

# Les tuniciers, concentrateurs de métal rare



**N**ous avons déjà parlé des Tuniciers (Tunicata), ces organismes qui constituent le groupe frère des vertébrés dans une chronique précédente (*voir Espèces n° 39, mars 2021*). Contrairement aux autres animaux, ils sont capables de synthétiser la cellulose qui compose leur “tunique”. Ce groupe est

divisé en trois classes, les Thaliacea (Thaliacés), les Appendicularia (Appendiculaires) et les Ascidiacea (Ascidies); ces dernières représentent la très large majorité des espèces et ce sont elles qui vont nous intéresser dans cette chronique. Les ascidies vivent fixées au substrat à l'état adulte. Elles possèdent deux orifices

Vous trouvez les ascidies bizarres ?  
Vous n'êtes pas au bout de vos surprises... (cliché C. Gloor/CC).



## CURIOSITÉS MARINES

**Denis Allemand,**  
directeur scientifique  
du Centre scientifique de Monaco

appelés siphons : le siphon buccal qui sert à aspirer l'eau de mer et le siphon cloacal qui sert à rejeter cette eau après filtration par le pharynx (ou sac branchial). Les particules absorbées au niveau du pharynx sont transportées par le tube digestif. Comme chez les insectes, le sang, excepté au niveau du cœur, ne circule pas dans les vaisseaux sanguins mais dans des espaces ouverts, appelés sinus sanguins. Le cœur présente une particularité unique dans le monde animal : ses contractions s'inversent toutes les 2 à 3 minutes, après un arrêt momentané, et propulsent ainsi le sang tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre dans les sinus.

### Une capacité unique à concentrer le vanadium

Les ascidies sont des animaux vraiment curieux car, en dehors des particularités déjà mentionnées, elles accumulent dans leur corps de très grandes quantités d'un métal rare,

Cristal de vanadium. Très rare sous cette forme, cet élément est aussi présent à l'état très dilué dans l'eau des océans (cliché CC).



le vanadium. Cette capacité a été découverte il y a plus de 110 ans en utilisant des méthodes de coloration chimique chez l'ascidie méditerranéenne, *Phallusia mammillata*, collectée dans la baie de Naples par le physiologiste et chimiste allemand Martin Henze : « *D'un point de vue chimique, il n'y a presque aucune information sur le sang de l'ascidie, et pourtant je crois pouvoir montrer dans cette première communication qu'il offre beaucoup de choses extrêmement intéressantes et qui s'écartent des conditions habituelles.* » Martin Henze pense alors que ce composé pourrait jouer un rôle dans le transport d'oxygène. Cette découverte de l'hyperaccumulation, chez un animal marin, d'un métal en très faible concentration dans la mer (33 nM soit environ 1 µg/l, voir encadré page suivante) va rapidement provoquer une vague d'études de chimie, de biochimie, de physiologie et de zoologie. Le vanadium est un métal rare, identifié au Mexique en 1801, mais

dont l'utilisation dans des alliages remonte au Moyen Âge – c'est à sa présence que l'on doit la qualité des lames en acier dit damassé (ou "acier de Damas"). Des études comparées montrent que le record d'accumulation de vanadium est détenu par une ascidie présente à faible profondeur dans le bassin indo-pacifique, *Ascidia gemmata* : la concentration de vanadium dans ses tissus atteint la valeur de 350 mM, soit 10 millions de fois plus que la concentration du vanadium de l'eau de mer. Il s'agissait même, jusque très récemment, de la plus haute concentration d'un métal quel qu'il soit, observée dans un organisme vivant.

### Comment arriver à une telle concentration ?

De très nombreuses études (la majorité réalisée par le groupe japonais du professeur Tatsuya Ueki, de l'université de Hiroshima) ont cherché à percer le mystère de cette exceptionnelle capacité de concentration du vanadium chez les tuniciers. Ce métal semble être absorbé à partir du tube digestif où des bactéries symbiotiques pourraient le concentrer dans la lumière\* du tube digestif, facilitant par la suite son absorption par les cellules intestinales. Afin de franchir les membranes cellulaires, le

\* **Lumière** : espace interne d'un organe creux, comme le tube digestif.

