin Sørensen, de l'université de Copenhague, décrit en 2002 un animal microscopique, *Limnognathia maerski*, récemment découvert dans une île du Groenland. Ce dernier arbore un pharynx pourvu de mâchoires d'une extrême complexité, qui ressemblent à celles d'autres organismes microscopiques: les rotifères, des animaux planctoniques d'eau douce, et les gnathostomulides, de minuscules vers vivant dans les sables marins. Or en 1995, le zoologiste allemand Wilko Ahlrichs a rassemblé rotifères et gnathostomulides en un même taxon, les gnathifères (porteurs de mâchoires). *L. maerski* les y rejoint donc, mais il faut attendre encore sept ans pour qu'une équipe allemande, autour de Thomas Hankeln, de l'université de Mayence, confirme par phylogénomique que ce groupe forme réellement un taxon. Les chétognathes feraient-ils eux aussi partie des gnathifères, malgré leur taille macroscopique?

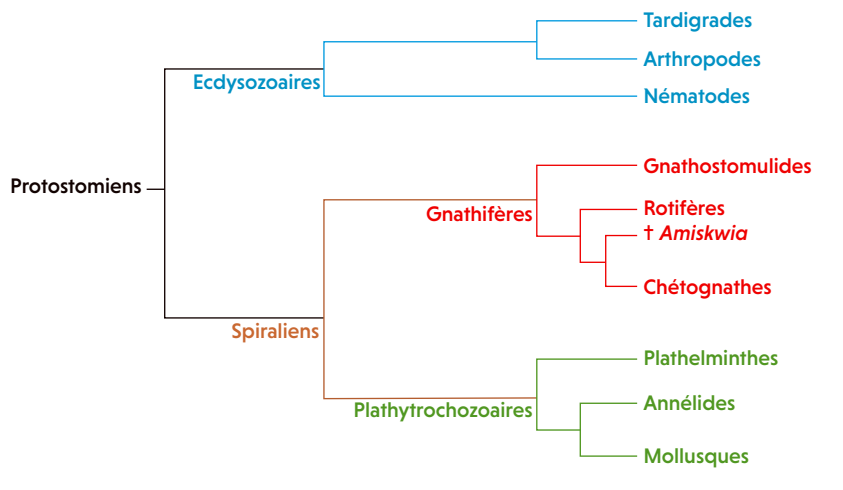
LES CHÉTOGNATHES, DES GNATHIFÈRES?

Plusieurs indices récents vont dans ce sens. Dans les années 2000, autour de Yannick Le Parco, du centre d'océanologie de Marseille, une équipe s'était lancée dans l'étude des gènes de développement des chétognathes, en particulier les gènes *Hox*, qui spécifient l'organisation antéro-postérieure de l'organisme. De manière inattendue, l'un des six gènes répertoriés présentait une grande originalité: c'était un gène mosaïque, aux caractéristiques à la fois de gènes *Hox* connus pour organiser l'avant et le milieu des animaux, et d'autres gènes *Hox* connus pour organiser la partie postérieure. Or en 2017, Andreas Fröblius, de l'université de Giessen, en Allemagne, et Peter Funch, de l'université d'Aarhus, au Danemark, ont trouvé chez un rotifère un gène mosaïque identique! Chétognathes et rotifères sont donc probablement des proches parents.

Puis, en 2019, une équipe de l'institut de science et technologie d'Okinawa, au Japon, autour de Ferdinand Marlétaz, a mené un travail très soigné de phylogénomique pour prendre en compte l'hétérogénéité de la composition des séquences nucléiques et minimiser ainsi

LE NOUVEL ARBRE DES PROTOSTOMIENS

Après avoir côtoyé tour à tour annélides (sangues, vers de vase, lombrics...), nématodes (vers non segmentés) et mollusques, les chétognathes font aujourd'hui partie d'un nouveau taxon, les gnathifères, aux côtés d'autres animaux marins ou d'eau douce comme les rotifères, les gnathostomulides et *Limnognathia maerski* (non représenté sur cet arbre simplifié). Hormis les chétognathes et le fossile *Amiskwia*, les gnathifères connus sont microscopiques.



les artéfacts de reconstruction des phylogénies. La résolution en a été largement améliorée et, ô surprise, les chétognathes se sont retrouvés... dans les gnathifères (voir l'encadré ci-dessus).

Ainsi, la découverte d'un nouveau taxon, les gnathifères, a résolu le mystère des chétognathes: ces animaux marins centimétriques appartiendraient bien à ce groupe, aux côtés de leurs minuscules cousins, les rotifères et les gnathostomulides. Comment une telle différence de taille est-elle possible chez des animaux si proches? Un fossile a tout récemment fourni une réponse. En 2019, en effet, Jean-Bernard Caron et Brittany Cheung, de l'université de Toronto, ont réinterprété *Amiskwia*, un fossile du Cambrien, il y a environ 500 millions d'années.

On avait d'abord vu ce fossile comme un chétognathe avant d'abandonner cette interprétation. Mais les deux chercheurs ont décelé des mâchoires en bon état dans son pharynx, mâchoires qui ressemblent profondément à celles des gnathostomulides... Ainsi, les gnathifères ont reçu un fossile de choix, qui prouve l'ancienneté du groupe. Or *Amiskwia* mesure quelques centimètres... Les gnathifères présentent donc une dynamique évolutive intéressante de miniaturisation. Si les chétognathes sont restés de taille centimétrique, les autres membres du groupe sont devenus minuscules. Qui aurait eu l'idée de classer des géants parmi des nains? ■

BIBLIOGRAPHIE

F. Marlétaz et al., **A new spiralian phylogeny places the enigmatic arrow worms among gnathiferans**, *Curr. Biol.*, vol. 29, pp. 312-318, 2019.

J.-B. Caron et B. Cheung, ***Amiskwia* is a large Cambrian gnathiferan with complex gnathostomulid-like jaws**, *Commun. Biol.*, vol. 2, article 164, 2019.

A. Fröblius et P. Funch, **Rotiferan *Hox* genes give new insights into the evolution of metazoan bodyplans**, *Nat. Commun.*, vol. 8, article 9, 2017.

D. Papillon et al., ***Hox* gene survey in the chaetognath *Spadella cephaloptera*: Evolutionary implications**, *Dev. Genes Evol.*, vol. 213, pp. 142-148, 2003.