

LES EPONGES

I Présentation générale

Les spongiaires, plus connus sous le nom d'éponges, constituent l'embranchement le moins évolué des métazoaires, à la frontière entre le monde des protozoaires (animaux unicellulaires) et le véritable monde des métazoaires (animaux pluricellulaires). Apparues il y a probablement près de 700 millions d'années, au Précambrien, les éponges sont formées de cellules faiblement liées entre elles, qui ne forment pas de véritables tissus, contrairement aux animaux plus évolués (y compris les cnidaires, qui leur succèdent immédiatement dans l'arbre phylogénique). Une expérience classique consiste à fractionner une éponge en très petits morceaux puis à passer ces morceaux à travers un tamis pour s'assurer qu'ils sont bien séparés. En replaçant la « bouillie » ainsi obtenue dans l'eau, on s'aperçoit que les cellules s'agglomèrent les unes aux autres, dans un ordre bien établi, puis finissent par reconstituer une éponge cohérente. Cette particularité, unique dans le monde animal, rend les éponges très appréciées pour mieux connaître la communication entre cellules.

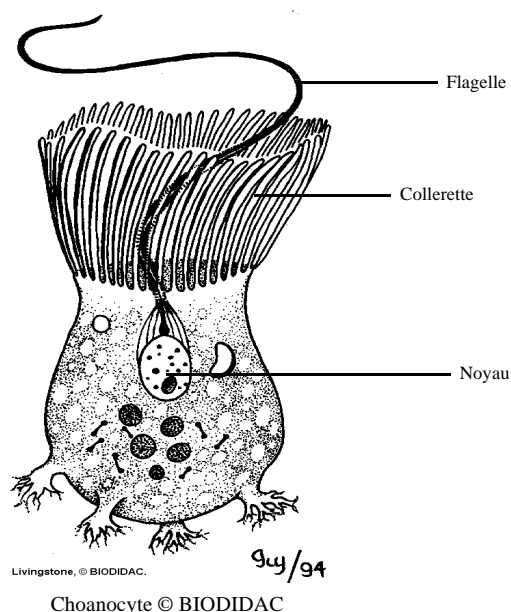
En l'absence de tissus, et donc d'organes spécialisés, toutes les fonctions vitales sont assurées par des cellules plus ou moins spécialisées (avantage de l'éponge par rapport au protozoaire qui doit assurer l'ensemble des fonctions vitales avec son unique cellule). Les principaux types de cellules rencontrés sont les suivants :

- les *choanocytes*, ou cellules à collerette, qui assurent notamment le mouvement de l'eau dans le corps de l'éponge mais qui jouent également un rôle lors de la reproduction ;
- les *amibocytes*, cellules mobiles assurant notamment le transfert d'éléments nutritifs ;
- les *scléroblastes* (ou *sclérocytes*) et les *spongioblastes*, qui sécrètent le squelette interne des éponges (spicules et spongine) ;
- les *pinacocytes*, qui protègent l'éponge du monde extérieur ;
- Les *porocytes*, qui bordent les pores inhérents de l'éponge ;
- les *archéocytes*, cellules non différenciées qui

peuvent se transformer en cellule de n'importe quel autre type (on parle de cellules *totipotentes*) ;

- les *collencytes*, cellules allongées qui sécrètent du collagène ;
- les *myocytes*, cellules allongées dont la structure ressemble à celle des cellules musculaires lisses, douées de propriétés contractiles ;
- des *cellules nerveuses*.

De nombreux auteurs ont insisté sur la ressemblance entre les choanocytes des éponges et certains protozoaires ciliés, les *choanoflagellés*, laissant entendre que les éponges pourraient être issues, au fil de l'évolution animale, de l'association de tels protozoaires qui auraient ainsi trouvé un « intérêt » à se spécialiser, comme évoqué plus haut.

