

L'intestin spiralé des requins, du biomimétisme à l'envers...



CURIOSITÉS MARINES

Denis Allemand,
directeur scientifique
du centre scientifique
de Monaco



Le requin bonnet (*Sphyrna tiburo*) (cliché M. Baker/CC).

Nous avons souvent parlé de biomimétisme dans cette chronique. Le biomimétisme « s'inspire des multiples possibilités offertes par l'étude de la nature pour produire des biens de manière durable » nous racontent Alain Thiéry et Cécile Breton dans leur ouvrage consacré à ce sujet. Il existe cependant des cas où la description naturaliste intervient après l'invention humaine. C'est le cas de l'intestin spiralé des requins et une étude publiée en 2021 dans la revue *Proceedings Royal Society B*

suggère que celui-ci pourrait fonctionner comme une valve Tesla.

Nikola Tesla, un inventeur prolifique

Si le nom de cet ingénieur américain, né dans l'actuelle Croatie, est aujourd'hui surtout lié à la voiture ou à l'unité d'induction magnétique qui portent son nom, il a surtout été un des pionniers de l'étude de l'électricité et l'auteur de plus de 300 brevets. Parmi ceux-ci, on compte celui

de la valve Tesla, appelée conduit valvulaire (*valvular conduit*) par son inventeur. Publié en 1920, le procédé est ainsi décrit: « *L'intérieur du conduit est pourvu d'élargissements, d'évidements, de saillies, de chicanes ou de godets qui, tout en n'offrant pratiquement aucune résistance au passage du fluide dans une direction, autre que la friction de surface, constituent une barrière presque infranchissable à son écoulement dans la direction opposée.* »

Il s'agit ainsi d'un clapet anti-retour dont l'originalité principale est d'être totalement dépourvu de pièces mobiles. Pure invention issue du cerveau de Nikola Tesla, il imitait sans le savoir la structure des intestins des requins.

Une connaissance ancienne

Les "poissons" se partagent entre poissons osseux (actinoptérygiens) et poissons cartilagineux

(chondrichthyens). L'intestin des premiers se compose, comme chez les autres vertébrés, de deux segments, l'intestin grêle et le gros intestin. Les requins et les raies, quant à eux, ne possèdent qu'un seul segment, l'intestin spiralé, relié à l'estomac et au rectum par deux courtes portions, la proximale et la distale. Comme la plupart de ces animaux sont carnivores et consomment relativement peu de nourriture, leur intestin est relativement "court", égal ou inférieur à la longueur de leur corps. Cette curieuse forme spiralée est connue depuis le milieu du XVII^e siècle. Le premier chercheur à mentionner l'existence de ces spirales est le médecin italien Marcus Aurelius Severinus (1580-1656): « *de petites membranes assez larges entortillées en spirales pour retarder les matières fécales* ». Il est le premier à suggérer que cette anatomie particulière ralentirait le transfert du bol alimentaire.

Jusqu'à aujourd'hui, ces structures ont été décrites dans la littérature à l'aide d'illustrations, de photographies de dissections ou d'images histologiques en deux dimensions. Cependant, aucune de ces méthodes ne permet d'analyser les structures telles qu'elles se trouvent dans

l'intestin, ni leur fonctionnalité potentielle. L'idée qui persiste depuis le XVII^e siècle est que ces structures ralentiraient le transit intestinal et étendraient la surface et le volume de l'intestin, palliant sa faible longueur et favorisant l'absorption des nutriments. Mais cette hypothèse était, jusque-là, peu étayée par des données expérimentales quantitatives.

Les requins, seigneurs des mers

Alors que les requins fascinent les hommes depuis les temps anciens, il est curieux de constater que leur physiologie reste peu connue. Pourtant, ces animaux sont originaux sur bien des points. L'absence de vessie natatoire donne au requin une flottabilité négative qui l'oblige à nager en permanence pour demeurer dans la colonne d'eau, nage facilitée par la silhouette fuselée de l'animal. Pour compenser cette absence de vessie natatoire, le foie a subi un fort développement et peut atteindre chez certaines espèces la moitié du corps de l'animal. Il est riche en lipides (en particulier le squalène), ce qui améliore la flottabilité – mais contribue à la surpêche de ces animaux du fait de l'intérêt alimentaire ou cosmétique

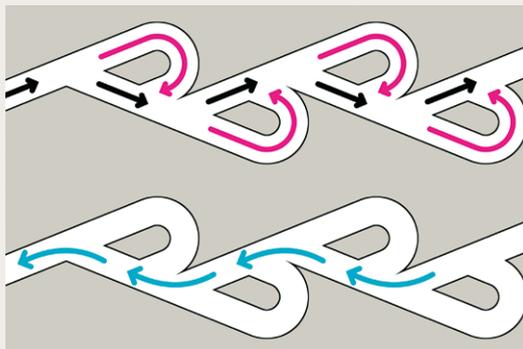
de ces substances. Ses facultés sensorielles, tant olfactives qu'auditives (il est sensible aux vibrations de basse fréquence) sont exceptionnelles; il est en outre capable de percevoir les champs électriques et les gradients de température par des organes sensoriels spécifiques, les ampoules de Lorenzini.

On prête encore trop souvent aux requins un appétit féroce. Uniformément reconnus comme carnivores, il a pourtant été démontré que certains requins consommaient de grandes quantités de plantes marines (jusqu'à 62 % de la masse du contenu intestinal chez le requin bonnet, *Sphyrna tiburo*!) sans que l'on sache si cette nourriture était assimilable ou pas. Malgré cela, la physiologie digestive des requins est très mal connue, limitée chez les poissons aux espèces d'aquaculture. C'est pour combler ces lacunes que la jeune chercheuse américaine Samantha Leigh, étudiante à l'université de Californie, à Irvine, a choisi de faire sa thèse sur ce thème.

