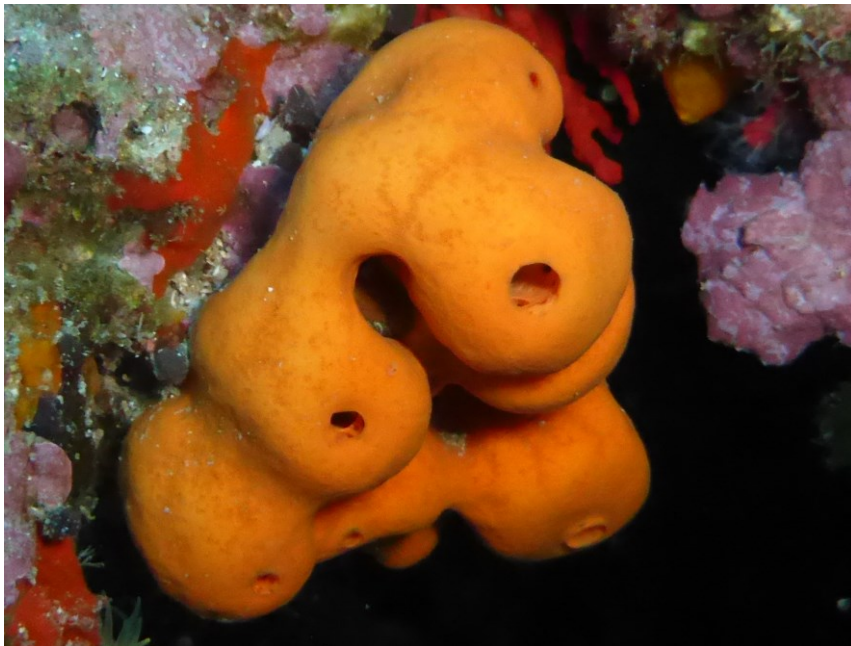


La filtration dans tous ses états !



Mémoire FB3

Sébastien Lecomte - Septembre 2021

Les textes, les illustrations réalisées par l'auteur et les illustrations issues d'illustrations sous licence Créative Commons sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons.



Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions
CC BY-NC-SA 4.0 - [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>]

Les photos et illustrations de Doris sont utilisées selon les termes de la licence Doris [<https://doris.ffessm.fr/Droits-d-auteur-FO>], compte tenu de leur utilisation « *dans document électronique remis lors d'une formation biologie dans le cadre de la FFESSM* » et ne peuvent être réutilisées en dehors du cadre de cette licence ou sans autorisation préalable de leur auteur.



Licence DORIS

Les autres illustrations de ce document ne peuvent être reproduites ou utilisées sans autorisation préalable de leur auteur dont le nom est systématiquement mentionné.

Sommaire

Introduction	4
La filtration : des origines à aujourd'hui	5
La nature des différents mélanges filtrés	8
Filtration des liquides	8
Filtration des solides	16
Filtration des gaz	18
Filtration de la lumière	20
Filtration du son	25
La filtration au service des fonctions vitales	28
La respiration	28
L'alimentation	36
L'excrétion	48
La reproduction	54
Conclusion	55
Remerciements	56
Références	57

Introduction

La notion de filtration dans le monde vivant est bien plus étendue qu'on ne pourrait l'imaginer en première approche. Etudier le fonctionnement des organismes en recherchant où elle intervient permet une approche transversale et originale de la vie subaquatique.

C'est l'objectif de cette étude : présenter la filtration, sous toutes ses formes ! Le lecteur qui aura choisi d'ouvrir ce document pour en commencer la lecture aura très probablement déjà certaines notions sur le sujet, et ne découvrira probablement pas que certains animaux tels que les éponges ou les moules filtrent l'eau afin d'y trouver leur nourriture.

Mais au-delà de se focaliser sur cette filtration, qui est un mode d'alimentation, pratiquée par de nombreux animaux marins, l'objectif retenu a été de couvrir plus largement la notion de filtration. En effet, celle-ci va bien au-delà des fonctions d'alimentation et se retrouve sous des formes très diversifiées chez l'ensemble des organismes, mais également dans le milieu environnant.

Dans un premier temps cette étude détaille le fonctionnement des différents types de filtration, avec une approche relativement technique et théorique des mécanismes en jeu.

Puis dans un second temps, l'approche sera plus concrète, et c'est à travers les différentes fonctions physiologiques des organismes et des exemples plus concrets que nous retrouverons la mise en œuvre de ces mécanismes.

Il semble important de préciser dans cette introduction, que cette étude et les nombreux échanges qu'elle a occasionnés n'ont pas abouti à un consensus permettant de définir précisément les notions de filtration et d'animal filtreur. L'auteur, la littérature, les différentes personnes qui ont été sollicitées lors de ce travail, les relecteurs et notamment les INBS tuteurs, ne partagent pas totalement les mêmes définitions de ces termes. Cette situation qui porte avant tout sur la sémantique n'aura cependant pas été un frein à cette étude dont l'objectif est avant tout de proposer une approche permettant de comprendre le fonctionnement et l'organisation de la vie subaquatique.

La filtration : des origines à aujourd'hui

En regardant le monde qui nous entoure, la filtration est partout. Notre quotidien est entouré de ce que nous appelons des « filtres » : filtre à café, filtre à cigarette, filtre à huile, filtre à air...



Nous sommes entourés de filtres... !

Mais il y a aussi tous les filtres qui n'en portent pas le nom... Les lunettes qui nous protègent des UV, l'indispensable passoire permettant d'égoutter les pâtes, le tamis utilisé par les jardiniers, la batée utilisée par les orpailleurs, le chalut d'un bateau de pêche, la crème solaire, le logiciel Antispam qui nous débarrasse des emails indésirables... ou plus spécifiquement pour nous, plongeurs subaquatiques, la cartouche d'un compresseur qui purifie l'air de nos bouteilles de plongée, la membrane nitrox qui permet d'enrichir en oxygène le mélange gazeux de nos bouteilles, le filet qui nous permet de collecter du plancton...

Filtrer, c'est ainsi ce qui permet de débarrasser, séparer, purifier, collecter, éclaircir, épurer, trier, isoler, protéger... !

Revenons aux origines de la filtration :

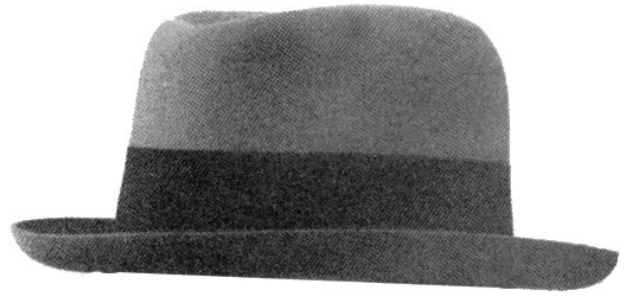
L'origine étymologique de filtre est apparentée au mot feutre, anciennement *feltre*, plus précisément du latin médiéval *filtrum*, du francique *filtir*.

Il y a bien longtemps, Saint-Clément, un moine-errant, qui pour se protéger les pieds pendant sa marche, aurait pris l'habitude de mettre de la laine dans ses chaussures : le mélange sueur et laine, écrasé par ses pieds, se trouvait aggloméré. Devenu ensuite évêque, il aurait alors développé la technique, ce qui lui vaut aujourd'hui d'être le saint patron des fabricants de feutre et des chapeliers en feutre.

Le feutre est un textile qui a la particularité d'être non tissé et fabriqué par pression et ébullition de poils.



Crédit : Badr88pedro, CC BY-SA 4.0
La laine, à l'origine du feutre



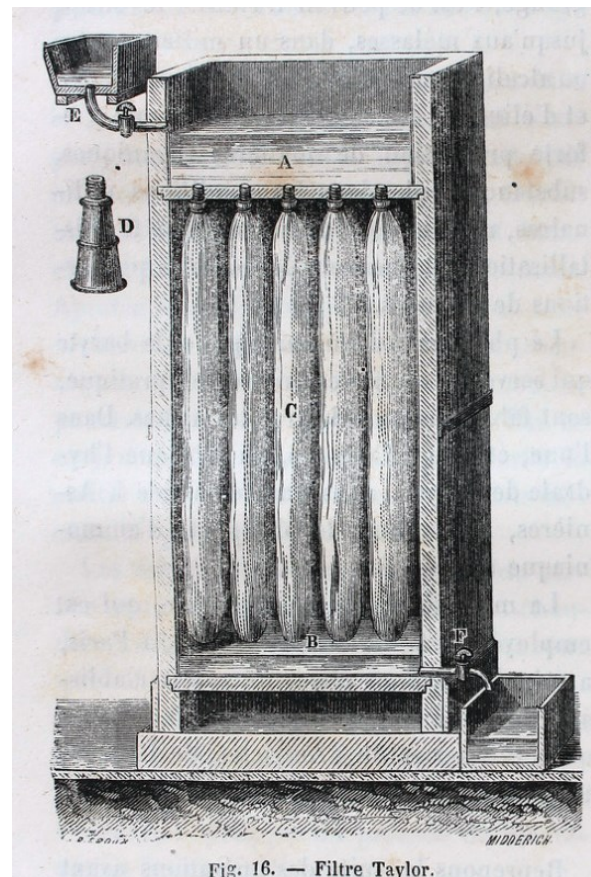
Crédit : Hendrike, CC BY-SA 2.5
Le feutre, à l'origine du filtre

Et c'est plus tard que l'utilisation du feutre, utilisé pour purifier des liquides, a donné son nom aux filtres.

A l'origine, et pendant longtemps avant que les besoins et procédés n'évoluent, la filtration portait uniquement sur les matières solides mélangées dans un liquide : elle avait pour objectif de supprimer les particules qui s'y trouvaient.



A l'origine, les filtres étaient faits de feutre.



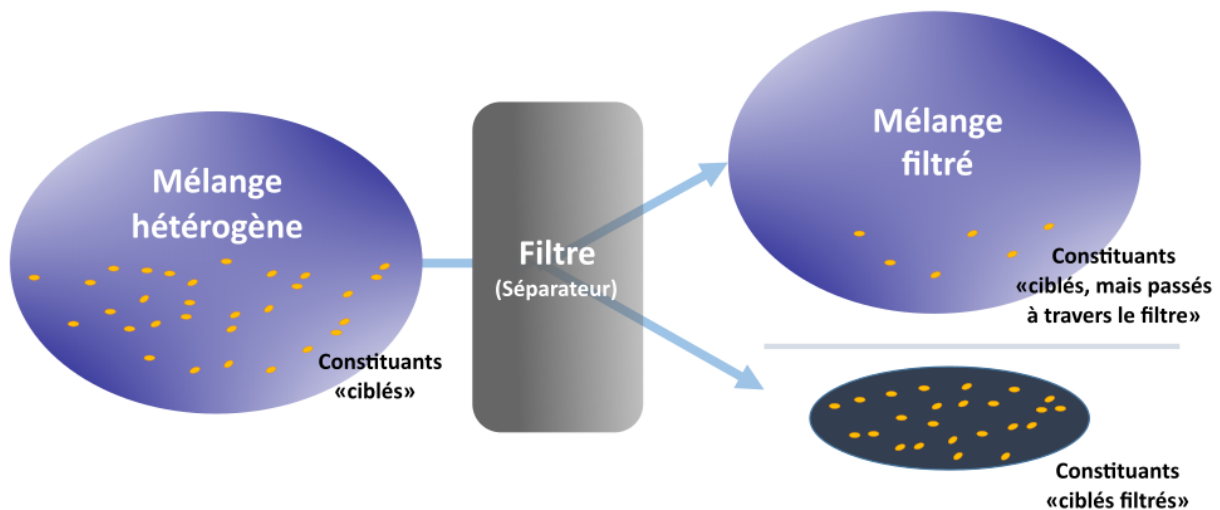
Exemple ancien de filtre permettant de séparer les particules d'un liquide en le faisant passer dans des sacs en textile faisant office de filtres.

Nous avons vu en introduction que de nos jours, les utilisations liées aux besoins se sont étendues et aujourd'hui, la notion est bien plus large : ce n'est plus forcément un liquide qui est filtré. Et de nos jours, l'objectif de la filtration est parfois de valoriser la matière filtrée plutôt que le liquide qui aura été purifié.

C'est cette définition, plus générale, et qui est aujourd'hui très largement adoptée que nous utiliserons par la suite, **filtrer consiste à séparer les constituants d'un mélange hétérogène** :

- L'objectif de la filtration n'est pas forcément de « purifier » le mélange, mais parfois de valoriser les constituants filtrés.
- Le mélange filtré n'est pas forcément liquide.

Il est également important de noter le fait qu'un filtre n'est pas systématiquement efficace à 100%, et qu'une partie des éléments ciblés par la filtration ne sera peut-être pas complètement retenue par le procédé.



Crédit : Sébastien Lecomte

Principe général de la filtration. Un filtre est rarement efficace à 100%.

...à présent, quittons le feutre de nos moutons et revenons-en à des propos plus mer à mer... !

La nature des différents mélanges filtrés

Avant de nous intéresser à l'utilisation de la filtration faite par les organismes vivants, le sujet peut être abordé de façon plus théorique en étudiant la nature du flux filtré et les mécanismes associés.

La filtration trouve ses origines dans l'opération de séparation de particules solides se trouvant dans un liquide. Et en milieu sous-marin, le sujet évoque pour nous, plongeurs naturalistes, les « Filtreurs », ces animaux qui filtrent l'eau pour se nourrir des particules organiques qui s'y trouvent. Pourtant le concept de filtration est utilisé bien au-delà et nous verrons notamment, que même en milieu marin, la filtration ne concerne pas que des flux liquides.

La filtration des liquides

Compte tenu du milieu ambiant, la filtration de liquides est évidemment majoritaire dans la vie sous-marine. Elle peut intervenir à différents niveaux de l'organisation du vivant, à des échelles très différentes :

- Au niveau de la (ou des) cellule(s) qui constitue(nt) un individu
- Au niveau d'un système fonctionnel, composé d'organes spécifiques, que peut posséder un individu

La Filtration au niveau cellulaire : les échanges membranaires

La cellule est l'élément de base constituant les organismes vivants, elle est délimitée par une membrane, elle contient un milieu aqueux, le cytoplasme. Qu'il s'agisse d'un organisme unicellulaire ou d'un organisme multicellulaire, la cellule est une structure dont le fonctionnement nécessite des échanges avec l'extérieur. Le contenu de ces échanges dépend des fonctions et des caractéristiques de la cellule.

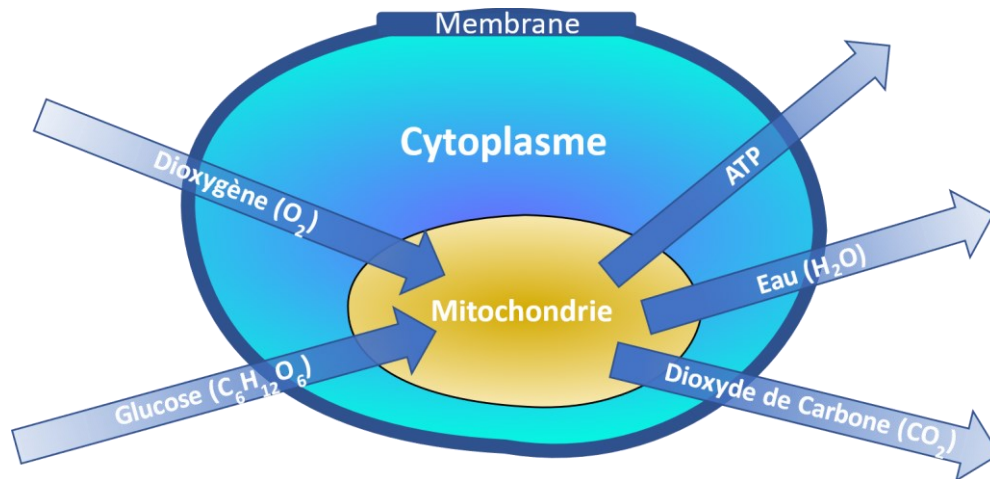
Par exemple, la respiration cellulaire est une fonction fondamentale qui nécessite ces échanges : les cellules ont besoin de transformer le glucose ($C_6H_{12}O_6$) en adénosine triphosphate (ATP) nécessaire à l'organisme pour son développement et son activité. Ceci nécessite pour la plupart d'entre elles de respirer en consommant du dioxyde d'oxygène (O_2) qu'il lui faudra « importer » et en produisant du dioxyde de carbone (CO_2) qu'il lui faudra « exporter ».



La respiration cellulaire aérobie : le CO_2 produit est un déchet à évacuer (L' O_2 et le CO_2 sont sous forme dissoute).

De nombreux échanges de ce type ont lieu entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, ce transport membranaire s'apparente à une filtration qui va permettre à la cellule d'importer uniquement les éléments dont elle a besoin et d'exporter uniquement les déchets et produits, ce fonctionnement est nécessaire à son activité, mais également à sa survie.

La cellule est entourée d'une membrane, celle-ci doit laisser passer certains éléments dans un sens. Et d'autres dans l'autre sens ! Diverses techniques sont utilisées pour effectuer ces tâches, certaines sont dites passives, lorsqu'elles ne consomment pas d'énergie, alors que celles qui en consomment sont dites actives.



Crédit : Sébastien Lecomte

Illustration simplifiée du transport membranaire associé à la respiration :
La membrane doit permettre à la cellule à la fois de laisser entrer certains éléments et d'en faire sortir d'autres.

Transports membranaires passifs

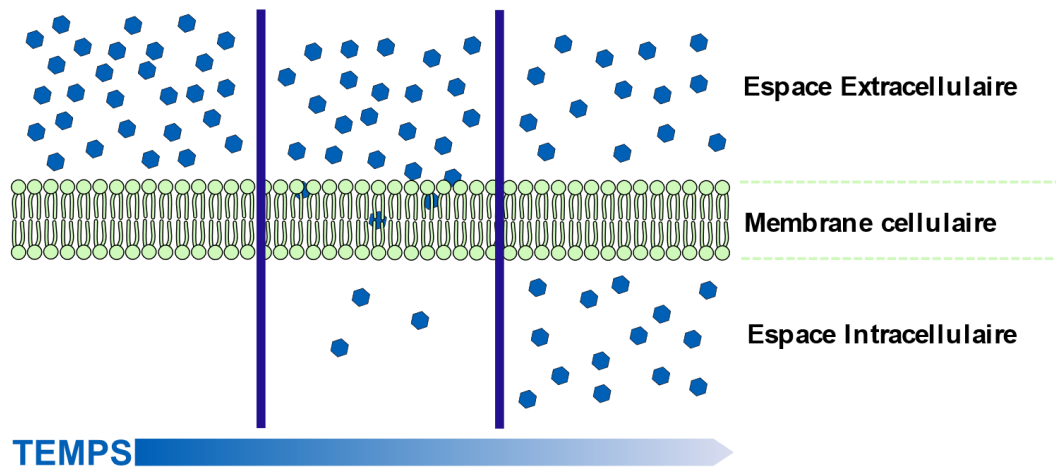
Un transport passif se fait à travers une membrane dite perméable aux éléments, c'est-à-dire molécules ou ions, qui la traversent, on parle de perméabilité sélective de la membrane.

Un transport passif peut être vu comme un passage naturel à travers une membrane qui permet d'équilibrer les concentrations de chaque côté de celle-ci. Il s'agit de la diffusion, qui peut être simple (= libre) ou facilitée, et de l'osmose.

Transport par diffusion

La diffusion nécessite une membrane perméable aux éléments qui la vont la traverser, elle agit comme un filtre qui laisse passer certaines molécules dites « solubles » dans la membrane et retiendra d'autres éléments, par exemple de taille plus importante.

La **diffusion simple (ou libre)** se résume au déplacement des éléments dans le sens des concentrations fortes vers les concentrations faibles.