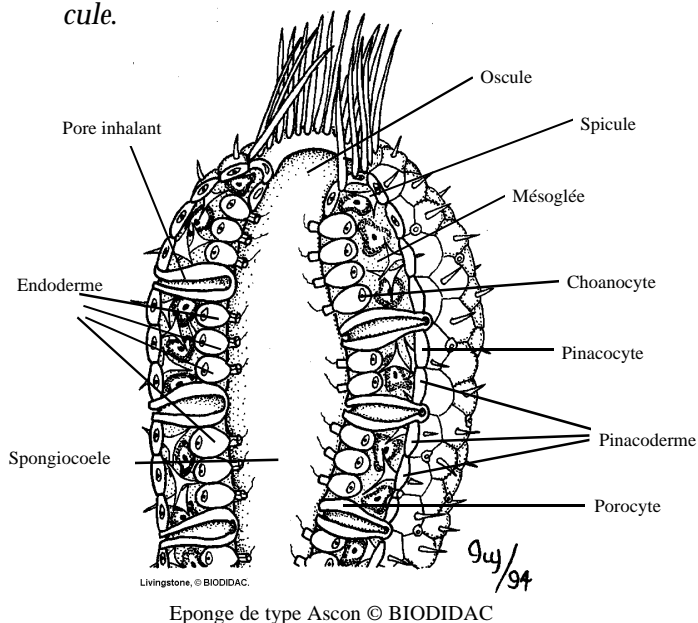


Le nombre d'espèces d'éponges connues dans le monde varie entre 3 000 et 10 000 selon les auteurs et se situe plus probablement autour de 8 000 (le nombre réel d'espèces, tenant compte des espèces encore inconnues, peut probablement être multiplié par deux). La plupart des espèces sont marines, mais il existe également des espèces dulçaquicoles que l'on peut rencontrer chez nous (*Ephydatia fluviatilis* en est un excellent exemple). Il n'existerait qu'une cinquantaine d'espèces d'eau douce, certaines de très grande taille comme celles que l'on peut

rencontrer dans le lac Baïkal. Les éponges sont largement réparties dans le monde et il est possible d'en trouver dans toutes les mers, des pôles à l'équateur. Elles occupent verticalement l'ensemble de l'espace, depuis le médiolittoral (*Hymeniacidon perleve* peut être facilement observé sur les rochers à marée basse en Bretagne) jusqu'aux plaines abyssales (le record du monde étant détenu par le genre *Asbestopluma*, dont nous reparlerons plus tard, qui a été trouvé vivant à - 8 840 m).

II Anatomie

Les éponges sont constituées de deux couches de cellules, appelées endoderme et ectoderme (ou, plus justement, *choanoderme* et *pinacoderme*). Entre ces deux couches se trouve une gelée, appelée *mésoglée* ou encore *mésenchyme*, dans laquelle évoluent librement les amibocytes. Dans la mésoglée se situent également les éléments de squelette de l'éponge, *spicules* ou fibres de *spongine* dont nous reparlerons plus loin. Les éponges les plus simples ont la forme d'un sac dont la paroi interne est tapissée de cellules à collerette. Les éponges présentant ce type d'organisation sont appelées éponges du type *Ascon* (du nom d'un genre présentant cette organisation). Les éponges de ce type possèdent une vaste cavité interne, appelée *atrium* ou *spongiocoele*, qui s'ouvre sur l'extérieur par l'orifice exhalant de l'éponge ou *oscule*.

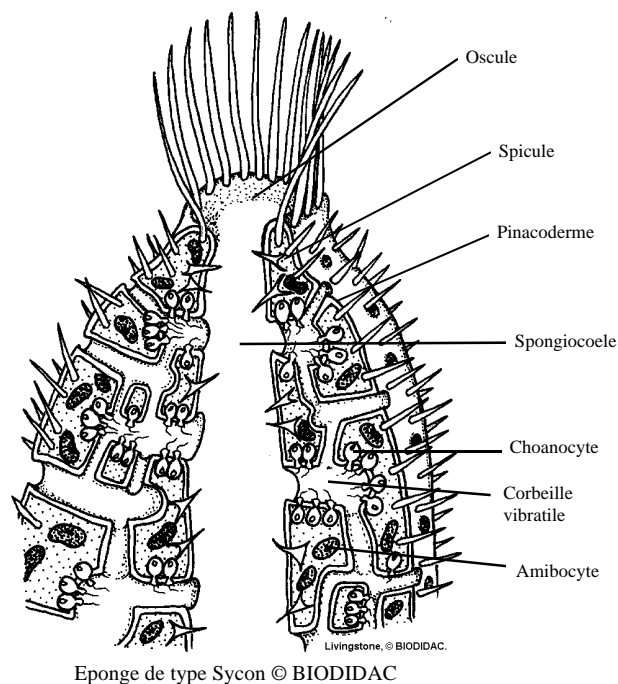


Les éponges de ce type sont les plus archaïques (les larves d'éponge passent par ce