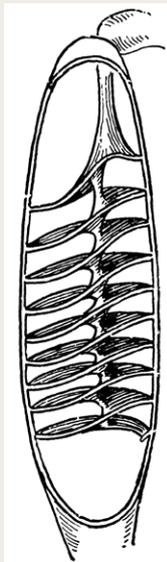
La tomodynamométrie appliquée à l'étude de l'intestin spiralé

Le Dr Samantha Leigh, aujourd'hui *assistant professor* à l'université d'État de Californie Dominguez Hills, à Carson (banlieue de Los Angeles), a réalisé sa thèse sur la physiologie digestive des requins. Pour tenter de mieux comprendre la façon dont se nourrissaient ces animaux, elle a utilisé des méthodes de pointe, déclarant qu'« *Il était grand temps qu'une technologie moderne soit utilisée pour examiner ces intestins en spirale vraiment étonnants des requins.* » Elle a notamment utilisé la tomodynamométrie: utilisant les différents

Schéma simplifié du principe de fonctionnement de la valve Tesla. L'écoulement du fluide se fait très facilement de la droite vers la gauche (flèches bleues); il est bien plus turbulent et contrarié dans la direction inverse (flèches rouges), ce qui limite les reflux (image Cmglee/CC).



L'intestin en spirale
d'un requin
(J. Arthur Thomson,
M.A., LL.D. *Outlines
of Zoology*, 1916).



niveaux d'absorption des rayons X par les tissus, le scanner d'analyse tomographique permet d'obtenir des séries d'images numériques de coupes sous différents angles. Ces images sont ensuite assemblées par traitement informatique pour construire des images 3D des structures anatomiques analysées. Son principal modèle d'étude est le requin bonnet (*Sphyrna tiburo*) déjà évoqué plus haut, un petit requin-marteau des eaux chaudes et peu profondes, abondant de part et d'autre de l'Amérique centrale.

Samantha Leigh et ses collègues ont ainsi prélevé l'intégralité du tube digestif d'une trentaine de requins appartenant à 22 familles différentes (provenant principalement de collections de musées). Pour conserver ces organes dans un état naturel, les chercheurs les ont remplis de liquide et les ont lyophilisés. Ils ont ensuite créé des modèles en trois dimensions des intestins des requins à l'aide de la tomographie à rayons X assistée par ordinateur.

Ces modèles numériques en 3D, ainsi que des expériences au cours desquelles les chercheurs ont pompé du liquide dans les intestins des requins, ont démontré que la forme en spirale ralentit considérablement le passage des aliments, comme suggéré dans la littérature. Il a également été démontré que cette architecture spiralée favorisait un flux unidirectionnel dans le tube digestif, réduisant potentiellement l'énergie que les requins dépensent pour pousser les aliments dans la bonne direction par des contractions musculaires. Cette adaptation originale permettrait aussi aux contractions segmentaires intestinales de mieux mélanger le bol alimentaire sans risque de reflux important. Ensemble, ces deux mécanismes aideraient les requins à extraire chaque calorie de leur nourriture au cours d'un transit qui peut durer plusieurs jours. L'intestin spiralé des requins aurait ainsi un fonctionnement similaire à la valve unidirectionnelle de Tesla, inventée il y a une centaine d'années!

L'intestin spiralé des requins a évolué il y a environ 450 millions d'années (des coprolithes fossiles sont connus au Crétacé), ce qui suggère qu'il s'agit d'une structure efficace dans le processus digestif.

Des requins herbivores

Mais ce n'est pas le seul résultat original de la thèse de Samantha Leigh. À l'aide de techniques utilisant des plantes marines marquées à l'aide d'isotopes stables du carbone (^{13}C),

elle a démontré que les requins assimilaient le carbone végétal avec une digestibilité de l'ordre de 50 %. Cette digestibilité est facilitée par un riche microbiote qui réalise une fermentation microbienne générant des molécules (comme des acides gras à chaînes courtes) qui peuvent être absorbées et utilisées par l'animal. Les requins nous réservent ainsi bien des surprises, et le mythe du requin purement carnivore s'effondre! ■

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

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Gudger E. W., 1950** – "The history of the discovery (1600-1680) of the spiral valve in the large intestine of elasmobranchs and a ganoid", *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 66(1), p. 53-69.
- **Leigh S. C., Papastamatiou Y. P. et German D. P., 2018** – "Seagrass digestion by a notorious 'carnivore'", *Proceedings of the Royal Society B*, 285 [Doi: 10.1098/rspb.2018.1583].
- **Leigh S. C., Papastamatiou Y. P. et German D. P., 2021** – "Gut microbial diversity and digestive function of an omnivorous shark", *Marine Biology*, 168(55), p. 1-16 [Doi: 10.1007/s00227-021-03866-3].
- **Leigh S. C., Summers A. P., Hoffmann S. L. et German D. P., 2021** – "Shark spiral intestines may operate as Tesla valves", *Proceedings of the Royal Society B*, 288, [Doi: 10.1098/rspb.2021.1359].
- **Thierry A. et Breton C., 2017** – *Biomimétisme, on n'a rien inventé!*, Le Cavalier Bleu éditions / Espèces.

Vidéos :

- Sur l'intestin spiralé du requin : <https://youtu.be/ycE3NDXvEOU>
- Sur la valve de Tesla : <https://youtu.be/tcV1EYSUQME>