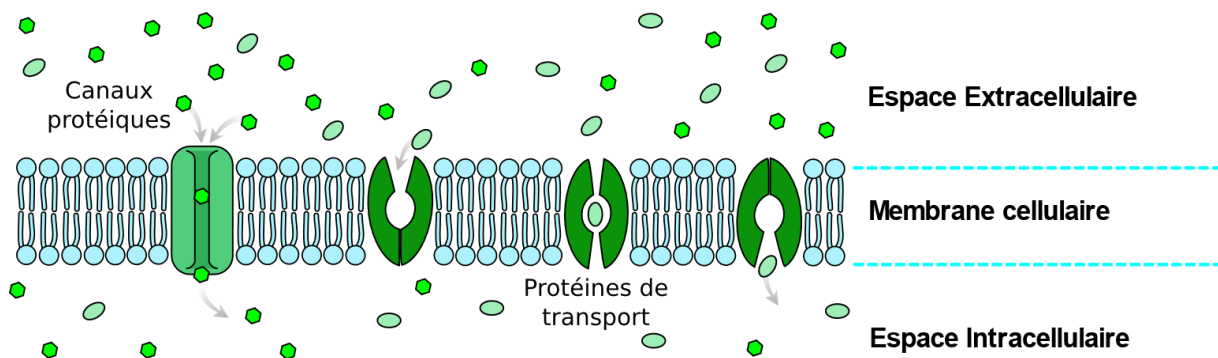
Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)

La diffusion simple : les propriétés physiques de la membrane de la cellule permettent un passage naturel, du haut vers le bas sur le schéma, jusqu'à l'équilibre des concentrations.

C'est un filtre qui se base sur les propriétés physico-chimiques de la membrane de la cellule, sa mise en fonction dépend uniquement de la différence de concentration de chaque côté de la membrane.

La vitesse de la diffusion dépend quant à elle de la différence de concentration, de la taille des éléments et de la température, ce mode de transport est relativement lent par rapport à d'autres mécanismes.

La **diffusion facilitée** est un mode de transport qui comme la diffusion libre repose sur la différence de concentration. Cependant, la traversée de la membrane se fait à l'aide des protéines de transport qui sont de 2 types : les canaux protéiques à travers lesquels les molécules peuvent passer et les protéines de transport qui changent de forme lors du passage de la molécule.



Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)

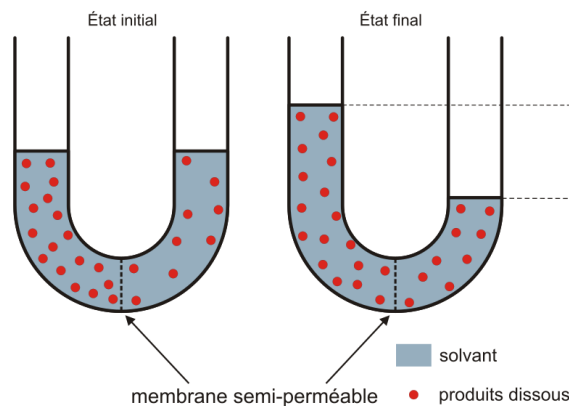
Illustration de la diffusion facilitée permettant à des molécules d'entrer dans la cellule : à gauche, un canal protéique permet le passage. À droite, 3 protéines de transport changeant de forme lors du passage des molécules.

La diffusion facilitée est plus rapide que la diffusion libre, elle permet une sélectivité plus précise des molécules, et la régulation peut se faire grâce à la fermeture des canaux protéiques. Sa vitesse dépend principalement du nombre de protéines de transport.

Osmose

Dans le cas où la membrane laisse passer le solvant (l'eau par exemple), mais pas les éléments dissous, la membrane est dite semi-perméable. Elle joue toujours ce rôle de filtre en ne laissant passer qu'une partie du milieu.

Si les concentrations de chaque côté sont différentes, les éléments contenus dans le solvant n'étant pas en mesure de traverser la membrane comme lors de la diffusion, c'est le solvant qui va se déplacer afin d'équilibrer les concentrations. Ce phénomène porte le nom d'osmose.

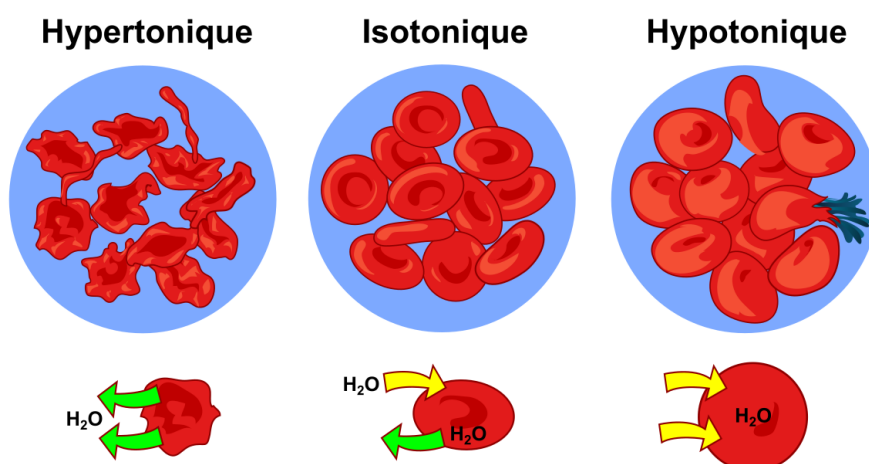


Crédit : Hans Hillewaert / CC BY-SA 4.0 - Modifié par Sébastien Lecomte

Illustration de l'osmose : le solvant traverse la membrane semi-perméable de droite à gauche afin que les concentrations s'équilibrent. Le volume à gauche de la membrane augmente alors que celui de droite diminue.

L'expérience ci-dessus met en évidence le passage du solvant d'un côté à l'autre de la membrane, de droite à gauche de manière que les concentrations s'équilibrent. Une conséquence importante du déplacement du liquide d'un côté à l'autre de la membrane est une variation des volumes.

Ce phénomène entraîne des conséquences très importantes pour les organismes qui ont besoin de maintenir un milieu interne avec des concentrations spécifiques.



Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)

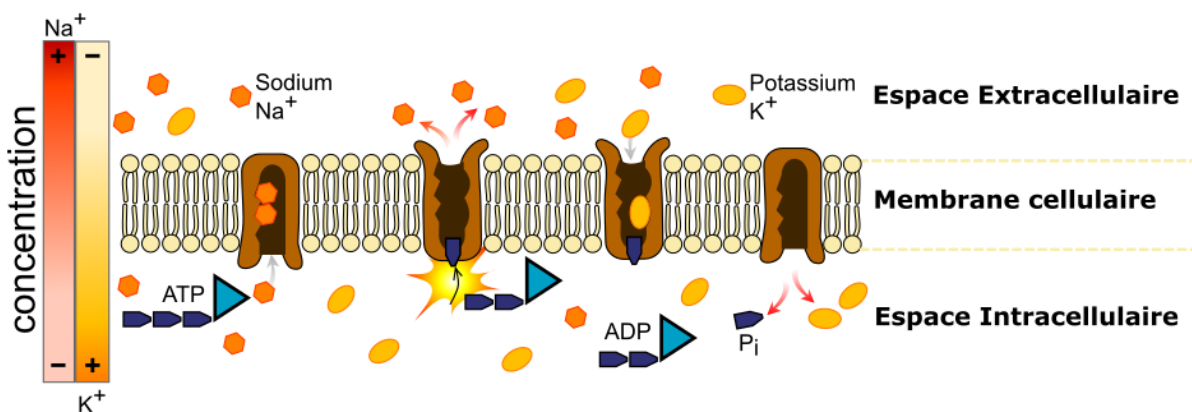
Ces illustrations permettent de visualiser l'effet de l'osmose sur des cellules en faisant varier la concentration en sels de leur milieu externe : à gauche, dans un milieu contenant davantage de sels que dans le milieu interne des globules rouges (hypertonique), ceux-se rétractent. A droite, dans un milieu contenant moins de sels (hypotonique), les globules rouges gonflent, et peuvent aller jusqu'à éclater.

Transports membranaires actifs

Le transport actif est nécessaire pour les molécules dont les propriétés ne permettent pas la diffusion, ou pour aller à l'encontre de la différence de concentration, c'est-à-dire quand la concentration du milieu d'arrivée est supérieure à celle du milieu de départ.

La cellule va devoir consommer de l'énergie pour mettre en œuvre ce mécanisme. Des molécules spécialisées vont devoir prendre en charge cette tâche.

L'exemple ci-dessous détaille le fonctionnement d'une protéine, la « pompe sodium (Na) - potassium (K) » :



Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)
La pompe sodium (Na) - potassium (K) : un exemple de transport membranaire actif

La pompe permet de transférer les ions sodium (Na⁺) du milieu intracellulaire vers le milieu extracellulaire, mais également les ions potassium (K⁺) qui font le trajet inverse.

Ce mécanisme utilise l'énergie issue de la dégradation de l'adénosine triphosphate (ATP) en adénosine diphosphate (ADP), puis en phosphate inorganique (Pi) pour transporter des ions potassium et sodium dans la direction opposée à leur concentration.

La filtration par des organes spécifiques

Les cellules, prises individuellement, interagissent peu avec le milieu physique extérieur (des cils ou des flagelles éventuellement). En plus d'utiliser les mécanismes décrits précédemment au niveau de leurs cellules, de nombreux animaux pluricellulaires (métazoaires), disposent d'organes plus complexes, constitués de cellules spécifiques/spécialisées/variées/organisées qui vont leur permettre d'interagir à une échelle plus importante :

Là où une cellule se situe à une échelle permettant la filtration de molécules ou d'ions, ces organes auront une taille qui leur permettra de filtrer des éléments de taille plus importante : particules, déchets, algues et même dans certains cas des animaux complets.

Alors que les cellules s'appuient sur une évolution de leur milieu interne (liée à leur métabolisme) et du milieu externe (équilibre de la concentration), pour des systèmes plus importants, la filtration implique la présence d'un flux de manière à renouveler le fluide à filtrer : un filtre de taille plus importante va nécessiter d'être alimenté de façon plus importante !

Pour disposer de ce flux, les organismes ont deux options :

- Créer leur propre courant d'eau
- Utiliser un courant d'eau existant

Lorsque l'organisme crée ce flux, la **filtration** est dite **active**, alors que dans le cas contraire, elle est dite **passive**.

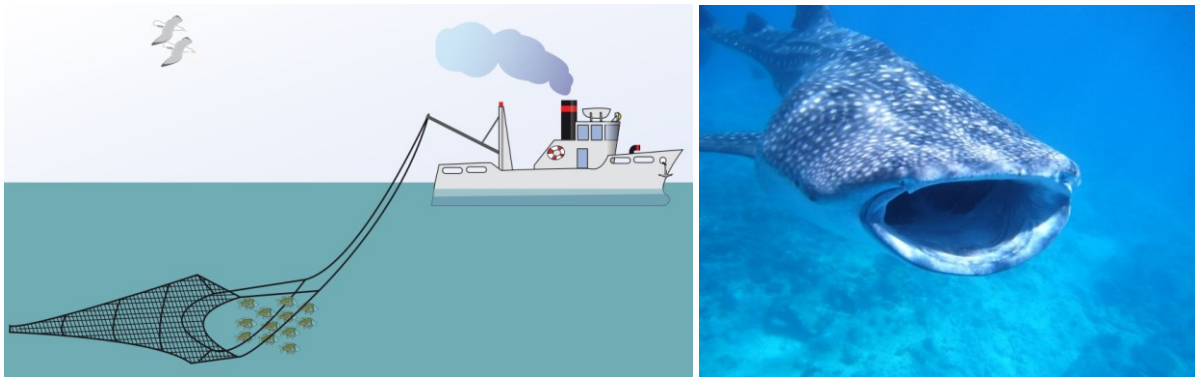
Contrairement à la filtration active, la filtration passive ne consomme pas d'énergie pour créer un flux, mais en contrepartie, elle rend l'organisme très dépendant de ce flux et donc de son environnement.

Les notions de filtreurs actifs et filtreurs passifs présentées ici sont des termes qui ne font pas l'unanimité et dont l'utilisation est parfois controversée.

Filtration active

La filtration active se rencontre dans deux situations principales :

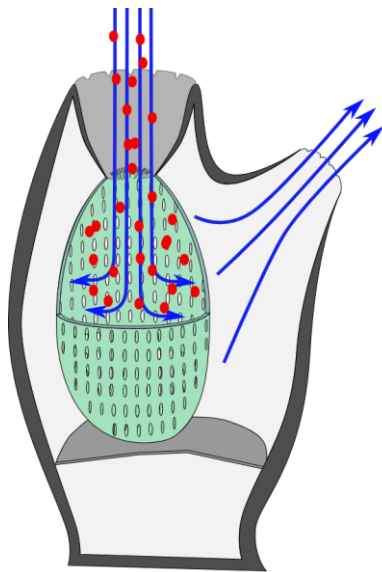
Si l'organisme peut se déplacer, il peut utiliser son déplacement pour créer indirectement ce flux. C'est le principe de l'utilisation d'une époussette, ou encore celui des chalutiers qui trainent leur filet de pêche au large. C'est ce principe qu'utilisent certains animaux comme le requin baleine pour se nourrir.



Crédit : Sébastien Lecomte (Gauche) et Crédit : KAZ2.0, CC BY-SA 4.0 (Droite)

Le déplacement du chalut ou d'un requin baleine gueule ouverte crée indirectement le flux d'eau qui sera filtré.

Si l'organisme est fixé ou peu mobile, il devra mettre en mouvement l'eau de manière coordonnée afin de créer ce flux. De nombreux animaux, notamment les tuniciers, éponges, bivalves ont ainsi développé un mécanisme de pompage interne qui leur permet d'aspirer, filtrer puis rejeter l'eau environnante.



Crédits : Jonathan Flye-Sainte-Marie, modifié par Sébastien Lecomte (Gauche) et Sébastien Lecomte (Droite)
Exemple d'une ascidie simple créant le courant qui va la traverser et qu'elle va pouvoir filtrer.

Afin de créer ce flux, les organismes ont élaboré des systèmes qui s'apparentent à de véritables pompes leur permettant de filtrer d'importantes quantités d'eau.



Crédit : Sébastien Lecomte

L'utilisation d'un colorant, ici de la fluorescéine, permet de mettre en évidence le flux d'eau généré par les éponges.

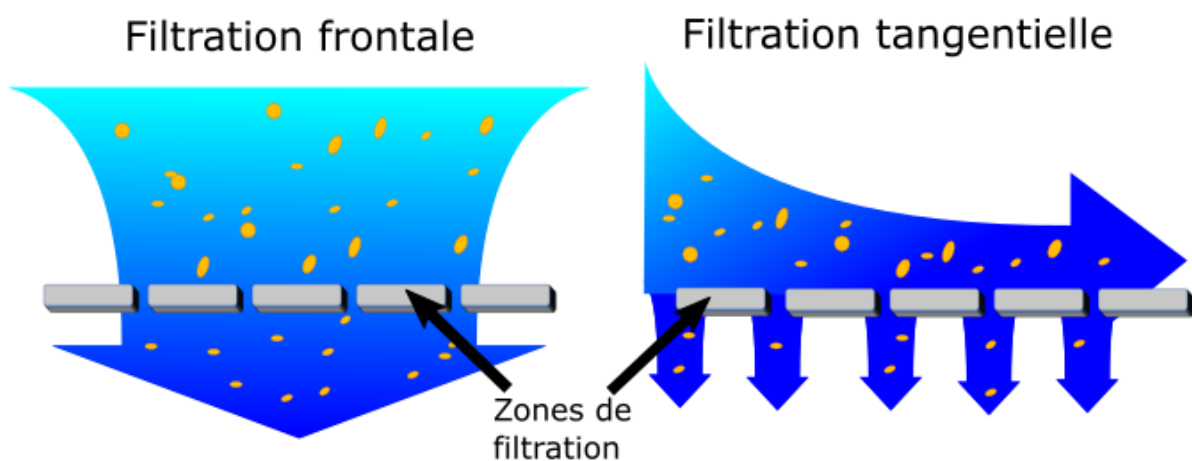
Ces capacités filtrantes ont récemment été mises à contribution car en filtrant de larges quantités d'eau, les éponges concentrent de nombreux fragments de matières organiques contenant de l'ADN d'autres organismes, qui ne seront ni assimilés, ni évacués. Ces dernières années l'analyse de l'ADN environnemental (ADNe) s'est considérablement développée : il s'agit d'une technique consistant à

identifier les espèces à partir de l'ADN qu'elles laissent dans leur environnement, la méthode s'appuie sur des techniques classiques de biologie moléculaire. L'ADNe est un outil qui révolutionne le suivi de la biodiversité. Ainsi, un prélèvement d'eau dans une mare peut permettre d'identifier les organismes qui y vivent. Et l'analyse d'un simple prélèvement d'éponge permet également d'identifier les organismes vivants dans l'environnement de cette éponge. Cette technique pourrait être bien plus rapide et moins coûteuse que la mise œuvre d'une filtration par l'homme d'une quantité équivalente d'eau qui serait nécessaire à une analyse similaire.

A la limite de la filtration... (et de la controverse !)

Pour d'autres organismes, qui ne disposent pas d'un tel système de pompage, des mouvements coordonnés, par exemple des battements de cils, qui vont leur permettre de créer un flux, qui leur permettra de renouveler l'eau de leur environnement superficiel.

Ce mécanisme se rapproche de la filtration tangentielle utilisée en industrie : le flux principal n'est pas orienté directement face à la zone filtrante, mais de façon tangentielle.



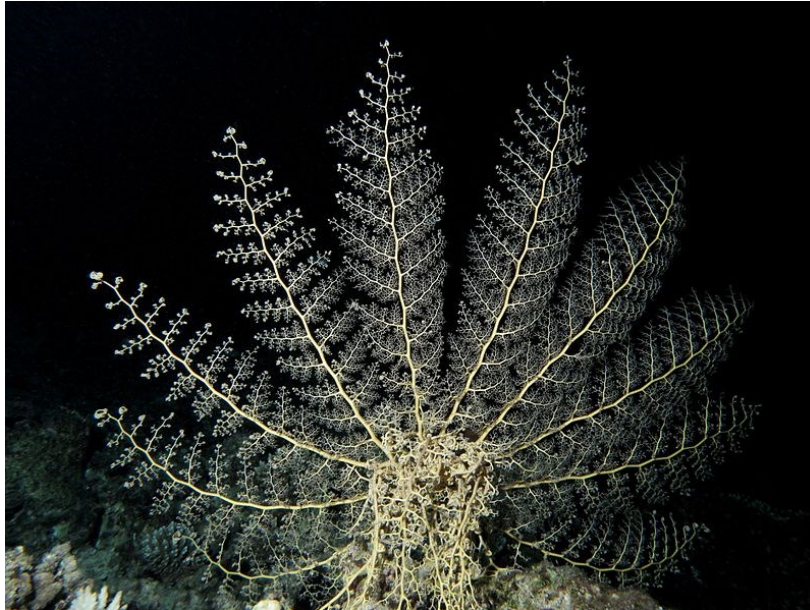
Crédit : Sébastien Lecomte

A droite, le flux n'arrive pas perpendiculaire à la zone de filtration, mais de façon tangentielle, et ne la traverse que partiellement.

Un flux est créé en surface de l'organisme qui va alors filtrer l'eau de façon superficielle, sans qu'elle ne le traverse complètement. Nous sommes ici aux limites de la définition de la filtration qui a été présentée précédemment.

Filtration passive

Les organismes fixés ou peu mobiles doivent profiter au mieux du courant présent : ils sont donc très dépendants de leur biotope, et il leur faudra se positionner au mieux par rapport à ce courant pour optimiser l'efficacité de leur filtration.



Crédit : Alexander Vasenin, CC BY-SA 4.0

Ce gorgonocéphale se nourrit de particules en suspension.

Le gorgonocéphale ci-dessus se positionne perpendiculairement au courant et déploie ses bras très ramifiés de manière à filtrer l'eau qui le traverse.