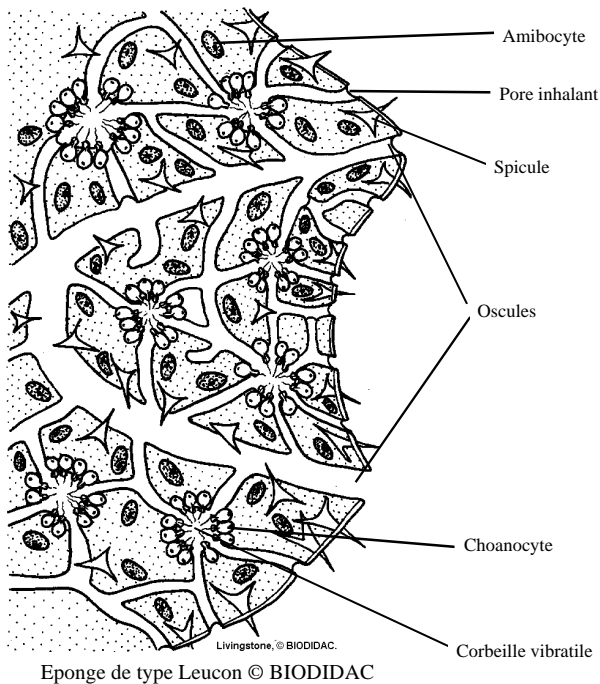
stade) et rares sont les espèces rencontrées en plongée présentant cette structure (les genres *Leucosolenia* et *Clathrina* sont les deux exceptions notables). De fait, cette organisation n'est pas très efficace, pour deux raisons essentielles :

- Elle n'optimise pas le rapport surface de filtration/volume de l'éponge ;
- L'atrium, dans lequel baignent les choanocytes, contient un mélange d'eau « fraîche », qui vient de pénétrer dans l'éponge et qui contient les particules nutritives, et d'eau « sale » contenant les déchets produits par l'éponge.

Au fil de l'évolution, la structure des éponges s'est donc complexifiée afin de corriger ces lacunes et d'aboutir à un système de filtration plus efficace. Le deuxième grand type d'organisation correspond aux éponges de type *Sycon* (également du nom d'un genre, fréquent dans nos eaux, présentant cette organisation). Ici, l'atrium existe toujours, mais il est exempt de choanocytes. Ces derniers se sont regroupés dans des canaux périphériques qui mènent à l'atrium, au sein de « corbeilles vibratiles ». L'éponge évite ainsi le mélange entre eau « fraîche » et eau « sale » au niveau des choanocytes. Elle accroît également le rapport surface de filtration/volume de l'éponge.

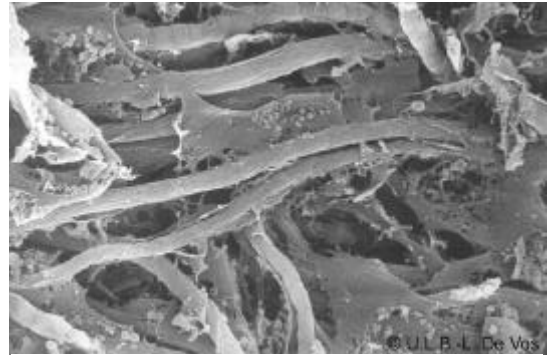


Enfin, les éponges les plus évoluées, qui sont celles que l'on rencontrera le plus fréquemment en plongée, sont du type *Leucon* (encore un nom de genre). Dans ces éponges, le spongio-coele (ou atrium) a totalement disparu et l'éponge est constituée d'un ensemble de canaux. Sur ces éponges, plusieurs oscules peuvent être visibles pour un même individu. Les choanocytes sont regroupés dans des corbeilles vibratiles, comme chez les éponges syconoïdes. Le réseau interne est ici très complexe et offre un très grand ratio surface de filtration/volume de l'éponge.



Les éponges, et plus particulièrement celles du type Leucon, peuvent avoir des formes très variables, d'un individu à l'autre au sein d'une même espèce, ce qui rend ce critère difficilement exploitable pour la détermination. Les zoologistes se sont donc rabattus sur le seul élément fiable dont ils disposaient, le squelette interne de l'éponge. Il est bien évident qu'aujourd'hui d'autres critères pertinents peuvent être pris en compte pour la détermination des espèces (écologie, forme, stade larvaire, etc.).

Le « squelette » des éponges est constitué des spicules, petites pièces de calcaire ou de silice, et/ou de fibres de spongine, une protéine très résistante et dont l'aspect est connu de tous (les éponges de toilettes, les vraies, sont constituées du squelette de spongine de l'éponge commerciale *Spongia officinalis*, éponge qui n'a pas de spicules).