# Mesurer une concentration

La **mole (mol)** est une unité de mesure standard de la quantité d'un atome, d'un ion, d'une molécule, etc. qui correspond à  $6,022 \times 10^{23}$  unités (environs six-cent-mille-milliards de milliards!). La **mole par litre (mol/l, ou M**, dite à l'oral "molaire") correspond à une mesure de la concentration de cet élément dans un milieu liquide. Elle est souvent exprimée en millimolaire (1 mM =  $1 \times 10^{-3}$  M), micromolaire (1  $\mu$ M =  $1 \times 10^{-6}$  M) ou nanomolaire (1 nM =  $1 \times 10^{-9}$  M).

vanadium pourrait être absorbé par les cellules *via* des protéines de transport... qui restent encore à identifier, même si des indices suggèrent qu'une protéine de transport du phosphate pourrait être impliquée. Une fois absorbé par la cellule intestinale, le vanadium est transféré dans le sang de l'ascidie à l'aide de protéines qui, seules, peuvent le fixer, les vanabines. Il est ensuite absorbé par certaines cellules sanguines, appelées pour cette raison vanadocytes; ces cellules stockent le vanadium dans leurs vésicules intracellulaires très acides.

## Des gradients au cœur de la vie cellulaire

Rappelons que l'une des étapes fondamentales de l'évolution de la vie a été la création de la cellule qui a séparé un milieu "intracellulaire" du milieu extérieur. Cette séparation allait favoriser l'installation d'une différence de concentration des substances entre ces deux milieux – on parle de gradient chimique – que la cellule établit en consommant de l'énergie. Comme exemple de gradient, on peut mentionner celui de sodium ( $\text{Na}^+$ ): la cellule d'un invertébré marin contient environ 40 fois moins d'ions sodium que l'eau de mer externe. Ce gradient est utilisé lui-même comme source d'énergie pour concentrer d'autres molécules,

comme le glucose ou les acides aminés. Le principe est le même que pour l'eau retenue par un barrage: en la laissant s'écouler de l'autre côté dans le sens de la gravité, on peut générer de l'énergie électrique. Autre exemple: la concentration en calcium du cytoplasme de la cellule est d'environ 0,1  $\mu$ M alors qu'elle est de 10 mM dans l'eau de mer, soit un gradient de 100 000 entre les deux milieux! Cet énorme gradient est utilisé pour réguler le fonctionnement de la cellule. Certaines cellules spécialisées, quant à elles, fonctionnent en accumulant des éléments qui sont moins concentrés dans le milieu extérieur. C'est le cas des cellules de la glande thyroïde des vertébrés, qui concentrent l'iode utilisé pour fabriquer les hormones



Une ascidie comestible, dite "figure de mer" ou "violette" (*Microcosmus sabatieri*), coupée en deux avant consommation. Rassurez-vous, celle-ci n'accumule pas le vanadium (cliché B. Prieur/domaine public).

thyroïdiennes: la concentration d'iode dans ces cellules est 50 fois plus importante que dans le milieu sanguin extérieur. L'ascidie dépasse ainsi toutes ces valeurs en concentrant le vanadium.