Pour un animal fixé, sa croissance se fera ainsi en fonction de l'environnement, par exemple son orientation par rapport au courant le plus intéressant pour lui en termes d'apports alimentaires.

Filtration des solides

Plusieurs animaux recherchent leur nourriture dans le substrat, certains poissons comme les rougets vont ainsi remuer le sable pour y déloger leur nourriture. D'autres animaux vont procéder différemment, en le prélevant pour ensuite filtrer les particules alimentaires qu'il contient. C'est le cas des holothuries, mais également de certains poissons.

Certains gobies, dits gobies tamiseurs, se nourrissent ainsi, en prenant des grandes bouchées de sable contenant une microfaune comestible, le sable est ensuite rejeté par leurs ouïes. Plusieurs espèces de poissons tropicaux pratiquant cette technique sont prisées en aquariophilie car elles permettent de remuer et nettoyer le sable de l'aquarium en évitant une accumulation de sédiments et de déchets organiques.



Crédits : Greg Rothschild (gregrothschild.com)

***Valencienna puellaris* est un Gobie « tamiseur » (Sand sifting gobie)**

Dans un flux contenant des particules solides, toutes les tailles de particules ne conviennent pas forcément à l'organisme filtreur et certaines particules de grande taille peuvent être problématiques. Les éponges peuvent ainsi se retrouver colmatées par une eau trop chargée. Alors que les ascidies, qui ont une organisation plus complexe, pratiquent une « préfiltration » pour éviter d'aspirer des particules de taille trop importantes : elles disposent de tentacules buccaux qui peuvent commander la fermeture du siphon buccal. Le corps étranger sera ensuite éjecté par l'ascidie qui créera un flux d'eau pour le rejeter.



Crédit : Alain-Pierre Sittler, Doris

Les tentacules buccaux de cette ascidie permettent de détecter l'entrée d'une particule de taille trop importante.

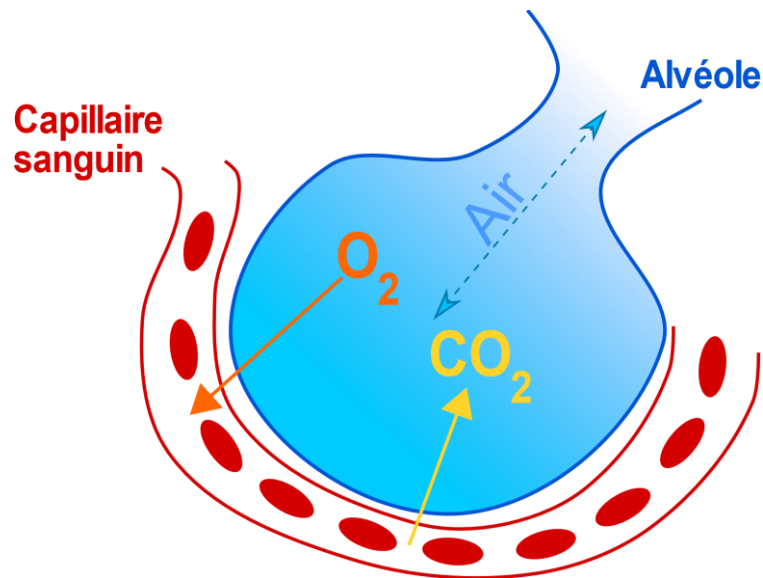
Filtration des gaz

Bien que nous nous intéressions aux milieux aquatiques, des échanges à l'état gazeux peuvent avoir lieu. C'est notamment le cas avec tous les organismes qui sortent de l'eau et entrent en contact avec l'air qui leur apporte l'oxygène nécessaire à leur respiration. Parmi ces animaux, nous retrouvons :

- Les cétacés et autres mammifères aquatiques
- Les chéloniens (tortues)
- Les oiseaux
- Les serpents
- Les amphibiens

Ces échanges gazeux ont lieu au sein de poumons qui contiennent une quantité très importante d'alvéoles, des sortes de petits sacs très vascularisés contenant de l'air.

Les couches cellulaires des parois des alvéoles et des capillaires adjacents sont en contact très étroit, ce qui représente une épaisseur d'environ 1 micron. L'oxygène passe au travers de cette barrière séparant l'air et le sang et pénètre dans le sang alors que le dioxyde de carbone passe du sang vers les alvéoles d'où il sera ensuite expiré.



Crédit : Domdomegg, CC BY 4.0 - Modifiée par Sébastien Lecomte

Les très nombreuses alvéoles sont des lieux d'échanges gazeux en forme de sac dans lequel l'air doit être renouvelé.

Tout comme pour la diffusion, l'échange se fait selon la différence de concentration, ou plus précisément la différence entre la pression partielle dans l'alvéole et la pression partielle dans le sang (aussi appelée tension).

Les poumons sont souvent considérés comme ayant une fonction de filtre, mais il s'agit avant tout d'un lieu d'échanges gazeux.

Gaz dissous

Les gaz peuvent également être dissous dans un liquide :

- Ils peuvent rester à l'état moléculaire, comme c'est le cas du dioxygène.
- Ou passer sous forme d'ions comme c'est le cas du dioxyde de carbone qui forme alors des ions carbonate ou bicarbonate et des ions hydrogène.

Dans ce cas, nous parlons de gaz dissous et nous retrouvons les mêmes mécanismes de filtration/échange que ceux présentés précédemment pour les liquides : diffusion et osmose.

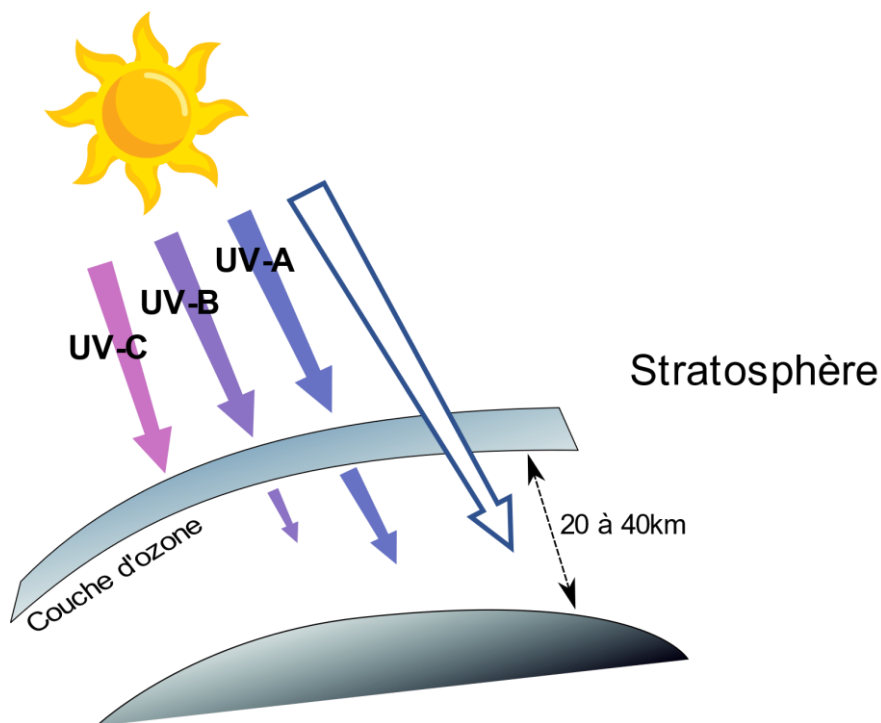
Ces échanges gazeux sont évidemment à la base de la respiration des organismes que ce soit au niveau cellulaire, ou via des organes spécialisés tels que les branchies qui ont un fonctionnement comparable aux poumons : la membrane sert de filtre laissant passer l'oxygène (vers l'organisme) et le dioxyde de carbone (vers l'eau).

Filtration de la lumière

Les flux filtrés précédemment étaient composés de matière : liquide, solide ou gazeuse. Mais les milieux aquatiques sont également le siège de filtration de flux d'autre nature, comme la lumière.

Filtration de la lumière par le milieu

Avant d'atteindre les organismes vivants, la lumière est tout d'abord filtrée par les autres milieux qu'elle traverse. Avant de rencontrer la mer, la lumière émise par le soleil traverse l'atmosphère où elle est notamment filtrée par la couche d'ozone. Celle-ci absorbe la plus grande partie du rayonnement solaire ultraviolet dangereux pour la plupart des organismes.



Crédit : Sébastien Lecomte

Située dans la stratosphère, la couche d'ozone filtre de façon sélective les UVs.

Ces dernières décennies, l'affaiblissement de cette couche d'ozone (le fameux « trou de la couche d'ozone ») a été une préoccupation majeure qui a donné lieu à des réglementations d'usage de certains produits comme les CFC (chlorofluorocarbures). Ce phénomène est souvent confondu à tort avec la problématique des gaz à effet de serre, probablement parce qu'ils se passent tous les deux au-dessus de nos têtes !

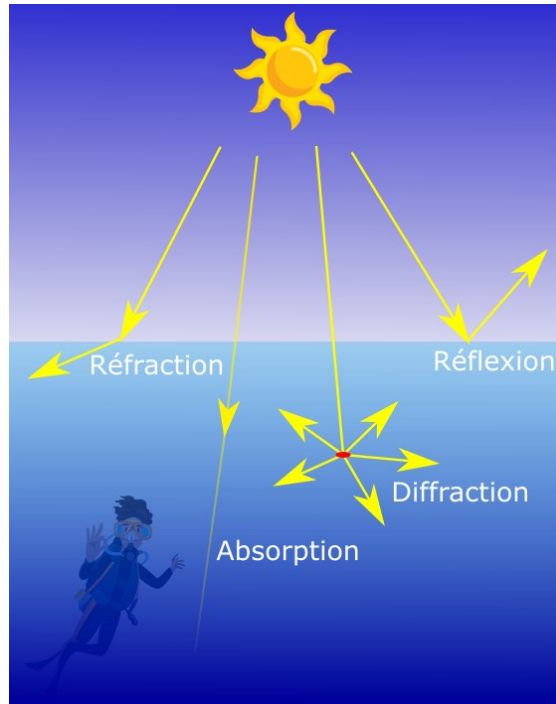
La lumière émise par le soleil traverse ainsi l'atmosphère, puis après avoir subi une réflexion/réfraction au passage de la surface de l'eau, est à nouveau filtrée de façon très importante par l'eau.

L'atténuation de la lumière dans l'eau se fait par :

- absorption, c'est-à-dire absorption de l'énergie des photons par transition de niveau d'énergie des atomes et des molécules constituant l'eau de mer.
- diffusion, c'est-à-dire changement de direction due à des phénomènes de réflexion, réfraction ou de diffraction à la rencontre de particules.

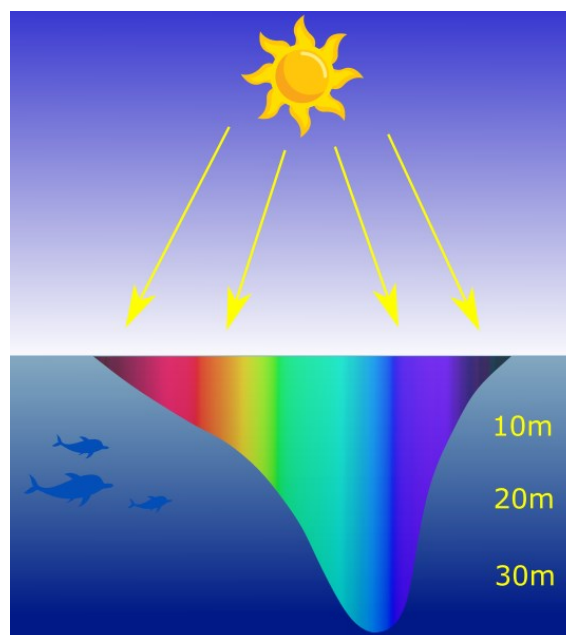
La diffusion est dépendante de la densité en particules et de leurs propriétés physiques.

La composition de l'eau de mer influe très peu sur l'absorption. L'eau de mer absorbe de façon très similaire à de l'eau pure. C'est donc l'eau pure, constituant principal de l'eau de mer qui agit en tant que filtre, puis les particules, principalement des substances organiques, en suspension.



Crédit : Sébastien Lecomte

Lorsqu'elle entre dans l'eau, la lumière va subir de nombreux effets qui vont modifier sa trajectoire et son intensité.



Crédit : Sébastien Lecomte (sur base de données publiques)

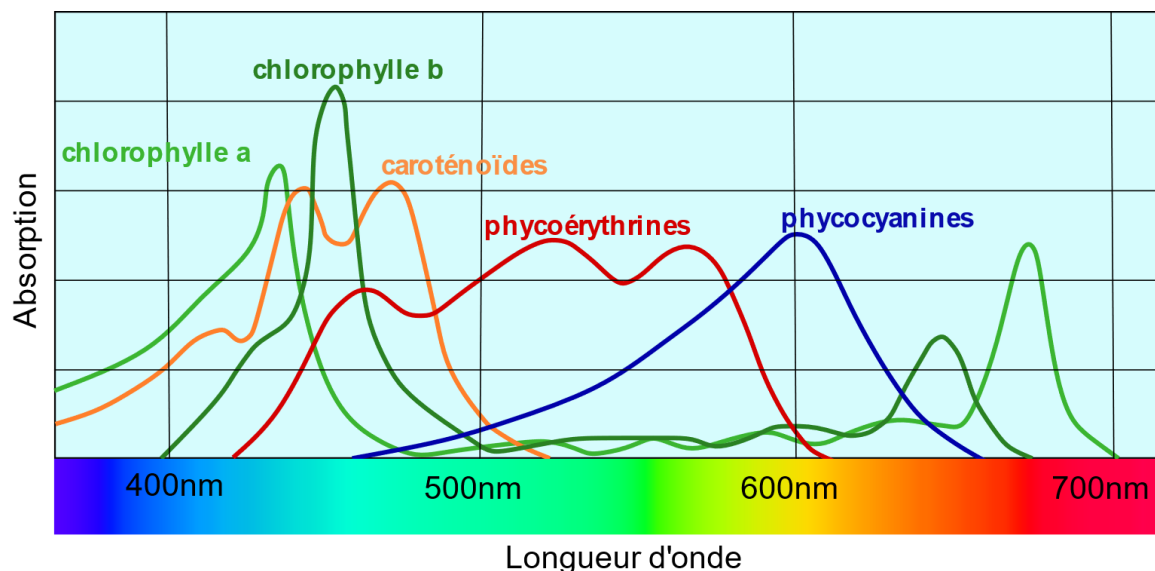
Les longueurs d'onde sont absorbées différemment en fonction de la profondeur.

Ainsi, la lumière disponible, que ce soit en termes d'intensité ou de longueurs d'onde dépend de la profondeur. Les organismes photosensibles ayant des besoins différents en lumière, un étagement se met naturellement en place en fonction du couple lumière disponible / besoin en lumière. Ces organismes interagissent avec d'autres organismes, par exemple des prédateurs. Et nous voyons que tout cela mis bout à bout contribue entre autres à la création d'écosystèmes différents selon la profondeur.

Filtration de la lumière par les organismes

Pigments photosynthétiques dans le monde végétal

Les végétaux ont la particularité de créer leur propre matière organique en utilisant l'énergie lumineuse. Pour cela, ils possèdent des pigments photosynthétiques : en heurtant ces molécules, les photons vont les faire passer à un état excité, de niveau énergétique plus élevé. Ces pigments n'absorbent pas toutes les longueurs d'onde, mais un spectre qui leur est spécifique.



Crédit : Sébastien Lecomte (sur base de données publiques)

Les spectres d'absorption des pigments des algues sont très différents, c'est ce qui explique l'étagement des algues.

Une photoprotection est nécessaire aux cellules afin de gérer un trop-plein d'énergie effectivement absorbée, notamment quand les réactions dépendantes de la lumière (la photochimie) fonctionnent trop rapidement par rapport à ce que peut recevoir « en aval » le métabolisme des sucres. Les autres longueurs d'onde ne sont simplement pas captées en l'absence de pigment photosensible, ce qui ne nécessite pas de besoin de photoprotection. Les rayons sont simplement diffractés.

Les pigments contenus dans les algues déterminent les longueurs d'ondes du spectre lumineux spécifiques à chaque espèce. Le milieu filtrant différemment les différentes longueurs d'onde, certaines ne seront plus suffisamment disponibles à partir d'une certaine profondeur. C'est ce qui explique l'étagement qui peut facilement être observé en plongée.

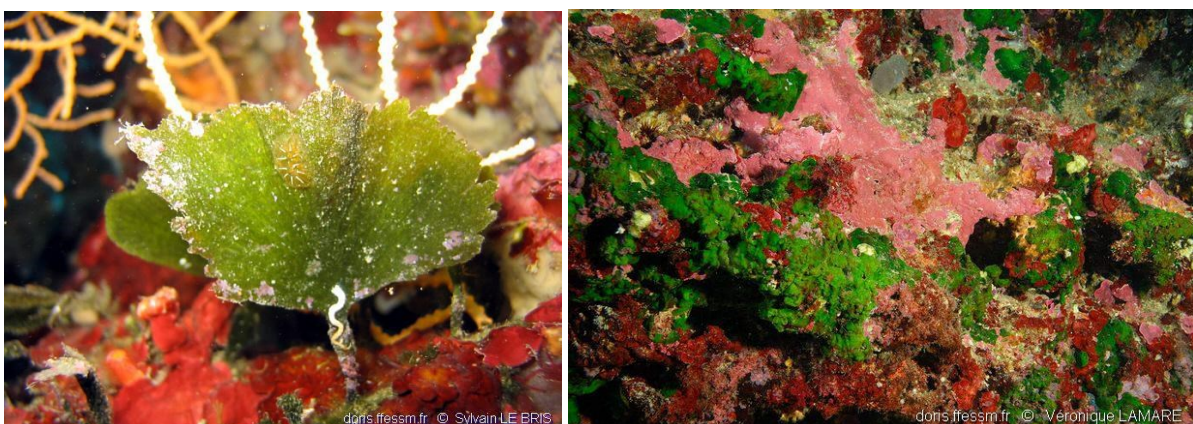
La réalité est plus complexe mais un premier exemple théorique simplifié est qu'une algue de « couleur rouge », qui aurait des « pigments rouges », n'absorbe pas le rouge et comme le rouge disparaît à partir de quelques mètres de profondeur, nous avons toutes les chances de la rencontrer en profondeur.



Crédits : Doris - Denis Ader (gauche) et Valérie Carré (droite)

L'acétabulaire est une algue verte qui se rencontre souvent à la surface, alors que les mésophylles sont des algues rouges qui se développent plutôt en profondeur.

Il est intéressant de noter sur le graphique ci-dessus que les principaux pigments des algues vertes, les chlorophylles a et b disposent de deux pics d'absorption, un premier sous les 500 nm, qui correspond au vert/bleu et un second situé entre 650 et 680nm qui correspond au rouge. Ces caractéristiques expliquent que certaines de ces algues, comme les acétabulaires ci-dessus, se développent proche de la surface où elles profitent de l'ensemble du spectre. Alors que d'autres algues vertes, telles que les palmophylles, les udotés ou les monnaies de Poséidon se rencontrent à grande profondeur, là où seule la zone bleue/verte du spectre d'absorption de leurs pigments est disponible. Ces mêmes algues qui ont la capacité à se développer en profondeur sont des algues sciaphiles adaptées au peu de lumière disponible. C'est ce qui explique également que lorsqu'elles se rencontrent proche de la surface, elles se situent sur des substrats ombragés.