Fibres de spongine de *Ircinia fasciculata*

© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles

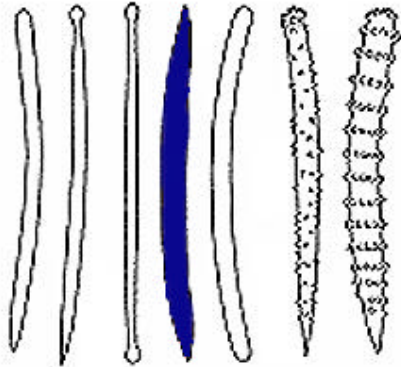
L'utilisation quasi-exclusive des spicules pour la détermination des espèces pendant plus de deux siècles a naturellement conduit les zoologistes à développer un vocabulaire particulier permettant de mieux définir chaque type de spicule. Nous allons dans les lignes qui suivent examiner quels sont les principaux types de spicules qu'il est possible de rencontrer dans les éponges. Ces spicules ne peuvent habituellement être examinés qu'au microscope. Un minimum de préparation est donc indispensable (dissolution des parties molles de l'éponge à l'eau de javel, par exemple).

Parmi l'ensemble des spicules, on distingue ceux de plus grande taille, appelés pour cette raison *mégasclères* (il y a aussi des mégasclères de petite taille, mais ce n'est pas la peine de compliquer à ce niveau) et les spicules de petite taille, appelés *microsclères*.

Les mégasclères sont essentiellement de forme linéaire (il existe des exceptions, mais nous les ignorerons pour l'instant). On peut tout d'abord les distinguer par le nombre d'axes qui les composent ou par le nombre de pointes. Le suffixe « *actine* » ou « *axone* » permet de savoir de quoi l'on parle (*actine* pour le nombre de pointes, *axone* pour le nombre d'axes). Un spicule tout droit sera donc qualifié de *monoaxone*, et de *diactine* s'il comporte deux pointes. S'il est arrondi à un bout (et ne comporte donc qu'une seule pointe) on le qualifiera de *monoaxone monoactine*. Mais s'il est arrondi aux deux bouts, on le qualifiera de nouveau de diactine (les deux extrémités étant similaires)... Dans la nature, on pourra trouver des *monoactines*, *diactines*, *triacines*, *tétractines*, *pentactines* et *hexactines* (ouf!).

Afin de « simplifier » un peu les choses, les grands types de spicules ont reçu un nom plus précis :

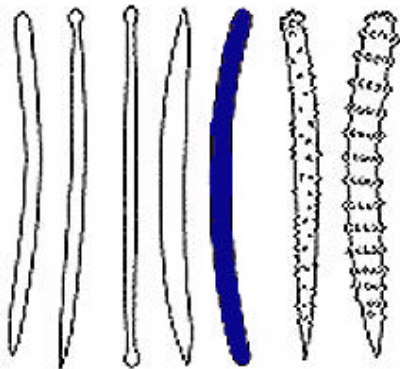
Les *oxes* sont des *monoaxones diactines* aux deux pointes acérées :



Oxe : spicule aux deux pointes acérées

F. HIEMSTRA

Les *strongyles* sont des *monoaxones* arrondis aux deux extrémités, d'un diamètre sensiblement constant sur toute leur longueur. Les spicules de forme intermédiaire entre les oxes et les strongyles sont, fort justement, baptisés *Strongyloxes*.



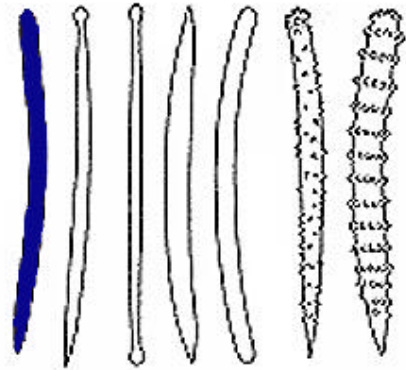
Strongyle : monaxone aux deux pointes arrondies

F. HIEMSTRA

Les *styles* sont des *monoaxones* dont l'une des extrémités est arrondie. Les *strongylostyles* sont la forme intermédiaire entre *style* et *strongyle*.

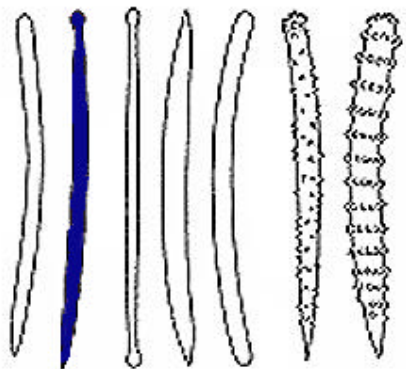
Les *tylostyles* ressemblent aux styles, mais possèdent une boule à l'extrémité, que l'on appelle *tyle*. Comme pour les *strongylostyles*, il existe des formes intermédiaires entre les *styles* et les *tylostyles*. On les appelle des *subtylostyles*. De

même, les formes intermédiaires entre les *tylostyles* et les *strongyles*, s'appellent *subtylostongyles*.