## Pourquoi les ascidies accumulent-elles le vanadium?

Le transport puis la concentration du vanadium au sein des cellules sanguines nécessitent beaucoup d'énergie, suggérant un rôle important de ce métal dans la biologie du tunicier. La première hypothèse, proposée par Henze en 1911, postulait que le vanadium jouait un rôle dans le transport d'oxygène, au même titre que le fer dans nos globules rouges. Cette hypothèse a été invalidée à la fin des années soixante-dix. Par la suite, d'autres hypothèses ont été proposées: rôle dans la synthèse de cellulose, mécanisme de défense contre les prédateurs, rôle antibactérien, rôle d'antifouling\*... mais aucune de ces hypothèses n'a reçu les preuves nécessaires à leur validation. Sur la base de la découverte en 2018 de protéines d'adhésion fixant le vanadium, le groupe du professeur Ueki a suggéré que ce métal pourrait jouer un rôle dans l'adhésion très forte des ascidies à leur substrat. Mais, à ce jour, aucune preuve

\* **Antifouling**: substance qui empêche des organismes de se fixer sur une surface. Les peintures antifouling empêchent ainsi la coque des bateaux d'être recouverte d'organismes marins divers.



ne vient confirmer cette hypothèse et la fonction exacte du vanadium chez les tuniciers reste inconnue. La recherche a encore de belles découvertes à faire...

## Les éponges aussi ?

Une étude récente publiée par des chercheurs d'Aix-Marseille Université, associés à des chercheurs de la station biologique de Roscoff et de l'université de Grenoble, vient de démontrer que deux éponges de Méditerranée, *Oscarella lobularis* et *O. tuberculata* étaient également capables de concentrer le vanadium, à des teneurs encore supérieures à celles des ascidies ! Curieusement, aucune des cinq autres éponges testées n'était capable de concentrer ce métal, exploit qui semble restreint à la famille des Oscarellidae. Peu des gènes identifiés chez les tuniciers, codant des protéines impliquées dans la concentration du vanadium, ont été retrouvés chez ces deux éponges. Les auteurs suggèrent donc que ce processus d'absorption du vanadium a évolué indépendamment dans les deux embranchements. Comme chez les tuniciers, le rôle de cette exceptionnelle accumulation reste inexplicé, mais les auteurs suggèrent que ces éponges pourraient être utilisées à l'avenir pour nettoyer, et ainsi décontaminer l'océan des pollutions au vanadium dues à nos activités, un processus appelé bioremédiation. On nettoiera donc peut-être bientôt l'océan à coups d'éponge ! ■

Plus forte encore que les ascidies dans l'accumulation du vanadium de l'eau de mer : l'éponge *Oscarella lobularis* (cliché G. Parent/domaine public).



Je remercie Élodie Guiolot pour m'avoir communiqué l'étude de De Pao Mendonca et ses collaborateurs. Retrouvez d'autres chroniques et de nombreuses informations sur : [www.centrescientifique.mc](http://www.centrescientifique.mc). Une bibliographie complémentaire à cet article est aussi disponible sur le site internet d'*Espèces*.

## POUR EN SAVOIR PLUS

- De Pao Mendonca K. *et al.*, 2024 – "Hyper-accumulation of vanadium in animals: Two sponges compete with urochordates", *Science of the Total Environment*, 914 [Doi : 10.1016/j.scitotenv.2023.169410].
- Michibata H. et Ueki T., 2010 – "Advances in research on the accumulation, redox behavior, and function of vanadium in ascidians", *Biomolecular Concepts*, 1(1), p. 97-107 [Doi : 10.1515/bmc.2010.003].
- Michibata H. *et al.*, 2003 – "Molecular biological approaches to the accumulation and reduction of vanadium by ascidians", *Coordination Chemistry Reviews*, 237(1-2), p. 41-51 [Doi : 10.1016/S0010-8545(02)00278-3].
- Ueki T. et Adi T. K., 2019 – "Mechanism of vanadium accumulation and possible function of vanadium in underwater adhesion in ascidians", *AIP Conference Proceedings*, 2120(1) [Doi : 10.1063/1.5115602].
- Ueki T. *et al.*, 2014 – "Vanadium accumulation in ascidians: a system overview", *Coordination Chemistry Reviews*, 301-302, p. 300-308 [Doi : 10.1016/j.ccr.2014.09.007].