Crédits : Doris - Sylvain Le Bris (gauche) et Véronique Lamarre (droite)

L'udotée et la palmophile sont des algues vertes sciaphiles qui se développent en profondeur (photo prise à 34m pour l'udotée) ou à faible profondeur dans des zones ombragées (photo prise à 3m sous un surplomb pour la palmophile)

Au niveau macroscopique, des populations d'algues microscopiques peuvent se comporter comme un filtre optique : en fonction de leur densité, ces algues en suspension (phytoplancton) vont également agir comme un filtre, puisqu'elles vont absorber une partie des longueurs d'onde correspondant à leur spectre d'absorption et diffracter les autres. Les algues situées à l'opposé de la source lumineuse peuvent se retrouver « lésées » par celles situées devant elles qui leur font... de l'ombre. Ce phénomène est une problématique rencontrée dans les cultures de phytoplancton.

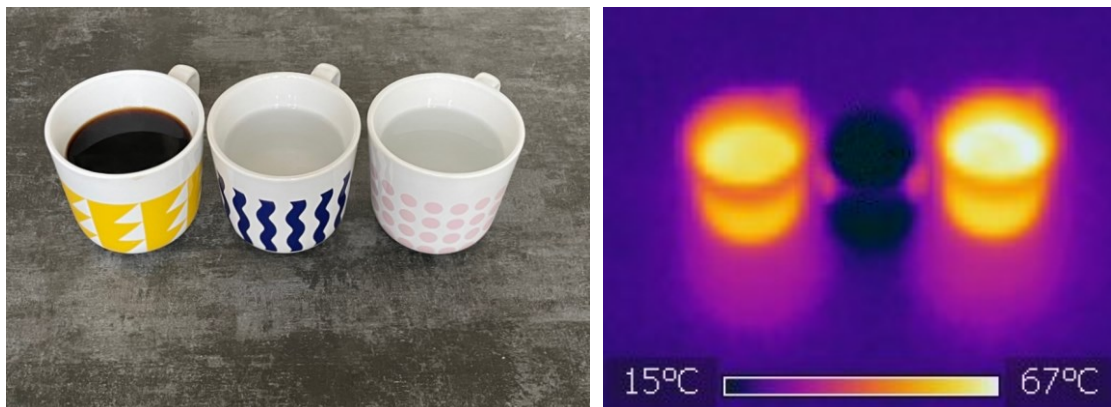
Photorécepteurs dans le monde animal

D'autres organismes utilisant la lumière disposent de photorécepteurs, qu'il s'agisse de simples cellules photoréceptrices ou d'organes visuels plus complexes comme les yeux, ils seront sensibles à des longueurs d'ondes et des intensités lumineuses différentes.

« Voir », c'est être sensible à l'intensité lumineuse, à la longueur d'onde ou au plan de polarisation de la lumière. Analyser ces informations permet de former des images du monde extérieur.

Ces récepteurs n'ont pas toutes les mêmes propriétés et certaines de ces informations se trouvent ainsi filtrées. Par exemple, certaines couleurs (longueurs d'onde) seront visibles pour certains organismes et invisibles pour d'autres. Un même environnement peut ainsi être perçu de façon très différente selon les organismes qui le regardent.

L'exemple ci-dessous est donné à titre illustratif dans le but de mettre en évidence ce que peut-être la différence de perception d'une même scène. Il s'agit de deux photos prises au même endroit et au même moment : une photographie classique (qui correspond à ce que nos yeux nous permettent de voir) et une photographie infrarouge, c'est-à-dire qui colorie artificiellement les infrarouges (non visibles par les yeux humains).



Crédits : Sébastien Lecomte

Nos yeux nous permettent de voir 3 tasses de couleurs et motifs différents, sans information nous permettant de déterminer lesquelles des trois sont chaudes. Alors qu'un organisme qui ne serait sensible qu'aux infrarouges (issus ici d'un rayonnement thermique) ne verrait pas la décoration des tasses, mais « verrait » deux tasses chaudes, et une tasse froide située au centre.

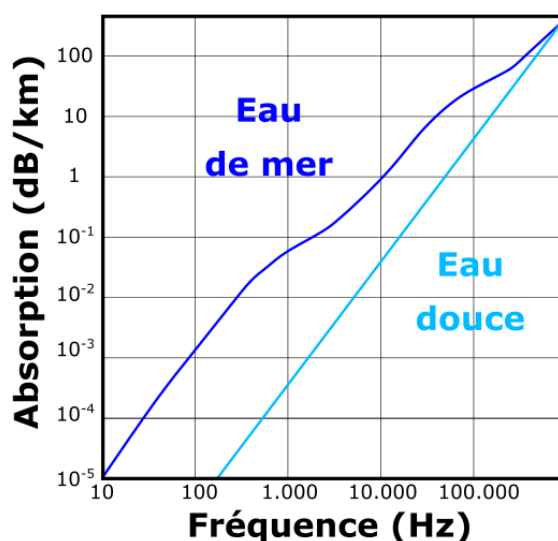
Cet exemple reste purement théorique car en milieu marin, les infrarouges sont absorbés dans les premiers mètres par l'eau de mer et de nombreux animaux aquatiques sont homéothermes, c'est-à-dire que leur température corporelle est similaire à celle du milieu ambiant ce qui limite le rayonnement infrarouge. Il met cependant en évidence que la perception d'une même scène par différents organismes peut être très différente en fonction des propriétés de leurs photorécepteurs.

Filtration du son

De façon similaire à la lumière, le son est une onde qui se propage. Mais contrairement à la lumière, le son se propage bien mieux dans un liquide (et encore mieux dans un solide) que dans l'air.

Les caractéristiques du milieu agissent comme un filtre en l'absorbant et donc en limitant la propagation du son : la température, la composition (salinité), mais également la pression (et donc la profondeur). La propagation verticale sera ainsi différente de la propagation horizontale.

Tout comme pour la lumière, l'absorption va dépendre de la fréquence de l'onde. Les fréquences les plus basses des sons se propagent davantage.



Crédit : Sébastien Lecomte (sur base de données publiques)

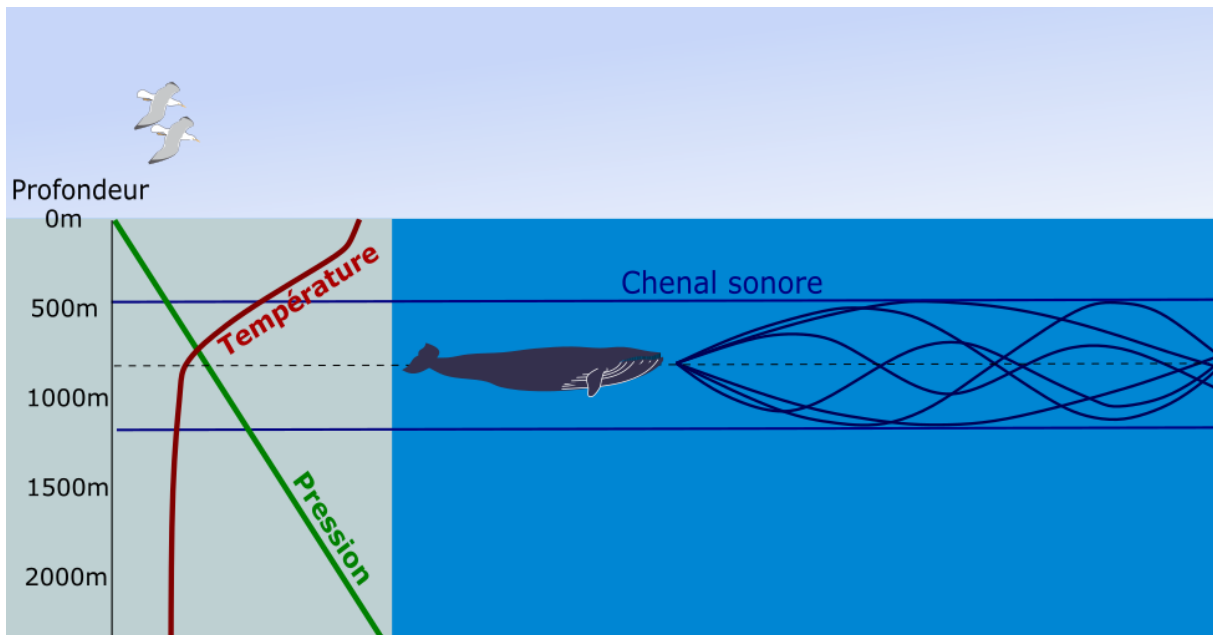
Absorption du son en fonction de sa fréquence : ce graphique montre l'importance de la fréquence sur la propagation des sons émis en milieu sous-marin. Que ce soit en eau douce ou en eau salée, plus la fréquence est élevée, plus l'absorption est importante.

Le « chant » des baleines

Une conséquence directe est qu'un « chant » de baleine, aux fréquences graves se propagera différemment d'un « clic » de dauphin, aux fréquences plus aiguës : dans le premier cas, la communication est une communication de longue distance, alors que dans le second cas, elle s'adresse à un entourage plus proche.

Certains cétacés, comme le rorqual commun semblent optimiser la portée de leurs communications en plongeant à une profondeur bien précise : La pression augmentant et la température baissant avec la profondeur, il existe dans une colonne d'eau une profondeur optimale à laquelle ces caractéristiques permettent une meilleure propagation du son. Cette profondeur se situe généralement juste sous la thermocline principale qui sépare les eaux de surface des eaux profondes : La température évolue très peu à partir de cette profondeur, alors que plus profond, la pression continue d'augmenter. C'est autour de cette zone qui constitue un optimum pour la transmission que se crée un chenal sonore, également appelé canal SOFAR, (Sound Fixing And Ranging), dans lequel les ondes sonores sont

guidées et dans lequel les basses fréquences vont pouvoir se propager plusieurs milliers de kilomètres avant de se dissiper.



Crédit : Sébastien Lecomte

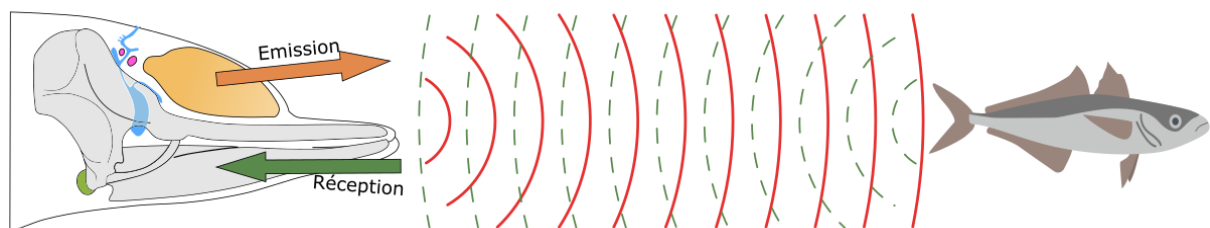
Un chenal sonore est un guide d'onde, le fonctionnement repose sur une réfraction liée au milieu physique, lorsque l'onde remonte, les propriétés physiques font qu'elle est détournée et va ensuite redescendre et inversement. L'onde est ainsi concentrée dans une zone restreinte ce qui va lui permettre de se propager de façon plus importante. Ce principe est identique à celui utilisé par la transmission par fibre optique qui utilise les propriétés réfractrices de la lumière pour constituer également un guide d'onde au centre de la fibre.

L'utilisation de basses fréquences et d'un chenal sonore permettent aux chants de baleine de se propager sur plusieurs milliers de kilomètres.

L'écholocation (ou écholocation)

Les odontocètes (cétacés à dents), ont la particularité de posséder un système d'écholocation qui consiste à émettre des sons (« clics ») et à recevoir un signal réfléchi en retour. Ce son est alors transmis à l'oreille interne, puis au cerveau, qui l'analyse.

Le dauphin détermine ainsi la distance de sa cible et sa taille. Mais également sa vitesse en exploitant l'effet Doppler sur le même principe qu'un radar routier !



Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)

Principe de fonctionnement de l'écholocation chez les odontocètes (cétacés à dents)
(Le détail du fonctionnement dans l'organisme n'est pas détaillé sur ce schéma simplifié)

Chez le dauphin, la fréquence des « clics » émis dépend de ce qu'il recherche : lorsqu'il balaye son terrain de chasse en quête d'une proie, à grande distance, il produit des sons à une fréquence plus basse (< 60 kHz) qui se propagent davantage dans l'eau. Une fois son objectif repéré, il affine son analyse en augmentant la fréquence d'émission.

L'activité humaine (pollution sonore) perturbe cette communication et semble empêcher ces animaux d'analyser ce retour en filtrant correctement les sons reçus. Ces perturbations modifient leur comportement et semblent être la cause d'échouages de cétacés sur les côtes qui sont de plus en plus fréquents.

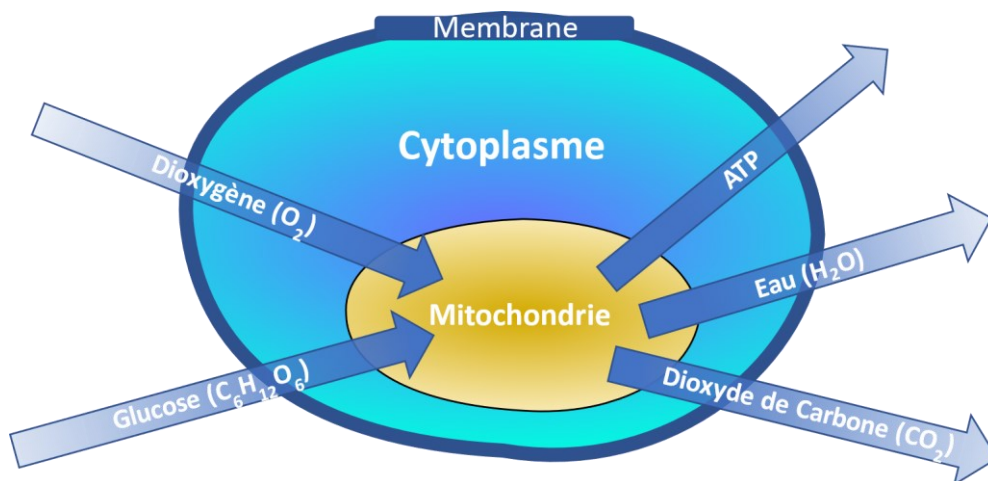
La filtration au service des fonctions vitales

Les paragraphes précédents détaillaient les mécanismes des diverses filtrations rencontrées que ce soit dans le milieu ou au sein d'organismes vivants. Dans la suite de ce document nous nous intéressons à une approche par utilisation de la filtration dans les différentes fonctions des organismes : respiration, alimentation, excrétion... Quelques exemples, qui n'ont rien d'exhaustifs sont donnés afin d'illustrer les mécanismes mis en œuvre.

La respiration

La respiration est à la base du métabolisme de la plupart des organismes, un organisme a besoin de carburant et cela passe par des besoins en oxygène. Le rôle principal de l'oxygène est d'apporter de l'énergie à l'organisme.

Au sein des cellules, les mitochondries, grâce à l'oxygène, transforment les nutriments issus de la digestion, comme le glucose, en énergie directement utilisable par l'organisme (ATP).



Crédit : Sébastien Lecomte

Illustration simplifiée du transport membranaire : la membrane doit permettre à la cellule à la fois de laisser rentrer certains éléments et d'en faire sortir d'autres.

Pour un organisme unicellulaire, qui comme son nom l'indique n'est formé que d'une cellule, la respiration se réduit simplement à des échanges entre la cellule et l'extérieur, l'ATP étant alors utilisé localement.

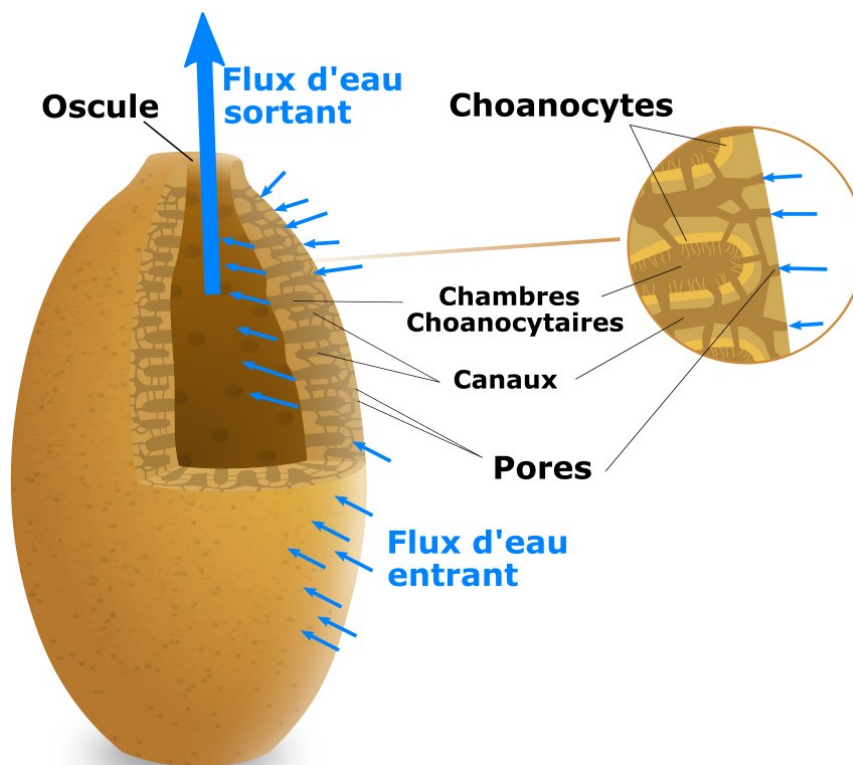
Pour des organismes multicellulaires, les échanges comme l'apport en oxygène, sont plus complexes :

- il peut s'agir de diffusion, l'oxygène venant naturellement alimenter les différentes cellules par différence de pression
- ou, pour des organismes plus complexes, ces échanges pourront faire intervenir un système respiratoire avec des organes spécialisés qui vont capter l'oxygène lors d'échanges avec le milieu extérieur, puis le distribuer dans l'ensemble de l'organisme. Au passage, ce même

Le système pourra également permettre d'évacuer des déchets comme le dioxyde de carbone qui est issu de la respiration cellulaire et qui deviendrait toxique en s'accumulant.

Respiration par diffusion, exemple des éponges

Les éponges sont des organismes simples, sans organe, constitués d'un amas de cellule. Ces cellules ont chacune des fonctions spécialisées, elles sont organisées de manière à permettre la nutrition de l'ensemble de l'organisme qui génère un flux d'eau dans lequel l'éponge trouve l'oxygène, mais également prélève sa nourriture et évacue ses déchets.

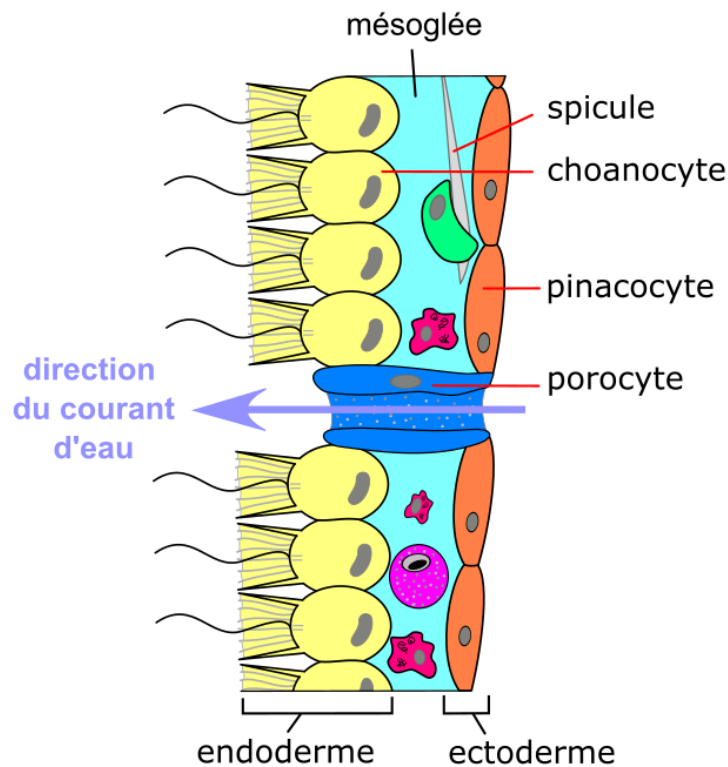


Crédit : Kelvinsong, CC BY-SA 3.0 - Modifié par Sébastien Lecomte

Principe de fonctionnement d'une éponge : l'eau est mise en mouvement par les choanocytes, elle entre par les pores et ressort par les oscules.