Style : une pointe et une extrémité arrondie

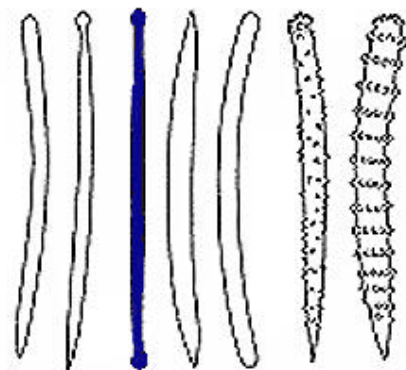
F. HIEMSTRA



Tylostyle : une pointe, et un tyle

F. HIEMSTRA

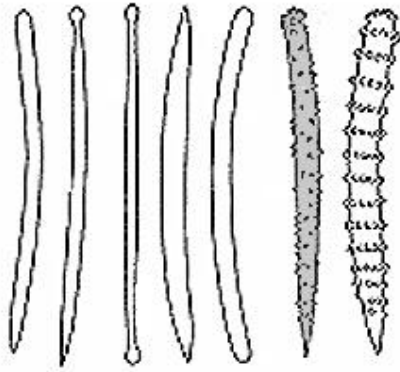
Les *tylotes* possèdent quant à eux un *tyle* à chaque extrémité.



Tylote : un tyle à chaque extrémité

F. HIEMSTRA

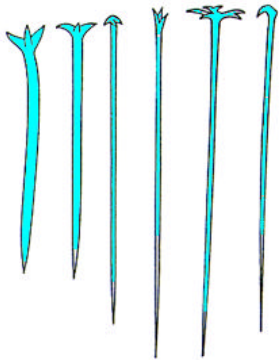
Les *acanthostyles* sont des *styles* dotés de nombreuses épines, sur tout ou partie de leur longueur. Il existe également des *acanthoxes* (oxes dotés de piquants), moins fréquents, ainsi que des *acanthostrongyles*.



Acanthostyle : style doté de nombreuses épines

F. HIEMSTRA

Les *triaenes* sont des *tétraxones tétractines* dont l'une des branches (rhabde) est plus longue que les autres.



Triènes

F. HIEMSTRA

Les *tornotes* sont des spicules *diactines*, de diamètre constant, trouvés spécifiquement dans l'ectosome des démosponges. Leurs extrémités, souvent dissymétriques, sont coniques ou mucronées (présence d'un *mucron*, sorte de petit prolongement du spicule).



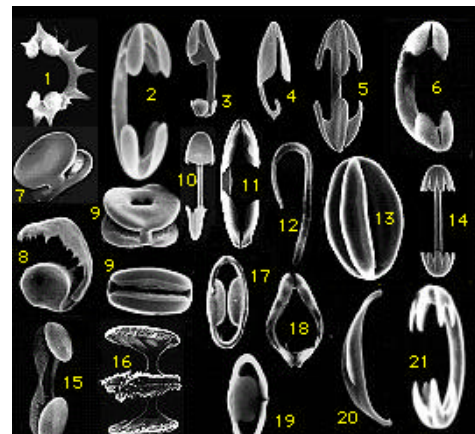
Tornote

Enfin, certains spicules peuvent parfois présenter une certaine courbure, voire une rotation sur eux même. Ces spicules sont alors appelés « verticillés ». Les acanthostyles verticillés, tels

que ceux représentés sur les illustrations de spicules présentés précédemment, sont en particulier caractéristiques de la famille des *Agelasidés*, comportant un représentant très commun en Méditerranée (*Agelas oroïdes*).

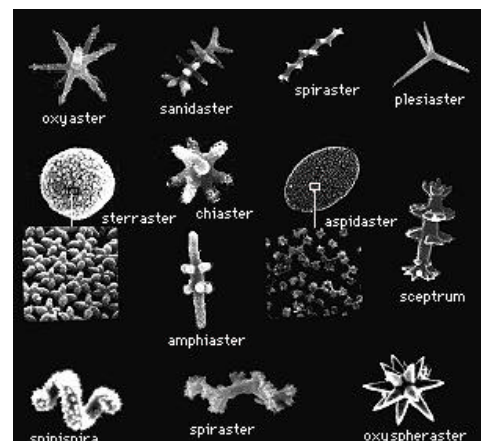
Les *microscières* quant à eux revêtent des formes extrêmement diversifiées et sont toujours de taille nettement plus faible que les mégascières (toutes les éponges n'en ont pas). On retiendra essentiellement :

- les *asters*, au nom évocateur et d'où partent plusieurs rayons (s'ils sont centrés, on parle d'*euaster*) ;
- les *chèles*, qui présentent une belle forme sigmoïde. Ils peuvent être symétriques (*isochèles*) ou asymétriques (*anisochèles*);
- Les *toxés*, qui présentent une forme d'arc caractéristique.