Situés à l'intérieur de l'éponge, les choanocytes sont des cellules endodermiques, ils sont équipés d'une collerette encerclant un flagelle. Le flagelle a pour fonction d'agiter l'eau de façon à générer le courant ce qui fait des éponges des filtres particulièrement actifs.

Le renouvellement de l'eau a lieu à l'intérieur de l'éponge, mais la création du flux permet également un renouvellement de l'eau superficielle extérieure, puisque c'est l'ensemble de l'eau environnante qui est aspiré à travers ses pores.



Crédit : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié)

Les flagelles des choanocytes agitent l'eau afin de créer un flux d'eau qui entre à travers des cellules en forme de tube, les porocytes.

Ce flux d'eau permet d'apporter aux cellules de l'éponge, un renouvellement en oxygène dont elles s'approvisionnent ensuite très simplement, par diffusion.

Il est intéressant de noter que malgré leur taille qui peut être très importante, l'oxygénation par diffusion est suffisante pour les éponges du fait de leurs caractéristiques : les éponges sont très largement traversées par le flux qui renouvelle l'eau à proximité de leurs cellules d'une part, et les éponges ont un besoin relativement faible en énergie d'autre part.

Les éponges représentent un groupe important, systématiquement rencontré lors de nos plongées d'observation en mer, puisque fixées et très présentes. Le flux d'eau généré par ces animaux peut être facilement mis en évidence par exemple à l'aide de fluorescéine.

Respiration grâce à un système respiratoire

La diffusion est un mécanisme naturel lent qui atteint rapidement ses limites lorsque les surfaces à traverser sont importantes. La respiration par diffusion se rencontre chez les animaux qui comme les plathelminthes ont un corps très plat permettant de limiter les distances de transfert entre le milieu extérieur et les cellules intérieures. Ou, qui comme chez les éponges, ont peu de besoins en énergie et sont traversées par un flux d'eau qui parcourt l'organisme pour amener l'oxygène au plus près de ses cellules.

Les organismes de taille plus importante ou nécessitant une quantité importante d'énergie et donc d'oxygène ont développé des systèmes d'échanges et de distribution (circulation) afin de leur permettre d'alimenter en oxygène l'ensemble des cellules « enfouies » dans leur corps.

De nombreux animaux aquatiques sont pourvus d'organes spécialisés, les branchies, qui leur permettent de capter l'oxygène de l'eau. Ces branchies jouent le même rôle que celui de nos poumons qui nous permettent de capter l'oxygène de l'air.

Que ce soit au niveau des branchies ou des poumons, nous retrouvons dans ces organes des cellules spécialisées dans les échanges. Les mécanismes utilisés sont ceux exposés précédemment (diffusion / transport membranaire). Dans tous les cas, leur structure permet d'accroître la surface d'échange entre le milieu qui peut être l'eau ou l'air et les tissus afin d'absorber un maximum d'oxygène. Ces organes respiratoires sont des échangeurs qui présentent une grande surface et une faible épaisseur. Ces caractéristiques les rendent fragiles, ce qui peut nécessiter de les protéger.

Les organismes aquatiques utilisent des techniques qui leur permettent de renouveler le milieu avec lequel leurs organes respiratoires peuvent échanger. Il s'agit typiquement de la ventilation comprenant des expirations et des inspirations pour les animaux pourvus de poumons. En présence de branchies, il s'agira généralement d'un flux continu, le renouvellement se fait :

- soit naturellement, pour les espèces peu consommatrices : elles laissent alors le milieu se renouveler.
- soit par l'organisme qui crée son propre flux, en aspirant / rejetant l'eau
- soit par l'organisme qui se positionne dans le courant ou se déplace en créant ainsi un flux qui va traverser ses branchies

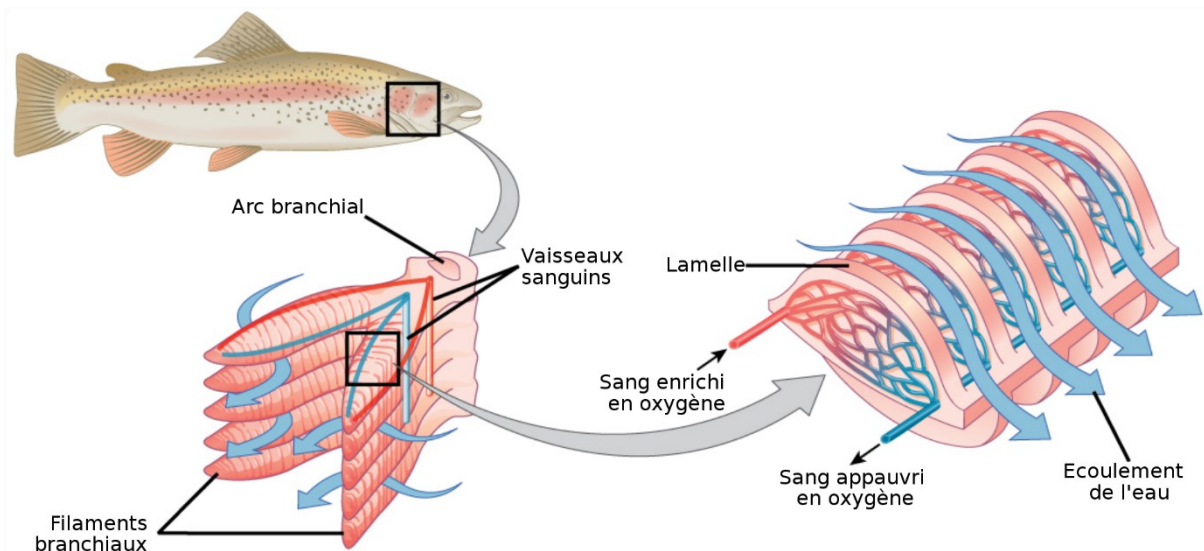
Par exemple, les nudibranches se contentent du renouvellement naturel de leur environnement en mettant leurs « branchies à nu ».



Crédits : Doris - Pascal Girard

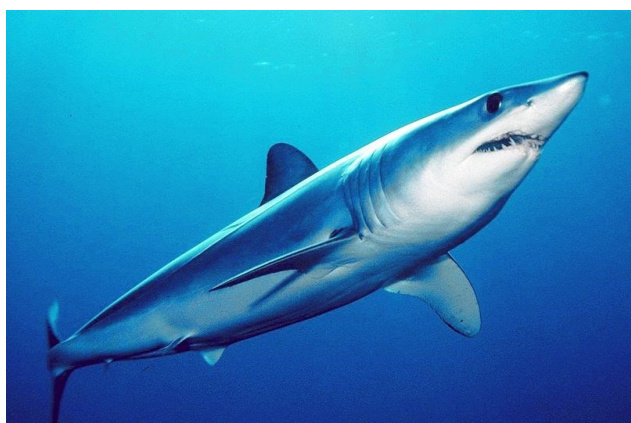
Les branchies sont des surfaces d'échange fragiles, cette doris rose, expose ses branchies (à gauche), mais en cas de danger, elle peut les rétracter (à droite).

D'autres, comme les poissons, les protègent en permanence à l'intérieur de leur corps, mais vont devoir en contrepartie renouveler le milieu d'échange en créant un flux, afin de leur apporter constamment l'oxygène qui doit être capté.



Crédit : Duane Raver, CC BY-SA 3.0

Un flux d'eau traverse les branchies des poissons afin de renouveler l'oxygène du milieu qui est capté au fur et à mesure et transmis dans l'organisme grâce à la circulation du sang.



Crédits : Doris - Olivier Bianchimani (gauche), Mark Conlin (droite).

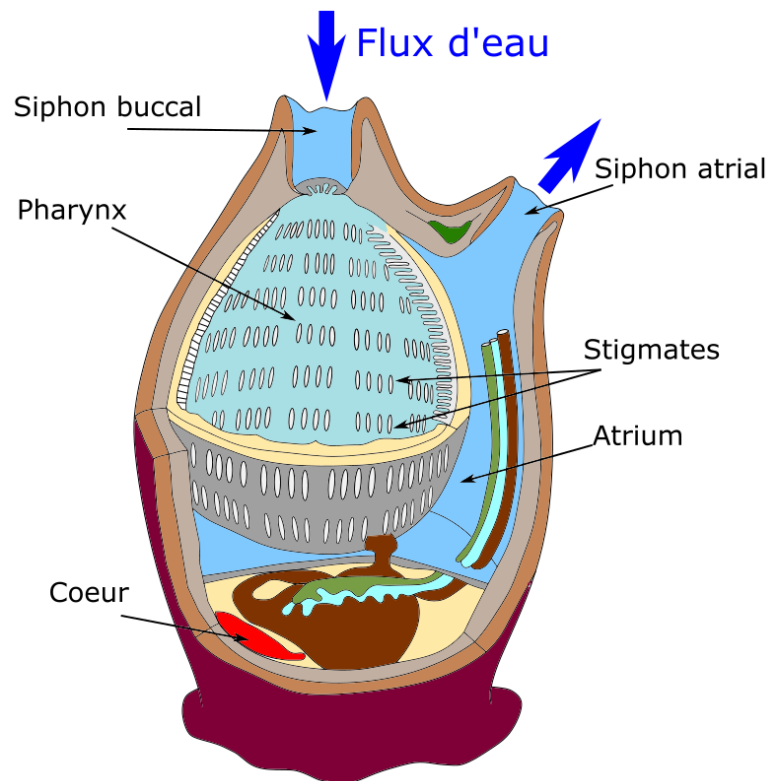
La murène se rencontre fréquemment gueule ouverte, effectuant des mouvements d'ouverture/fermeture afin de faire circuler l'eau dans ses branchies. Certains requins, comme ce requin Mako, nagent quasi continuellement ce qui leur permet de faire circuler l'eau dans leurs branchies.

Bien que très différentes d'un point de vue organisation anatomique, les ascidies peuvent avoir une apparence très proche de celle des éponges avec qui elles partagent également la particularité de créer un courant qui leur apporte nourriture et oxygène.

Cependant, contrairement aux éponges dont les choanocytes jouent à la fois un rôle dans le pompage mais également dans la filtration alimentaire en étant capable de phagocyter des particules, les ascidies disposent d'une organisation plus complexe, avec des organes spécifiques, par exemple pour la respiration :

- une multitude de cils microscopiques dont le battement créé le courant, le principe est similaire à celui des éponges et leurs choanocytes.

- un pharynx qui joue le rôle de branchies pour capter l'oxygène grâce à une organisation maximisant les échanges gazeux entre le flux d'eaux créé et les cellules sanguines.
- un système circulatoire, avec un cœur qui permet de distribuer l'oxygène à l'ensemble des cellules de l'organisme.



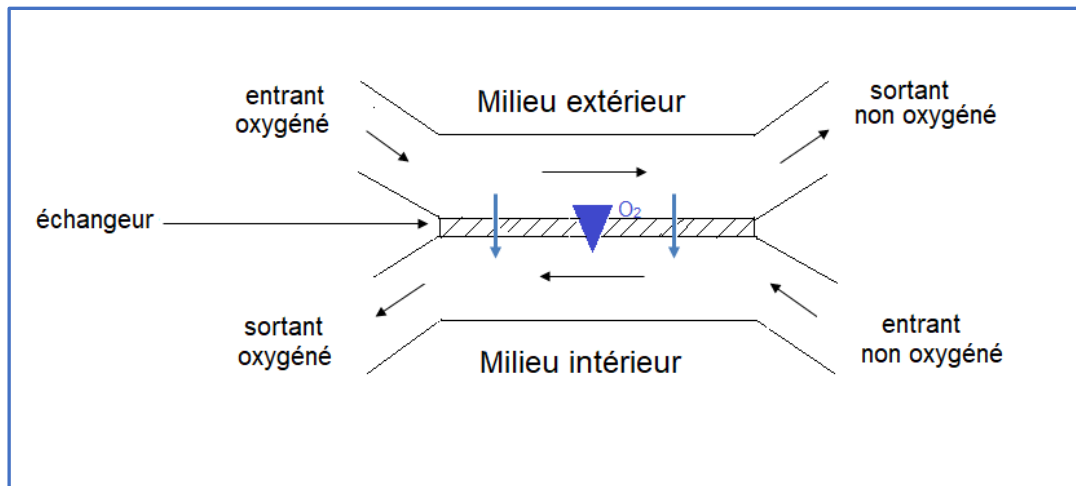
Crédit : Sébastien Lecomte, sur base de documents du domaine public

Le système respiratoire des tuniciers est très complet, les échanges gazeux se font lors du passage de l'eau à travers le pharynx. Il est complété par un système circulatoire, dont seul le cœur est représenté sur ce schéma d'ascidie simple.

L'eau rentre dans le pharynx (aussi appelé sac branchial) par le siphon buccal, elle le traverse par de multiples fentes branchiales, les « stigmates », pour aller dans l'atrium et être finalement expulsée par le siphon atrial (anciennement appelé siphon cloacal). Les échanges gazeux se font au passage de l'eau dans les stigmates.

Des branchies optimisées chez les bivalves

Chez les bivalves (mollusques lamellibranches), le rendement des branchies est optimisé par la circulation du milieu extérieur (eau) et du milieu intérieur (branchies) qui sont effectuées en sens inverse.



Crédit : André Beaumont, Jean-Paul Truchot, Louis Du Pasquier Coralie Fauchier, CC BY-SA 4. 0

La circulation se fait à contre-courant afin d'optimiser les échanges gazeux au niveau des branchies des bivalves.

L'oxygène traverse l'échangeur par diffusion, il est alors pris en charge par des transporteurs (hémocyanine) présents dans le liquide (hémolymphe) circulant à l'intérieur des branchies. L'association de l'oxygène avec ces transporteurs et la circulation intérieure provoquent une diminution locale de la pression partielle du gaz du milieu intérieur. La différence de pression partielle du dioxygène conserve ainsi une valeur importante sur toute la longueur de la zone d'échange et optimise ainsi le rendement des branchies.

Chez les échinodermes, la plaque madréporique

Certains échinodermes ayant des besoins importants en oxygène ont développé des organes spécifiques qui se rapprochent des branchies. Mais pour la plupart d'entre eux, la respiration se fait de façon passive à travers la peau et via le système aquifère. Le système aquifère joue un rôle important car il va permettre de renouveler l'eau à l'intérieur de l'organisme. Il est alimenté par un organe filtreur appelé plaque madréporite. Celle-ci est très minéralisée, dure et rugueuse, elle porte de nombreuses perforations très fines qui lui permettent de filtrer l'eau.



Crédits : Doris - Philippe Le Granché (gauche) et Sébastien Lecomte (droite)

A gauche, la photo permet de mettre en évidence la plaque madréporique d'une étoile de mer. A droite, un zoom sur la plaque madréporique d'un test d'oursin permet de voir sa structure composée de nombreuses perforations permettant la filtration de l'eau entrant dans le système aquifère.

Tout comme les hommes, de nombreux organismes utilisant l'oxygène de l'air ont un appareil respiratoire spécialisé, généralement des poumons, qui leur permet de capter l'air. C'est une des particularités qu'ont certains animaux marins, comme les tortues ou les cétacés, qui sont ainsi contraints de remonter régulièrement à la surface pour respirer.

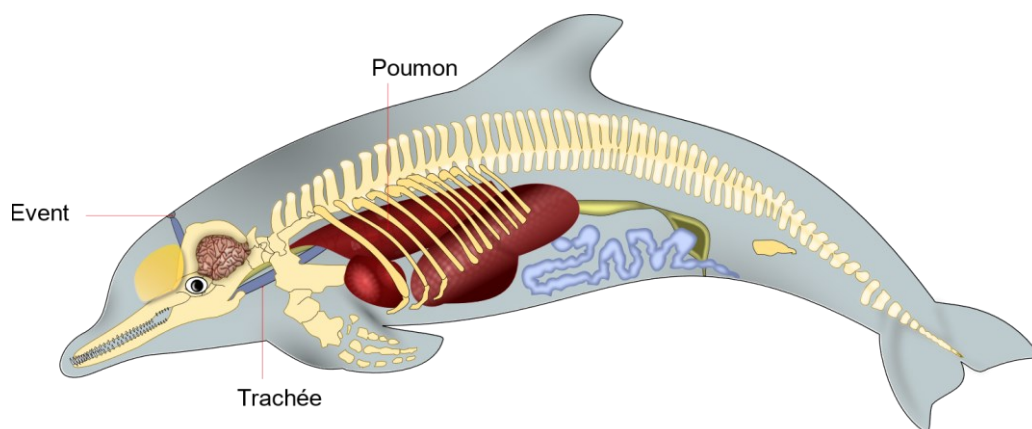


Crédits : Doris - Philippe Bourjon

Ce dauphin et cette tortue ont besoin de retourner régulièrement en surface afin de respirer de l'air.

L'étude de l'évolution des espèces a démontré que des « poissons » sont sortis de l'eau, et ont évolué vers de nouvelles espèces qui se sont mises à respirer de l'air afin de s'éloigner de l'eau et conquérir la terre. Parmi elles, des mammifères (devenus cétacés) et des tortues (devenues tortues aquatiques) ont continué à évoluer significativement et sont retournées vivre dans l'eau. Les tortues aquatiques ont assez peu évolué morphologiquement par rapport aux tortues terrestres et continuent de pondre sur terre. Alors que les cétacés ont repris une forme qui se rapproche de celle des poissons et ont complètement quitté le milieu terrestre.

Durant leur évolution, les tortues comme les cétacés ont ainsi hérité d'un système respiratoire qui nécessite de s'approvisionner en oxygène depuis l'air et non pas depuis l'eau.



Crédit : WikipedianProlific, vector version by Wilfredor, CC BY-SA 4.0 - Modifié par Sébastien Lecomte

Système respiratoire du dauphin : bien que leur morphologie soit relativement similaire à celle des poissons, les cétacés sont des mammifères qui respirent de l'air grâce à leur poumon.

En théorie, des poumons pourraient filtrer l'oxygène de l'eau par diffusion, mais le renouvellement ne serait pas suffisant, le pompage ne serait pas assez rapide, ou du moins il demanderait trop d'énergie, pour renouveler efficacement l'approvisionnement en oxygène : une différence majeure entre poumons et branchies est que les poumons sont en forme de cul de sac, il s'agit d'un réservoir qu'il faut alternativement remplir et vider. Alors que les branchies qui équipent les animaux aquatiques sont des organes qui fonctionnent comme un tunnel unidirectionnel ou qui « trempent » dans le milieu de manière à faire circuler l'eau de façon plus efficace.

Comparée à l'air, l'eau est un fluide dense et visqueux, la circulation unidirectionnelle effectuée à travers des branchies dans un « tunnel » permet de réduire la dépense énergétique liée à la mise en mouvement du milieu extérieur, en comparaison aux mouvements d'eau qui seraient nécessaires à des branchies qui auraient une forme de cul de sac.

L'alimentation

L'alimentation est ce qui vient avant tout à l'esprit, lorsque nous évoquons les animaux « filtreurs ».

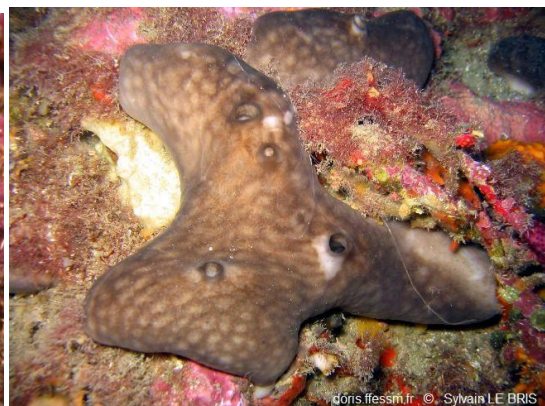
En anglais c'est le terme « filter feeders » qui est utilisé pour nommer ces animaux qu'en français, nous appelons tout simplement « filtreurs », éventuellement « filtreurs suspensivores » ou parfois « microphages suspensivores », ce dernier terme semble d'ailleurs généralement plus adapté à leur comportement effectif.

Précisons que la microphagie est un mode d'alimentation qui consiste à se nourrir d'organismes ou de particules de petite taille, mais que la notion de « petite taille » se réfère à la taille de l'organisme qui se nourrit. Ainsi une baleine qui se nourrit de krill est bien un microphage, alors que le krill n'a rien de microscopique puisque ces crevettes mesurent plusieurs centimètres.

Ce terme est cependant couramment utilisé pour désigner les animaux se nourrissant d'organismes ou de particules de « petite » taille (inférieure au millimètre).

Eponges et Ascidies... si proches d'apparence... mais uniquement d'apparence !

Parmi les microphages suspensivores, nous retrouvons les éponges et les ascidies dont le fonctionnement a été décrit précédemment.

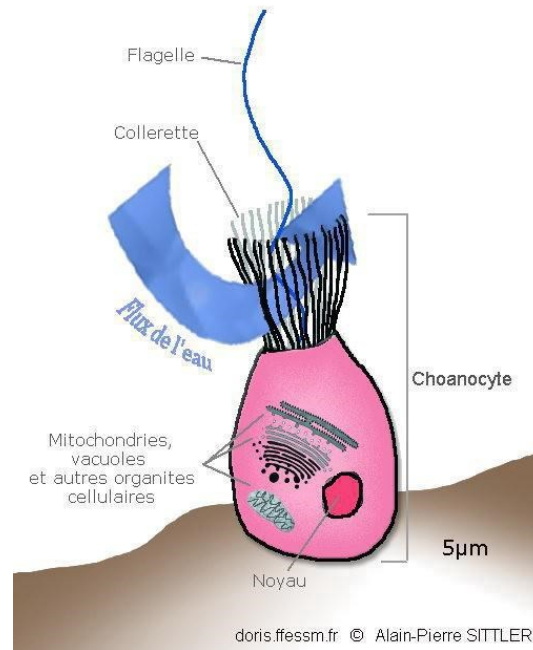


Crédits : Doris - Jean-Yves Ravel (gauche) et Sylvain Le Bris (droite)

Ascidies et éponges ont parfois un aspect très proche, alors que ce sont des organismes dont l'organisation interne est très éloignée.

Là encore, tout comme pour la respiration, ces deux animaux malgré leur aspect parfois très similaire et le fait qu'ils génèrent un flux d'eau traversant leur organisme (système aquifère) ont un fonctionnement très différent :

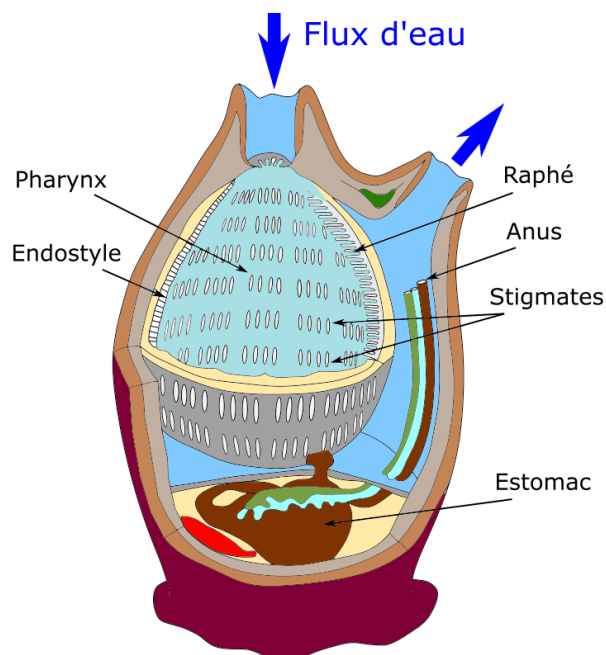
Les éponges sont équipées de choanocytes qui en plus d'agiter l'eau possèdent une collerette composée de cils enduits de mucus formant un filet qui permet de filtrer les particules qui sont ensuite phagocytées par la cellule pour les plus petites ($< 1\mu\text{m}$). Les particules de taille plus importante (jusqu'à $50\mu\text{m}$) pourront quant à elles être phagocytées par d'autres cellules, les amibocytes.



Crédit : Doris - Alain Pierre Sittler

Représentation simplifiée d'un choanocyte, la cellule caractéristique des éponges : la même cellule participe à la création du flux d'eau, capture la nourriture et la phagocyte !

Les ascidies utilisent leur pharynx, un organe qui en plus de jouer un rôle dans la génération du flux d'eau et la respiration joue un rôle dans l'alimentation : des filaments sont sécrétés par l'endostyle afin de former une sorte de filet qui sert à capturer les proies. Ce filet est ramené continuellement vers le raphé puis dans le tube digestif.



Crédit : Sébastien Lecomte, sur base de documents du domaine public

Chez les ascidies, la prise de nourriture se fait au niveau du pharynx, avant d'être acheminée jusqu'à l'estomac. L'anus est situé à proximité du siphon atrial ce qui permet l'évacuation des déchets de la digestion.

Selon les espèces d'éponges, le débit du flux généré est variable, l'ordre de grandeur est qu'elles filtrent une quantité d'eau équivalente à leur volume en une vingtaine de secondes. Les ascidies ont généralement un débit qui est environ 10 fois moindre.

Il est à noter que quelques rares espèces d'éponges vivent dans des milieux très pauvres en nutriments ont abandonné ce mode d'alimentation, elles n'ont plus de choanocyte et donc plus de système de pompage : elles capturent leurs proies grâce à des spicules en forme de crochet. Certaines ascidies abyssales ont également évolué vers un comportement de prédateur carnivore actif : leur siphon buccal s'est modifié en grande bouche molle capable de se refermer sur leurs proies.

Mollusques bivalves

L'embranchement des mollusques est très diversifié, puisqu'on y trouve des prédateurs particulièrement développés comme les poulpes, mais également des animaux d'aspect moins impressionnant qui ont développé une stratégie de survie bien différente : les lamellibranches qui vivent protégés dans une coquille composée de 2 valves (d'où leur autre nom, les bivalves) qu'ils ouvrent afin de pomper l'eau ambiante dans laquelle ils trouvent leur nourriture.

Leurs branchies munies de cils créent un courant qui va entrer par le siphon inhalant et ressortir par le siphon exhalant. A la manière des éponges et des ascidies, en plus de prélever les particules alimentaires, les bivalves utilisent ce flux pour s'oxygéner et rejeter le dioxyde de carbone, les déchets azotés...

Chez la plupart des bivalves non fouisseurs, l'eau est directement aspirée dans la coquille via la surface ventrale postérieure de l'animal. L'eau traverse les branchies, le flux se replie pour être expulsé juste au-dessus du lieu d'admission. Alors que les espèces fouisseuses, sont généralement équipées de deux siphons rétractables qui leur permettent de pomper et rejeter l'eau à l'écart de la coquille.



Crédits : Doris - Christian Scoupe (gauche) et Frédéric André (droite)

A gauche, les siphons développés d'un bivalve fouisseur. A droite, cette avicule hirondelle est idéalement positionnée sur une gorgone dans le courant où elle a davantage de chance de trouver sa nourriture.

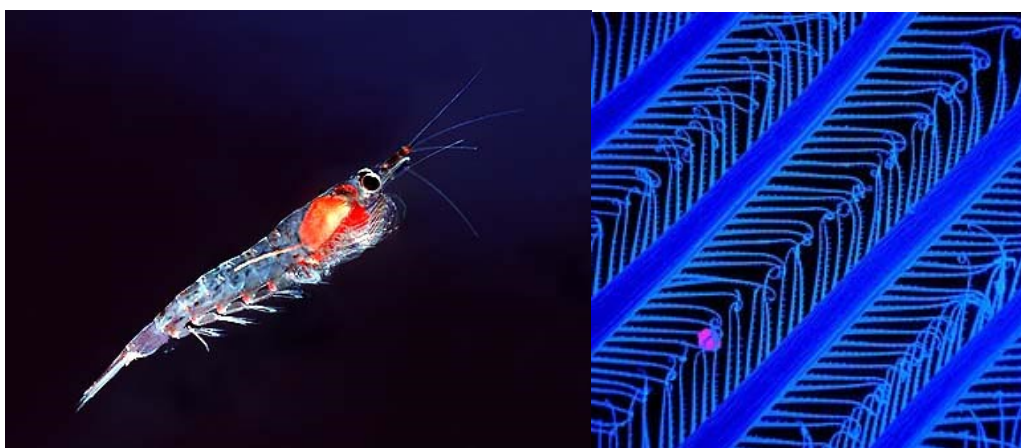
Les bivalves se nourrissent principalement de phytoplancton.

De façon similaire aux ascidies, les branchies (également appelées cténidies chez les mollusques), assurent les rôles de nutrition et de respiration. Elles sont recouvertes de cils dont le mouvement coordonné permet de générer le flux d'eau. Les branchies captent le plancton et l'enrobent dans un mucus dont le flux constant s'achemine vers les palpes labiaux dont le rôle est de diriger la nourriture vers la bouche.

Avec les éponges, les bivalves font partie des rares animaux filtreurs présents en eau douce, leur présence est utilisée comme bio-indicateur.

Crustacés

Plusieurs espèces de crustacés attrapent leur nourriture, en agitant leurs appendices qui ont une fonction de filet qui leur permet de filtrer l'eau environnante.



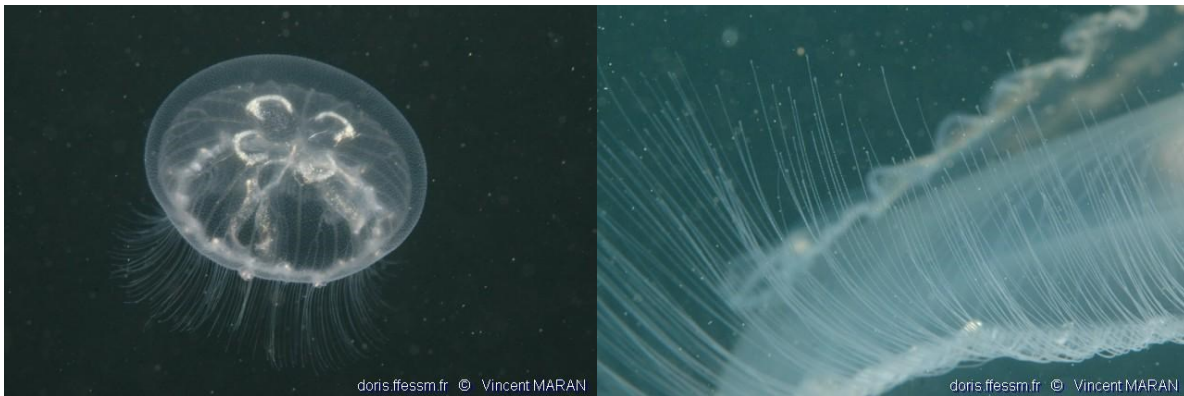
Crédits : Uwe kils, CC BY-SA 3.0

Krill (gauche) et zoom détaillé de la structure des appendices de ce même crustacé (droite ; fausses couleurs). L'auteur de la photo précise « Pour représenter toute la surface de cette structure fascinante, il faudrait juxtaposer 7500 exemplaires de cette image ». Nous sommes donc en présence d'un véritable filet !

Cnidaires

Les cnidaires sont des prédateurs : munis de leurs tentacules couverts de cellules urticantes, les cnidocytes, ils paralysent leurs proies qu'ils ramènent jusqu'à leur bouche. C'est le mécanisme généralement mis en œuvre par les animaux de cet embranchement, qu'ils soient sous forme de polype ou de méduse.

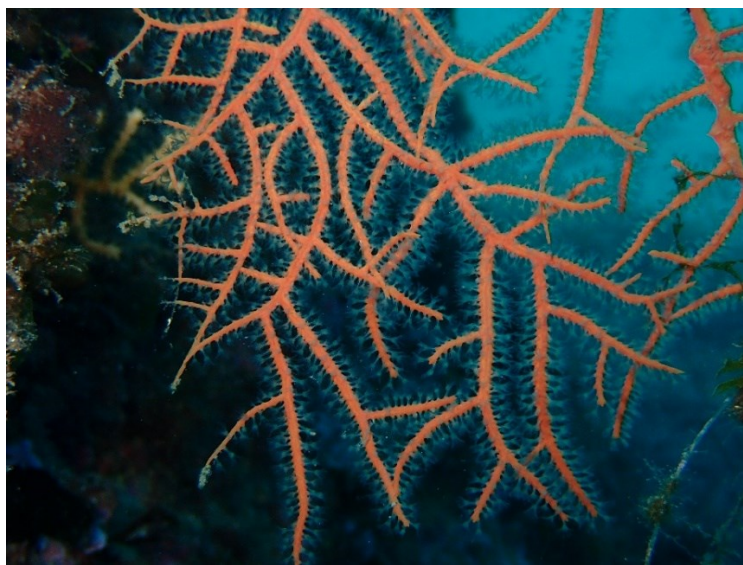
Certaines méduses sont équipées d'un nombre important de tentacules alignés et suffisamment proches les uns des autres pour leur permettent de filtrer l'eau traversante et ne laisser que peu de chances à leurs proies.



Crédit : Doris - Vincent Maran

Cette aurélie est une méduse microphage, elle peut aligner jusqu'à 1200 tentacules équipés de cnidocytes.

Côté forme polype, des espèces vivant en colonie, se sont développées avec une forme érigée de manière à s'étendre vers le courant. C'est le cas de certaines gorgones dont la colonie s'est ainsi ramifiée et positionnée au mieux afin d'attraper les éventuelles proies qui se trouveraient dans le courant qui la traverse.



Crédit : Sébastien Lecomte

La structure globale de cette gorgone orange lui permet de capturer les proies qui tenteraient de passer au travers. Chaque polype n'en demeure pas moins être un prédateur.

Il est ainsi très commun d'observer en plongée certaines gorgones qui se développent perpendiculairement au courant principal. C'est un exemple qui permet d'illustrer le développement spécifique d'une espèce dans un environnement qui lui est propice.

Ces gorgones se comportent comme un filet positionné en travers du courant. Bien que chaque polype soit individuellement un prédateur qui va attraper les proies passant à sa portée, l'ensemble de la colonie peut être vue comme un filtreur passif. Il ne faut cependant pas généraliser l'utilisation de ce terme à l'ensemble des gorgones : il suffit par exemple d'observer les gorgones blanches (*Eunicella singularis*), qui ne présentent pas du tout le même développement face au courant, pour se rendre compte que la notion de filtre ne s'applique pas pour cette espèce. Ce dernier exemple montre bien qu'il est préférable d'observer et de comprendre plutôt que de chercher à qualifier/classer automatiquement !

Et au final, parler de microphage suspensivore semble plus adapté pour décrire le mode d'alimentation général des gorgones.

Vers annélides

Plusieurs espèces de vers annélides tubicoles possèdent des branchies qui ont évolué sous forme de couronne tentaculaire, également appelé panache. Ce panache permet de filtrer l'eau qui le traverse : En plus de jouer un rôle dans la respiration, ces branchies leur permettent de s'alimenter, elles comportent des cils recouverts d'un mucus adhérent qui leur permet de capter leurs proies.

Ces cils acheminent ensuite la nourriture le long de l'axe du panache où s'effectue un tri qui permet d'ingérer uniquement les particules comestibles pour le ver.

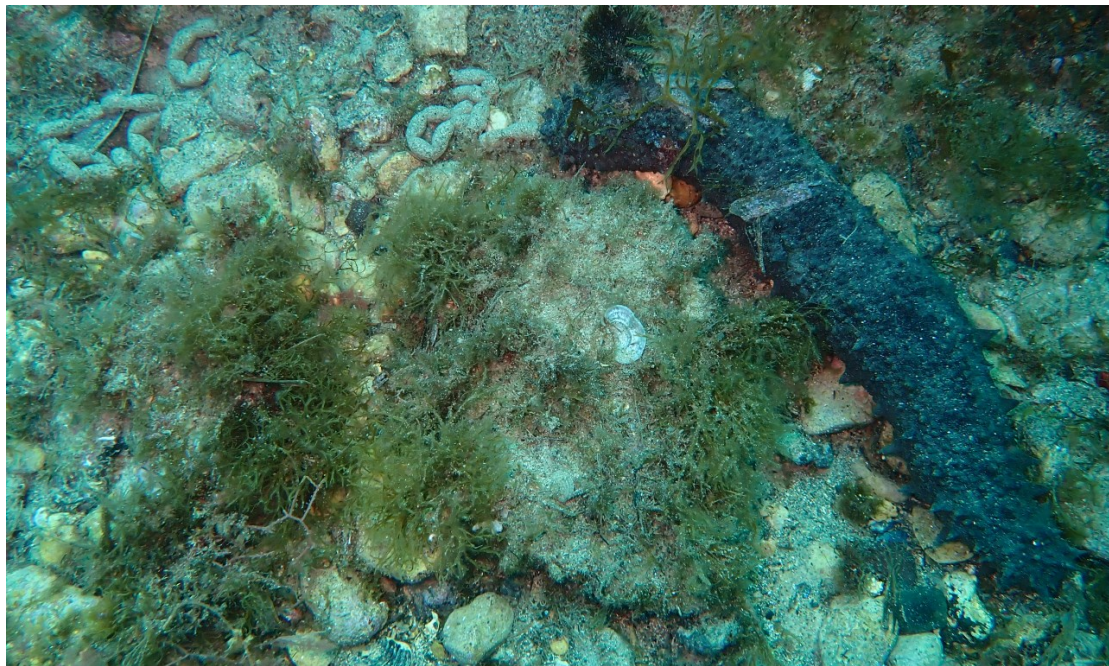


Le panache de ce spirographe agit comme un filtre lui permet de capter la nourriture du flux d'eau qui le traverse.

Ce comportement vaut parfois à ces vers d'être considérés comme filtreurs passifs compte tenu du fait qu'ils filtrent le courant qui les traverse. A nouveau, les qualifier de microphages suspensivores est probablement plus adapté.

Echinodermes

Afin de se nourrir, la plupart des holothuries filtrent le substrat. Elles le font grâce à leurs tentacules dont la taille et la forme dépendra du type de substrat filtré : des petits tentacules pelletés permettront de ramasser du sédiment (substrat fin). Alors que des tentacules digités équiperont les espèces recherchant leur nourriture dans un substrat plus grossier.



Crédit : Sébastien Lecomte

Il est fréquent de pouvoir observer une holothurie qui comme celle-ci a laissé derrière elle un chapelet de « petites crottes » sur son trajet.

Les holothuries émettent des quantités de déjections importantes qu'elles laissent derrière elles en avançant. Elles jouent un rôle important dans de nombreux écosystèmes puisqu'elles participent à une épuration / un recyclage des sédiments. Leur surpêche, due principalement à une consommation alimentaire asiatique, est d'autant plus inquiétante.

D'autres holothuries ont un autre mode d'alimentation, elles ont des tentacules très étendus et ramifiés qui leur permettent d'attraper leur nourriture dans le courant et la ramener à leur bouche.



Crédits : Doris - David Borg (gauche) et T. Cooper, CC BY 3.0 (droite)

A gauche, un lèche-doigts déploie ses tentacules pour capter sa nourriture. A droite, une comatule tropicale se positionne également dans le courant avec le même objectif.

Ce comportement est assez semblable à celui de certains vers annélides tubicoles décrits précédemment. Il se retrouve chez d'autres échinodermes : gorgonocéphales, comatules... Tous ces microphages qui se déploient pour attraper leur nourriture sont fréquemment qualifiés de filtreurs passifs.