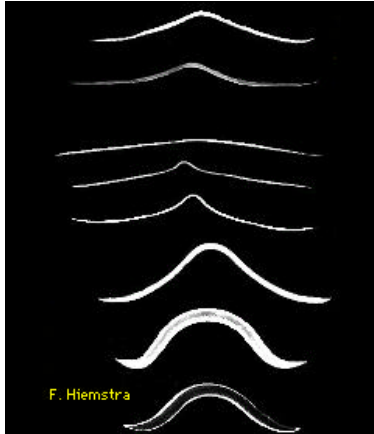
Différents types de chèles

Photo : R.W.M. van Soest



Différents types d'aster

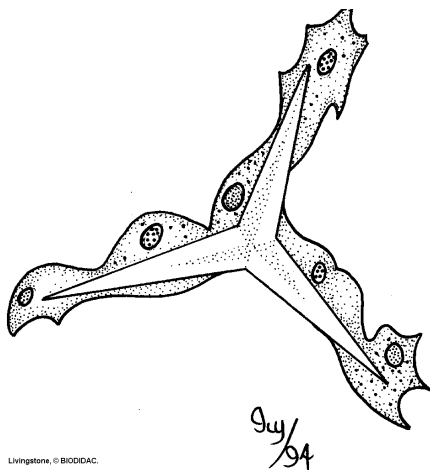
Photo : R.W.M. van Soest



Différents types de toxes
Photo F. HIEMSTRA

Il existe de nombreux autres types de microscères que nous ne détaillerons pas ici, faute de place.

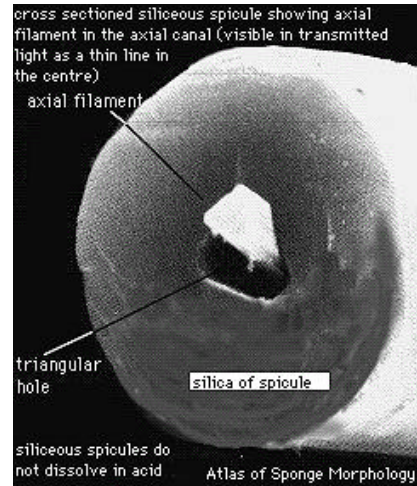
Les spicules sont générés au sein du mésenchyme par des cellules spécialisées, les *scléroblastes* (ou *sclérocytes*). Ces cellules se déplacent librement dans le mésenchyme, mais à une vitesse plus faible que les amibocytes normaux, en raison de l'encombrement des spicules et des entrecrocs que ceci induit.



Scléroblaste sécrétant un spicule triactine
© BIODIDAC

Les spicules siliceux sont construits autour d'un axe protéique, bien visible en microscopie électronique. Cet axe peut également être visible en microscopie optique si l'appareil est de bonne qualité (léger éclaircissement). Cette particularité n'existe pas dans les spicules calcaires, qui sont totalement pleins.

La spongine est également sécrétée par des cellules spécialisées, les *spongioblastes*.



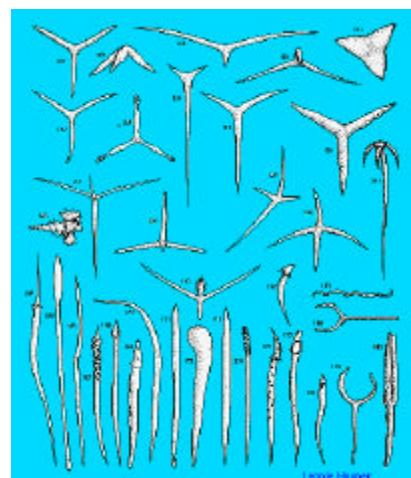
Photographie au microscope électronique montrant le filament axial, de nature protéique, d'un spicule siliceux.

III Systématique

La systématique des spongiaires est fondée jusqu'à présent sur la nature et la forme des spicules. Trois classes existent aujourd'hui :

a) Les éponges calcaires, ou *calcisponges*

Leur squelette est constitué de spicules calcaires. Les spicules sont de forme relativement peu variée, on y trouvera essentiellement des oxes et des triactines, mais il existe également des genres présentant une plus grande variété. Les microscères sont absents. Les calcisponges sont souvent considérés comme les spongiaires les plus primitifs, bien que ce fait soit souvent remis en cause par les spécialistes.



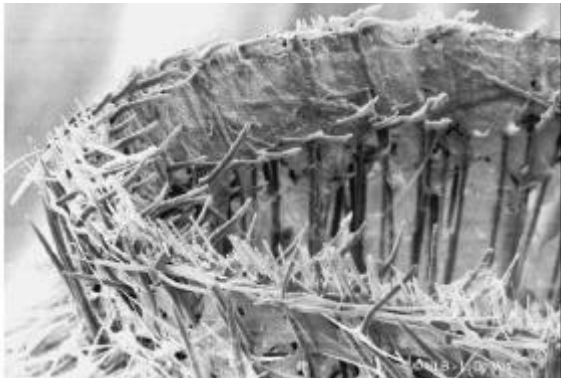
Quelques spicules typiques de calcisponges

La sous-classe des *Calcinea* comprend des éponges dont les spicules sont des tétractines réguliers, avec ou sans spicules monoactines et

diactines. Il comprend notamment, dans nos eaux, les genres *Clathrina* et *Leucetta*.

L'ordre des *Calcaronea* comprend des éponges dont les spicules tétractines ne sont pas réguliers. On y rencontrera notamment les genres *Leucosolenia*, *Sycon*, *Grantia*.

Outre la forme des spicules, ces deux sous-classes se différencient également par la nature de leur larve.



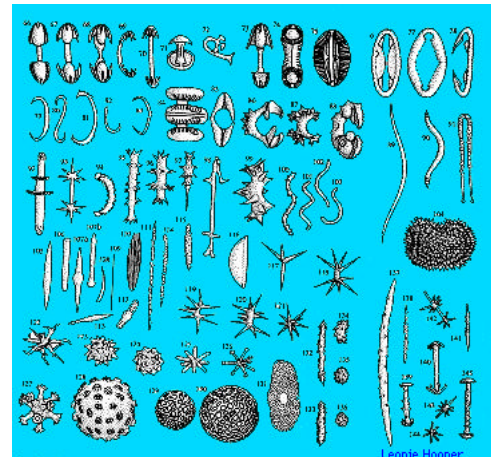
Détail de l'oscule de *Sycon* sp. montrant l'importance des spicules calcaires qui arment cette partie de corps de l'éponge.

b) Les démosponges

Les spicules de ces éponges sont constitués de silice hydratée (opale). Les démosponges peuvent posséder des spicules siliceux et/ou des fibres de spongine (l'éponge de toilette est un démosponge). Certaines espèces de démosponge ne possèdent pas de squelette, comme nous le verrons plus loin. La forme des spicules peut être extrêmement variée et les microscèles sont souvent présents.



Spicules siliceux de démosponges
Léonie HOOPER



Microscèles de démosponges
Léonie HOOPER

La sous-classe des *Homoscléromorphes* comprend des éponges dont le squelette comporte des spicules triaxones ou tétaxones et pas de microscèles. Certaines espèces de cette sous-classe n'ont pas de squelette (*Oscarella lobularis* par exemple).

La sous-classe des *Tétractinomorphes* comprend, comme son nom l'indique, des éponges dont le squelette comporte des spicules tétractines ou monoaxones. Les microscèles présents sont généralement des asters. Cette sous-classe comporte essentiellement cinq ordres :

- Les *Astrosporides*, dotés d'asters nombreux et d'un squelette incomplet constitué de spicules monoaxones irradiant du centre de l'éponge (*Pachymatisma johnstoni*, l'éponge « fesse d'éléphant » appartenant à la famille des Géodiidés, en est un représentant) ;
- Les *Spirosporides* comportent des microscèles spiralés (d'où le nom de cet ordre) et des mégascèles rayonnant (*Tetilla cranium*, parfois rencontré en plongée sur fonds vaseux en Méditerranée, est un exemple).
- Les *Hadromérides* comportent principalement des tylostyles, jamais de spongine. Les microscèles peuvent être présents (*Tethya aurantium*, l'orange de mer, est un exemple).
- Les *Axinellides* peuvent comporter deux types de squelette : monoaxones disposés longitudinalement, ou réseau de fibres de spongine souvent très dense. Les *axinelles* classiques, comme *Axinella polypoides* en font partie.
- Les *listhistides* comportent des spicules de

formes variées.