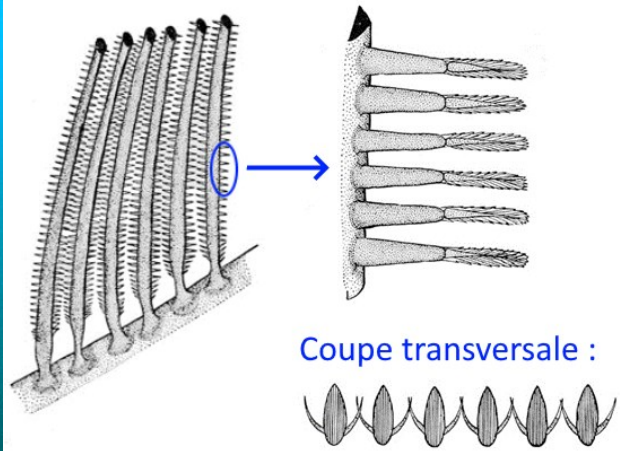
Poissons

Quelques rares espèces de poissons, comme les gobies précédemment présentés, filtrent le substrat, cependant la majorité des poissons filtreurs est avant tout constituée de poissons filtrant de grandes quantités d'eau pour y trouver leur nourriture.

Les plus impressionnants sont des poissons cartilagineux : les requins baleines, requins pèlerins et raies mantas pour ne citer que les plus connus.

Le requin baleine est le plus grand requin filtreur, il aspire l'eau, l'emprisonne en fermant la bouche et expulse l'eau filtrée par ses branchies. En nageant lentement la gueule ouverte, le requin pèlerin filtre l'eau pour récupérer le zooplancton.

L'eau est filtrée par des branchiospines qui forment une sorte de tamis, qui laisse passer l'eau en retenant toutes les particules planctoniques de plus de 2 à 3 mm, qu'ils peuvent ensuite avaler.

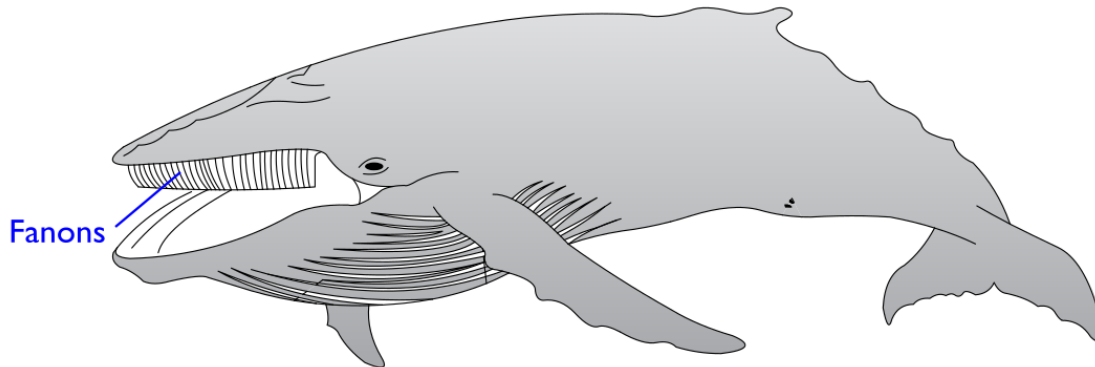


Souvent très impressionnants par leur taille, comme ce requin pèlerin, les poissons cartilagineux filtreurs ont des branchies équipées de branchiospines qui leur permettent de filtrer l'eau qui les traverse.

Moins impressionnants que les poissons cartilagineux, certains poissons osseux, souvent de taille plus modeste, pratiquent eux aussi cette même technique, c'est le cas par exemple des sardines qui nagent également bouche ouverte pour s'alimenter. Ou encore des rémoras, qui bien que se nourrissant des crustacés parasites et des restes alimentaires de leur hôte, profitent du flux généré par celui-ci lorsqu'il est en déplacement pour ouvrir la bouche et ainsi filtrer l'eau qu'ils laissent également circuler à travers leurs branchies.

Mammifères... les cétacés... mais pas que... !

Les baleines à fanons (mysticètes), sont les plus grands animaux filtreurs. Contrairement aux baleines à dents (odontocètes), elles possèdent des fanons qui leur permettent de filtrer leur nourriture dans une grande quantité d'eau. Ces fanons constitués de kératine sont composés de deux plaques rigides entre lesquelles se trouvent des sortes de poils. Les fanons ne se développent que depuis la mâchoire supérieure, il se renouvellent continuellement, à la manière des ongles.



Crédits : Sébastien Lecomte (document du domaine public modifié ; haut), Patrick Janicek, CC BY 2.0 (bas gauche) et André-Philippe D. Picard, CC BY-SA 3.0 (bas droite)

Les fanons se situent au niveau de la mâchoire supérieure des mysticètes, ils sont constitués de deux lames cornées entre lesquelles se trouvent des poils.

Alors que les poissons peuvent utiliser leurs branchies dans une sorte de « tunnel » dans lequel circule l'eau à filtrer qui est évacuée au fur et à mesure, les baleines ont développé une tout autre technique : elles font entrer une quantité importante d'eau en ouvrant la gueule en avançant. Puis, elles appliquent leur langue contre les fanons pour chasser l'eau, les fanons retiennent alors leurs proies qu'elles vont pouvoir ensuite avaler : elles se nourrissent principalement de crustacés comme le krill (un autre filtreur !), mais également de petits poissons et de céphalopodes.

Lorsque nous évoquons les mammifères marins filtreurs, nous pensons immédiatement aux baleines qui viennent d'être présentées. Mais nous ignorons souvent que la majorité des phoques filtre aussi son alimentation, puisque plus d'un phoque sur deux est un phoque crabier qui ne se nourrit non pas de crabes, mais très majoritairement de krills !

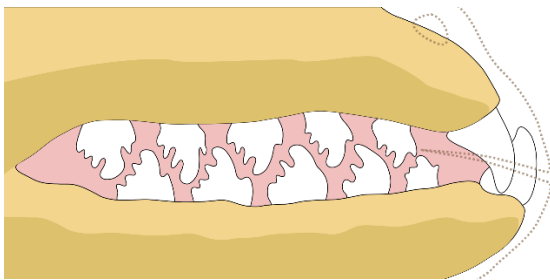
Bien que très abondants au niveau mondial, les phoques crabiers ne vivent qu'en antarctique et sont finalement peu connus.



Crédit : Liam Quinn, CC BY-SA 2.0

Phoque crabier : cette espèce représente plus de la moitié de la population mondiale de phoques.

Contrairement aux mysticètes qui ont divergé à partir des odontocètes avec l'apparition de fanons qui sont venus remplacer les dents, ces phoques ont gardé leurs dents, mais celles-ci ont évolué et se sont adaptées à la filtration.



Crédits : Dimitri Torterat (Diti), CC BY-SA 3.0 (gauche) et David Hocking (droite)

Le phoque crabier possède des dents qui semblent avoir été sculptées pour améliorer l'efficacité de la filtration.

Les oiseaux filtreurs

C'est bien connu, les flamants roses mangent des crevettes roses, ce qui leur donnent leur couleur. Pour être plus précis, ils se nourrissent effectivement de petits crustacés, des artémias, qui sont riches en carotène (pigment qui est lui-même issu des algues dont les artémias se nourrissent). Mais ils se nourrissent également de mollusques, insectes, vers, poissons... au stade d'œuf, de larve ou d'adulte. Pour cela, ils filtrent l'eau et la vase grâce à un bec particulier muni de lamelles ressemblant aux fanons des baleines.

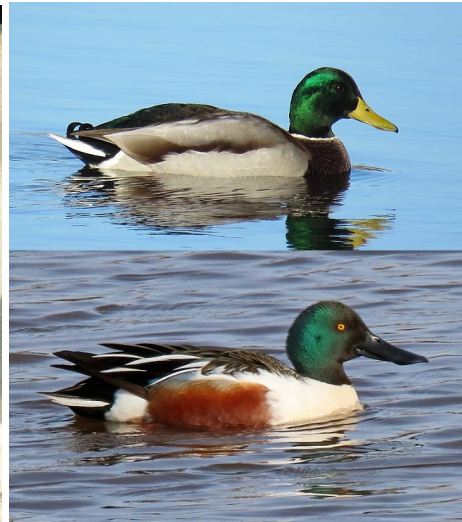


Crédits : Derek Keats, CC BY 2.0 (gauche) et Lamiot, CC BY 3.0 (droite)

Les flamants roses sont équipés d'un bec leur permettant de filtrer l'eau qui contient les petits invertébrés qui constituent leur principale source de nourriture.

Les flamants roses utilisent plusieurs techniques. En faible profondeur, ils plongent la tête dans l'eau et avancent ainsi en filtrant l'eau. Avec leurs pattes ils peuvent également agiter la vase pour mettre en suspension les organismes dont il se nourrissent. Ou, en eau plus profonde, ils peuvent plonger en ne laissant dépasser que leur arrière-train.

Des espèces parfois très proches l'une de l'autre ont parfois une morphologie qui s'est adaptée à des modes d'alimentation différents, c'est par exemple le cas de certains canards.



Crédits : Lord Mountbatten, CC BY-SA 3.0 (gauche), Lesbardd, CC BY-SA 4.0 (droite haut), Matti Virtala, CC0 (droite bas), modifiées par Sébastien Lecomte

Ces photos permettent de comparer les becs de 2 espèces de canards : le canard colvert et le canard souchet qui possède un bec en forme de spatule, adapté au tamisage, qu'il déplace dans l'eau de gauche à droite.

Les animaux qui se nourrissent par filtration, se nourrissent de petites proies, très nombreuses pour s'alimenter en quantité suffisante. Ils passent ainsi la majeure partie de leur temps à se nourrir, ceci

est vrai que ce soit pour des animaux fixés comme les éponges ou les ascidies dont le pompage est permanent, mais également pour des animaux mobiles, comme les baleines ou les flamants roses qui passent tout ou partie de la nuit à se nourrir.

L'excrétion

L'excrétion est une fonction vitale des organismes vivants, elle est souvent mise en retrait par rapport à d'autres fonctions, mais elle est pourtant fondamentale.

En effet, la respiration et la nutrition sont des fonctions indispensables qui apportent l'énergie à un organisme, mais pour l'exploiter, son métabolisme va générer des déchets qu'il va devoir évacuer pour des questions d'encombrement et surtout pour éviter que leur accumulation ne les rende toxiques.

Par ailleurs, les cellules de la plupart des organismes ne peuvent fonctionner que dans un milieu respectant des concentrations ioniques précises (homéostasie), ce qui va nécessiter des mécanismes de régulations permanents par exemple pour des poissons vivant dans de l'eau salée dont la concentration ionique est supérieure à leur milieu interne ou au contraire pour des poissons vivant en eau douce dont la concentration ionique est inférieure à leur milieu interne. Le milieu interne doit ainsi être régulé par l'organisme, c'est l'osmorégulation qui est souvent prise en charge par les mêmes organes que l'excrétion.

Tout comme pour la respiration, le niveau de complexité du fonctionnement de l'excrétion va dépendre des organismes : l'excrétion est avant tout effectuée au niveau cellulaire, elle est ainsi très simple chez un organisme unicellulaire. Et elle peut nécessiter une organisation bien plus complexe, avec la présence d'organes dédiés, par exemple les reins chez les hommes. Le processus est alors en 3 étapes : la filtration qui permet d'obtenir une urine primaire qui en plus des déchets contient des substances utiles à l'organisme, la réabsorption qui permet à l'organisme de réintégrer ces substances utiles et la sécrétion qui permet d'évacuer les déchets. Nous nous intéressons ici principalement à la filtration mise en œuvre par ces organes, mais c'est ce processus complet qui permet à l'organisme d'évacuer uniquement les déchets et l'éventuel excédent d'eau.

L'excrétion peut être centralisée ou distribuée. Lorsqu'elle est présente dans un organisme, la circulation qui permet de transporter l'oxygène sera souvent également utilisée pour transporter les déchets à excréter.

Les structures dédiées à l'excrétion peuvent être simples ou complexes :

- vacuoles pulsatiles (protistes)
- néphridies (certains invertébrés)
- glandes antennaires (crustacés)
- reins (vertébrés)

Chez certains animaux, comme les cnidaires, les échinodermes ou les éponges, il n'y a pas d'appareil excréteur, le milieu intérieur est relativement similaire au milieu extérieur. L'excrétion se fait depuis les cellules, par diffusion.

Chez d'autres animaux, une partie des déchets n'est pas rejetée mais stockée, par exemple dans les écailles de certains poissons ou dans un rein d'accumulation chez les tuniciers.

Chez les invertébrés : la néphridie

Chez les invertébrés disposant d'un système excrétoire, la fonction est prise en charge par un organe nommé néphridie. L'excrétion se fait en filtrant le liquide dans lequel baignent les organes. Le rôle de la néphridie est ainsi de retirer les déchets de ce milieu.

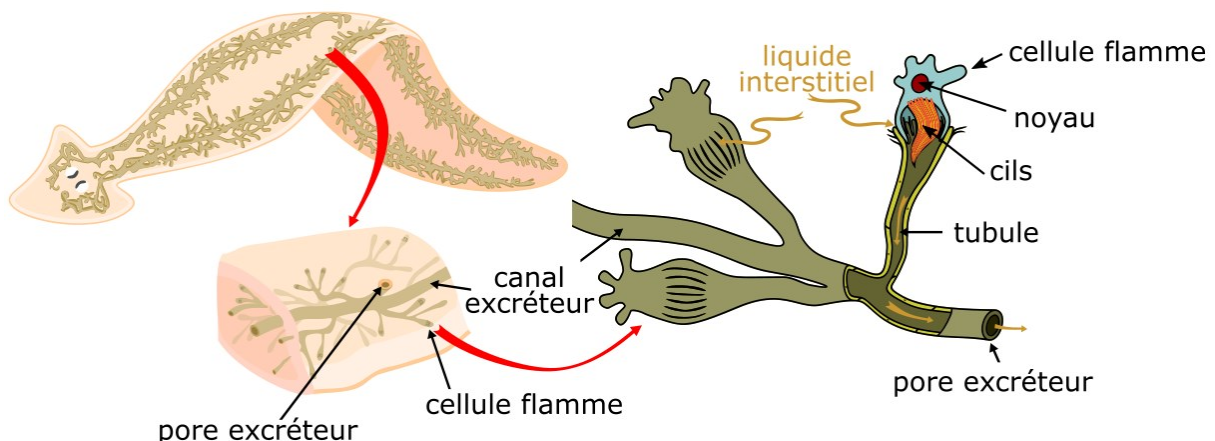
On distingue principalement 2 types de néphridie :

- Protonéphridie
- Métanéphridie

Protonéphridies

Les protonéphridies dont sont notamment équipés les plathelminthes sont constituées de tubules en cul de sac. Ces tubules sont connectés à un canal excréteur d'un côté. A leur extrémité, elles possèdent une cellule équipée d'une paroi filtrante qui peut être ciliée (Cellule flamme, on parle de néphridie à flamme) ou flagellée (Cellule flagellée, on parle de néphridie à solénocyte).

Les battements des flagelles ou des cils mettent en circulation le liquide contenu dans le tubule ce qui génère une dépression à son extrémité et permet d'aspirer le liquide interstitiel qui est ainsi filtré : les perforations dans la cellule laissent passer les petites molécules, mais pas les protéines qui sont de taille plus importante et qui restent ainsi dans l'organisme. Après réabsorption dans le tubule, les déchets collectés par le canal excréteur sont ensuite évacués par les pores excréteurs.



Crédit : Sébastien Lecomte, sur base d'une illustration de Mariaflaya (iStockPhoto)

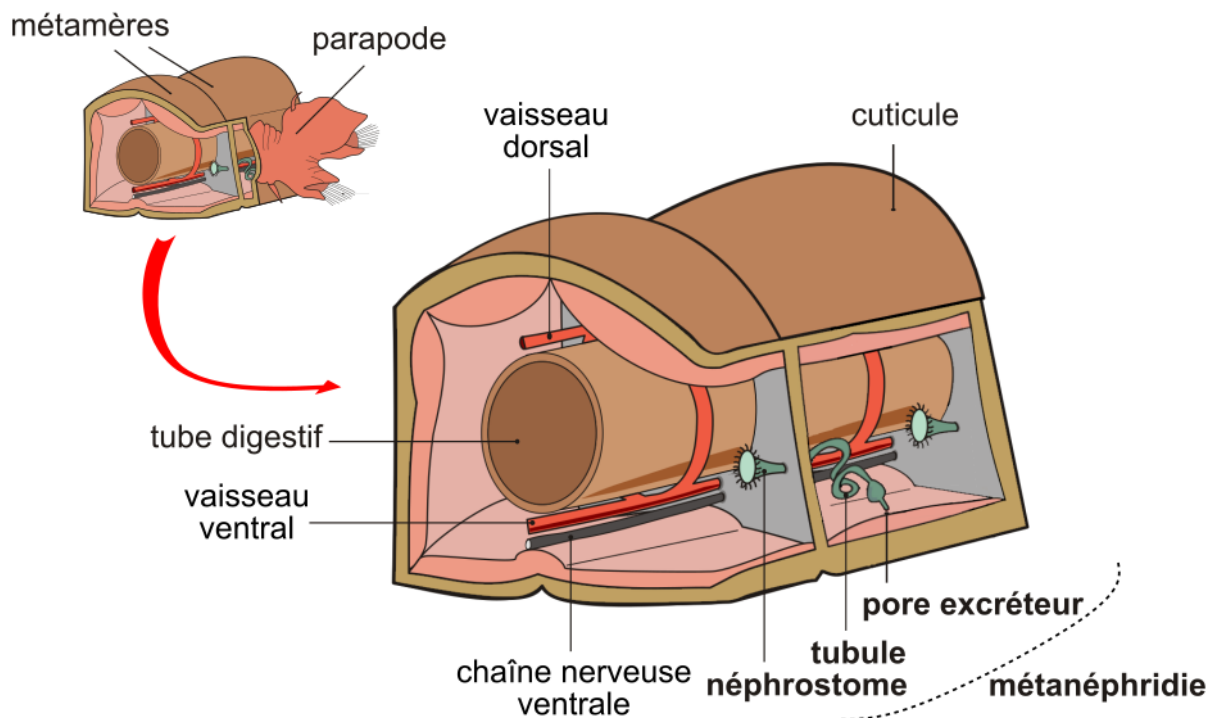
Les plathelminthes ont des protonéphridies dispersées dans leur organisme ce qui limite la distance de diffusion des déchets produits par les cellules des structures qui vont les excréter.

Métanéphridie

Chez les annélides, les déchets rejetés par les cellules, notamment par les cellules musculaires, s'accumulent dans les cavités cœlomiques de chaque métamère. L'épuration du liquide cœlomique est assurée par des métanéphridies.

Chaque métamère comporte une paire de métanéphridies, dont le fonctionnement est similaire aux protonéphridies. Le liquide cœlomique est filtré à travers le néphrostome qui est une ouverture ciliée en forme d'entonnoir située dans le métamère antérieur. La longueur du tube néphridien augmente

l'efficacité de la réabsorption qui a lieu avant de déboucher par un pore situé dans la cuticule. Ce pore permet alors d'évacuer à l'extérieur de l'organisme les produits à excréter.



Crédit : Hans Hillewaert, CC BY-SA 4.0 - Modifié par Sébastien Lecomte

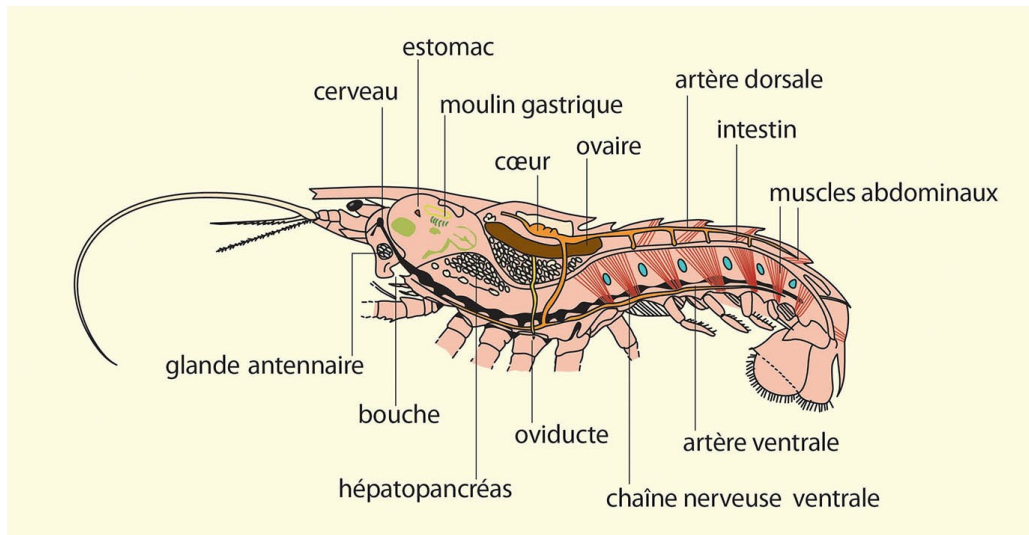
Chaque métamère comporte une paire de métanéphridies, sur ce schéma, celle située de l'autre côté du métamère n'est pas visible. Le néphrostome se situe dans le métamère antérieur.

Crustacés

Chez les crustacés, l'excrétion se fait principalement par les glandes antennaires qui pour les malacostracés sont situées dans le métamère antennaire. Elles prennent parfois le nom de glandes maxillaires pour les autres groupes, pour lesquels elles se situent dans le métamère maxillaire.

La glande antennaire joue le même rôle de filtration qu'un rein, avec une accumulation d'urine dans une vessie qui est évacuée périodiquement à l'extérieur par le pore antennaire.

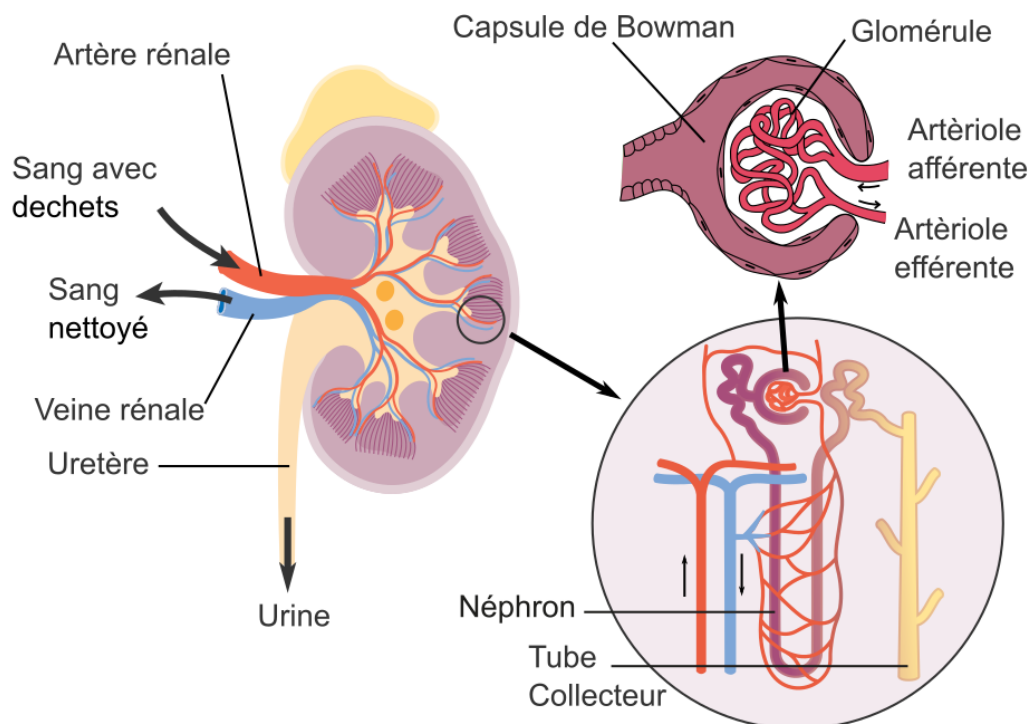
Les branchies des crustacés interviennent également dans l'excrétion, notamment pour les déchets azotés.



Crédit : « Crustacés », Encyclopædia Universalis [en ligne]
La glande antennaire est le principal organe excréteur des crustacés.

Chez les vertébrés : les néphrons, regroupés dans des reins

Chez les vertébrés, les organismes disposent d'un appareil excréteur comprenant les organes suivants : les reins, les uretères, la vessie et l'urètre. Ce sont les reins qui ont un rôle de filtration du sang et qui permettent la formation de l'urine, ils sont composés d'une grande quantité de petites unités de filtrations, les néphrons. Chez les hommes, un rein comprend environ 1 million de néphrons.



Crédit : Cancer Research UK, CC BY-SA 4.0 - modifié par Sébastien Lecomte,
Chez les vertébrés, les reins filtrent le sang pour former l'urine qui sera excrétée

Le sang entre dans les reins par une artère rénale qui amène le sang dans un glomérule et un réseau de capillaires sanguins qui entourent chacun des néphrons. Durant cette circulation, les déchets azotés et les substances en surplus comme l'eau et les sels minéraux vont être retirés du sang. Il s'agit d'une filtration passive qui se fait par différence de pression. Après la phase de réabsorption qui permet le retour de certaines molécules utiles à l'organisme, les substances recueillies formeront l'urine. Le sang qui a été nettoyé quitte les reins par la veine rénale.

Osmorégulation

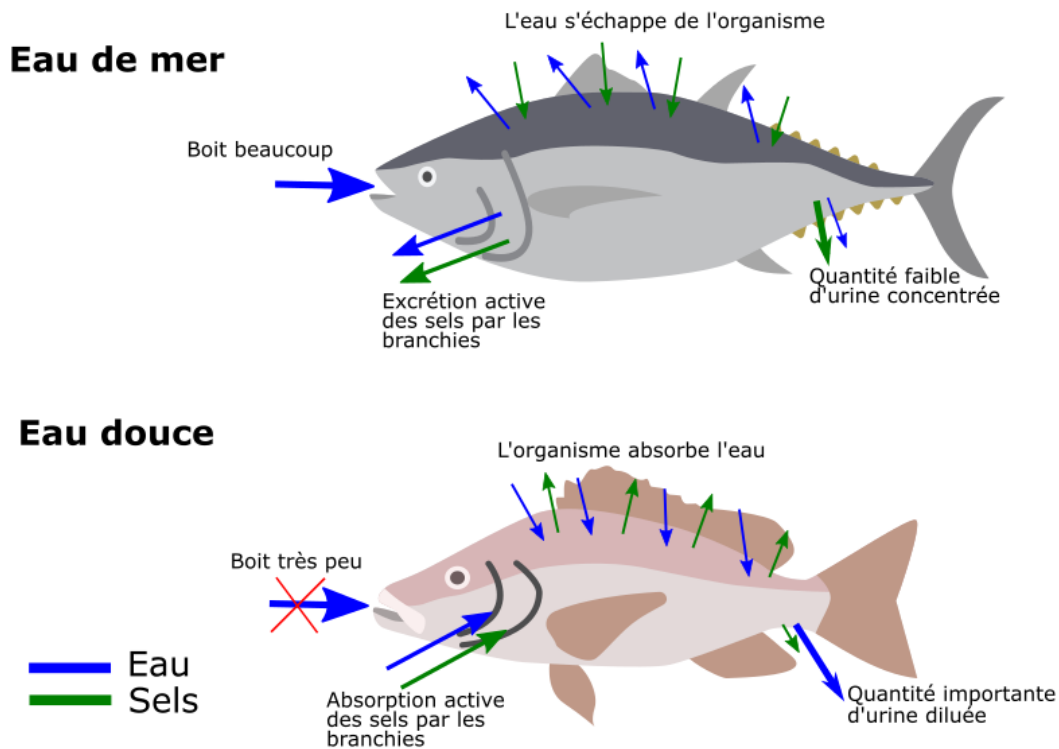
Les organismes homéostatiques ont besoin de maintenir la concentration en sels dissous dans leur milieu interne (osmolarité). Les échanges naturels font que la concentration de leur milieu intérieur a tendance à s'équilibrer naturellement avec celle du milieu extérieur, et les organismes vont devoir dépenser de l'énergie pour la maintenir. L'eau douce située à l'intérieur des organismes des espèces marines a tendance à être évacuée. Ils vont lutter pour la retenir. Alors qu'à l'inverse, les espèces dulcicoles vont devoir lutter pour conserver la salinité de leur corps.

Cette osmorégulation est souvent associée à l'excrétion car elle peut utiliser l'appareil excréteur et notamment les reins pour évacuer les excès de sels.

Les mécanismes en jeu sont consommateurs en énergie et les organismes possèdent des capacités limitées en matière de régulation, ils ont besoin pour vivre d'une fourchette de salinité précise. Ces capacités sont très dépendantes des espèces, certaines d'entre elles ont des capacités d'adaptation physiologique supérieures, c'est notamment le cas des espèces vivant dans les milieux marins subissant des apports importants en eau douce (estuaires, étangs salés, ...) et des espèces migratrices passant d'un milieu salé à dulcicole ou le contraire (saumons, anguilles, ...).

Une technique classique utilisée par les aquariophiles leur permettant de soigner les poissons marins parasités consiste à les transférer quelques minutes dans une eau à plus faible densité, ce qui permet de tuer les parasites qui ont des capacités d'adaptation plus limitées par choc osmotique sans impacter les poissons le temps de l'opération.

Les poissons régulent en permanence la concentration de leur milieu interne, cela se traduit par une circulation importante d'eau, sans que cela ne soit visible lorsque nous les observons.



Crédit : Sébastien Lecomte

Beaucoup boire et peu uriner ou peu boire et beaucoup uriner... !

Les poissons marins boivent beaucoup pour compenser l'eau qui s'échappe naturellement de leur organisme :

- un poisson marin perd de l'eau au niveau de ses branchies et à travers sa peau. Cette perte corporelle est limitée par la présence d'écaillés et par la sécrétion de mucus. Les poissons marins boivent beaucoup d'eau, 20 à 25% de leur poids par jour, pour compenser l'eau qui s'échappe naturellement de leur organisme. Ils éliminent ainsi une urine peu abondante mais très concentrée. Une excrétion active des sels a également lieu au niveau de leurs branchies.
- au contraire, les poissons vivant en eau douce boivent très peu, car l'eau a tendance naturellement à entrer dans leur organisme par les branchies et par la peau. Ils éliminent une urine très abondante et très diluée. Une absorption active de sels a également lieu au niveau de leurs branchies.

Comme évoqué précédemment, les animaux qui vont passer d'un milieu à un autre dont la salinité est différente, auront nécessairement une physiologie adaptée, au risque de les voir se dessécher... ou au contraire de voir leurs cellules éclater sous l'effet de l'osmose.

Certains organismes sont relativement tolérants et peuvent réguler la concentration de leur milieu interne en vivant dans un milieu saumâtre à salinité changeante, tels que les étangs salés ou les estuaires dont la salinité peut par exemple diminuer par des apports importants en eau douce ou augmenter par évaporation. Pour d'autres espèces, notamment les espèces migratrices passant d'un milieu dulcicole à un milieu marin ou inversement, le changement d'environnement peut-être plus radical et parfois nécessiter une période d'adaptation physiologique.

Les anguilles qui naissent en mer et migrent vers les cours d'eau ont une capacité de régulation très importante et passent aisément d'un milieu à un autre. En revanche, une adaptation spécifique est nécessaire aux saumons qui ont un cycle de vie comprenant une naissance en eau douce, un développement de plusieurs années dans l'océan et un retour en eau douce pour frayer : avant de pouvoir atteindre la mer pour la première fois, leur organisme va s'adapter aux conditions à venir, ce processus appelé smoltification, se produit sous l'effet d'hormones dont la production est liée à la photopériode. En plus de changements physiques, les capacités d'osmorégulation vont être modifiées avec une augmentation des pompes Na^+ / K^+ situées dans leurs branchies. Les jeunes saumons, appelés smolts, passent quelques temps dans les estuaires pour préparer leur passage en mer.

Reproduction... et filtration

La reproduction sexuée chez les éponges est principalement ovipare, avec une émission de gamètes mâles et femelles en pleine eau, fécondation, puis développement de la larve qui finira par se fixer.

Cependant certaines éponges ont la particularité d'être vivipares. Le mécanisme de reproduction est relativement original, il met en jeu ce qui s'apparente à une filtration puisque dans ce cas seules les gamètes mâles sont émises en pleine eau. Une éponge femelle de la même espèce va aspirer certains de ces spermatozoïdes, ceux-ci vont être attrapés par les choanocytes qui plutôt que de les phagocyter vont les transporter : le choanocyte perd alors son flagelle et sa collerette et va transporter le spermatozoïde dans la mésoglyée, jusqu'à un ovocyte pour permettre la fécondation de celui-ci. Ce qui permettra le développement d'une larve qui sera alors expulsée de l'éponge.

Conclusion

Filtrer : trier, pour garder ce dont on a besoin, ou au contraire, pour se débarrasser de ce qui nous encombre. Un concept simple, mais qui est utilisé à profusion sous diverses formes !

De son côté, l'homme a pour sa part fait preuve de réflexion et d'imagination pour innover et créer une multitude de filtres adaptés à ses besoins quotidiens. Ces inventions datent d'au plus de quelques centaines d'années.

Alors que depuis quelques milliards d'années, les organismes vivants, à travers leur évolution ont déjà très largement innové en la matière. Qu'il s'agisse de trier un flux liquide, gazeux, solide, lumineux... La sélection naturelle a permis de tester et de retenir des mécanismes qui répondent aux besoins des fonctions vitales, telles que l'alimentation, la respiration ou l'excrétion.

La qualification d'animal "filtreur" est un sujet de discordance récurrent, il n'existe pas de définition de cet adjectif qui fasse l'unanimité : les définitions utilisées ont évolué dans le temps, c'est ce qui a été mis en évidence au début de cette étude, en étudiant les origines de cette notion qui s'est peu à peu élargie.

A cela s'ajoute le fait que les mécanismes mis en œuvre par les organismes sont parfois méconnus. Par exemple, est-ce que tel animal déplace un appendice qui met en mouvement l'eau qu'il va filtrer ? ou déplace-t-il simplement cet appendice pour attraper ce qui est dans l'eau ? ou les deux ?

Ces désaccords mènent parfois à des querelles de clochers, et des débats dont l'intérêt est limité. Quelque part, nous pouvons considérer que "filtreur" est un terme vernaculaire, c'est à dire qu'il fait partie d'un vocabulaire local. Il peut être utilisé dans des situations qui ne portent pas à confusion, mais il est parfois nécessaire d'utiliser un vocabulaire plus précis pour caractériser certains mécanismes.

La (bio)diversité a été très largement mise en évidence dans cette étude : les organismes ont évolué en suivant des stratégies parfois divergentes, parfois convergentes. Cette évolution est permanente depuis l'apparition du vivant. L'évolution prend toujours de nouvelles directions avec de nouvelles espèces qui démontrent que rien n'est figé et contredisent les caractéristiques des groupes dans lesquels nous essayons de les classer aujourd'hui. C'est par exemple le cas de certaines éponges ou certaines ascidies qui ont abandonné la filtration pour un nouveau mode d'alimentation plus adapté aux spécificités de leur environnement.

Au-delà de l'émerveillement que peut susciter l'observation de la diversité du vivant, la compréhension du fonctionnement et des besoins des organismes nous permet d'expliquer et d'entrevoir les impacts qu'un changement de milieu peut avoir sur eux. Nous nous devons de « Comprendre pour mieux protéger ».

En tant que plongeurs naturalistes, nous avons l'opportunité d'observer certains de ces filtreurs, de comprendre leur mode de vie et le rôle qu'ils jouent dans leur écosystème. Cette démarche s'inscrit dans une approche plus globale qui permet de mieux cerner les enjeux liés au maintien de l'ensemble de la biodiversité.

Remerciements

J'ai rédigé ce mémoire dans le cadre du cursus Formateur Biologie 3^{ème} degré, cette formation s'inscrit elle-même dans une démarche de développement personnel d'apprentissage, de compréhension et de partage de la connaissance de l'environnement et tout particulièrement du milieu sous-marin. La rédaction de ce mémoire, cette formation et plus largement mes « activités bio » n'ont été possibles que grâce à l'écosystème dans lequel j'évolue depuis une vingtaine d'années.

Ainsi, je remercie spécifiquement (par ordre d'apparition :-), Pascal Zani, Christian Bergmann, Patrick Giraudeau, Marjorie Dupré-Poiget, Jacques Dumas, Annie Lafourcade et Regis Colas qui m'ont accompagné durant les différentes étapes de ma formation et dont les conseils et critiques ont toujours été pertinents et constructifs. La qualité de leurs interventions a été une source de motivation pour progresser dans ma démarche et aller au de-là de ce que je pouvais imaginer.

Je remercie l'ensemble des plongeurs qui m'accompagnent dans ma passion, les encadrants bios bien sûr, mais également tous les plongeurs, y compris les baptêmes à qui j'ai subtilement « imposé » une initiation bio : Quel que soit le contexte, c'est un plaisir sans cesse renouvelé de découvrir ou redécouvrir le milieu sous-marin ! Puis, une fois sorti de l'eau, de tirer un enseignement des échanges, que ce soit en termes de connaissances ou de pédagogie.

Et enfin, je remercie Aixplo : Le club d'Aix en Provence qui depuis sa création il y a 8 ans me fait confiance et me donne carte blanche pour développer toutes les activités qui me tiennent à cœur.

Références

Livres et articles :

Lecoindre G. et Le Guyader H., 2017, Classification phylogénique du Vivant, tome 2, Métazoaires, Belin, 4ème édition, 832p., ISBN : 9782410003857

Heusser S et Dupuy HG, 2008, Biologie animale tome 1, les grands plans d'organisation, Dunod, 3ème édition, 144 p., ISBN : 978-2100518166

Bay-Nouailhat A. et Bay-Nouailhat W., 2020, Guides des tuniciers de l'Europe de l'Ouest, M&L éditions, 240p., ISBN : 978-2957111503

Le Granché Ph., André F. et Rochefort G., 2018, Spongiaires de France - Les Carnets du plongeur, ed. Neptune Plongée, 256p., ISBN : 978-2-9548084-1-3

McKinney F. et Jackson J., 1991, Bryozoan Evolution, University of Chicago Press, 1ère édition, 252p., ISBN : 978-0226560472

Dera J., 1992, Marine Physics - volume 53, 1992, Elsevier, 514p, 1ere édition, ISBN : 978-0080870915

Riisgård H. et Goldson A., 1997, Minimal scaling of the lophophore filter-pump in ectoprocts (Bryozoa) excludes physiological regulation of filtration rate to nutritional needs. Test of hypothesis, Marine Ecology - Progress Series, Volume 156, Pages 109-120, ISSN 0171-8630

Mariani S., Baillie C., Colosimo G. et Riesgo A, 2019, Current Biology - Sponges as natural environmental DNA samplers, Current Biology Magazine Volume 29 , Pages 395-402, ISSN 0960-9822

Fiala-Médioni A., 1978, Filter-feeding ethology of benthic invertebrates (ascidians). IV. Pumping rate, filtration rate, filtration efficiency, Marine Biology, Volume 48, Pages 243-249, 0025-3162

Payne R. et Webb D., 1971, Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales, Annals of New York Academy of Sciences, Volume 188, Pages 110-141

Ressources en ligne :

Doris (Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques) : <https://doris.ffesm.fr/>

Futura science : <https://www.futura-sciences.com/>

Encyclopædia Universalis : <https://www.universalis.fr/>

Mer et Littoral - La vie marine de l'Europe de l'Ouest : <https://www.mer-littoral.org/>