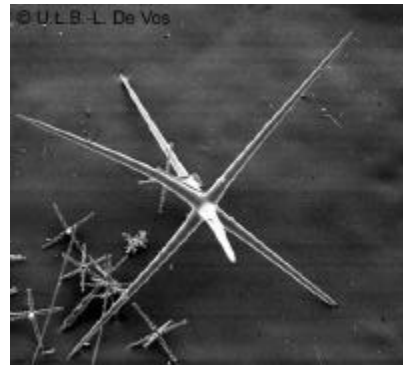
Enfin, la sous-classe des *Céractinomorphes* comprend des éponges dont les spicules sont généralement monoaxones (jamais tétraxones). Les microsclères sont généralement présents, de forme diversifiée, mais ne sont jamais des asters. Certains Céractinomorphes ont un squelette qui n'est constitué que de fibres de spongine (l'éponge de toilette, *Spongia officinalis*, fait partie de cette sous-classe). Cette sous-classe comprend cinq ordres majeurs :

- Les *Halichondrides* ne comportent pas de microsclères. Leurs mégasclères sont des styles, des oxes et des strongyles et ne présentent pas d'organisation particulière (répartition « au hasard »). *Halichondria panicea*, fréquemment rencontrée à marée basse en Bretagne, est un exemple.
- Les *Poécilosclérides* possèdent de nombreux microsclères, de formes très diversifiées. Les mégasclères (souvent des acanthostyles) sont fréquemment reliés entre eux par de la spongine. *Crambe crambe*, l'éponge encroûtante rouge classique appartient à cet ordre.
- Les *Haposcélérides* comportent un squelette fortement constitué de spongine. Les mégasclères sont généralement des oxes et des strongyles. *Petrosia ficiformis*, l'éponge pierre, est un bon exemple de cet ordre. Chez cette espèce, les spicules forment un réseau très dense qui donne sa consistance à l'éponge.
- Les *Dictyocératides* ne comportent pas de spicules siliceux, mais uniquement des fibres de spongine en réseau assez dense. Très souvent, ces éponges incorporent des corps étrangers (grains de sable, etc.). L'éponge de toilette appartient à cet ordre.
- Les *Dendrocératides* ne comportent pas non plus de spicules. Leur squelette est habituellement composé de spongine, mais parfois celle-ci est absente. Il n'y a pas d'inclusion de corps étrangers.

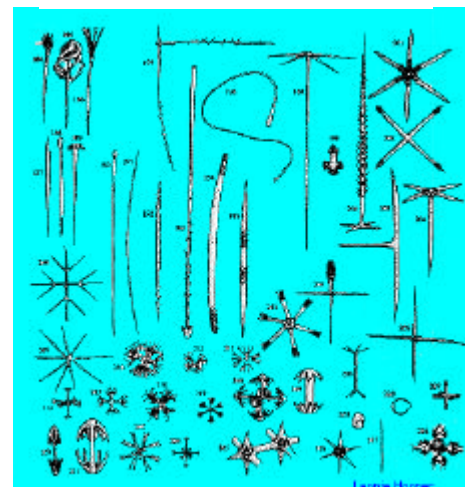
c) Les éponges de verre, ou hexactinellides

Ces éponges possèdent des spicules sili-

ceux, qui peuvent former une structure rigide en s'associant étroitement (cas de la « coupe de Vénus » appartenant au genre *Euplectella*). Les spicules caractéristiques de cette classe sont des triaxones hexactines (spicules à trois axes et six pointes), qui n'existent pas chez les démosponges. Ces spicules sont à l'origine du nom « hexactinellides » de cette classe. Les hexactinellides représentent probablement les spongiaires les plus évolués.



Triaxone hexactine de *Euplectella* sp.
© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles



Spicules siliceux des hexactinellides

Certains spongiaires présentent un squelette différent, sous forme de tubes accolés qui donnent à l'éponge une structure très résistante (on parle alors de *pseudocalice*). Les spongiaires de ce type sont des « fossiles vivants » que l'on retrouve dans des grottes isolées. Ces éponges sont les descendantes des éponges qui construisaient des récifs dans le passé. De nos jours, nous connaissons les récifs élaborés par les coraux. Il faut savoir qu'à l'échelle géologique les plus grands constructeurs de récifs ont été les éponges et que la situation actuelle est donc, en quelque sorte, une exception. De nombreux récifs fossiles, constitués par des éponges

(*sphinctozoaires*, *stromatophores*), sont ainsi connus de par le monde. Ces grands constructeurs de récifs ont disparu pour la plupart au Crétacé (les *stromatophores* ont disparu plus tôt, probablement au Carbonifère). Les éponges présentant cette organisation ont été classées, par le passé, dans la classe des *sclérosponges*, mais cette classification n'est plus retenue aujourd'hui.

Pour finir ce chapitre relatif à la systématique, il faut observer que la classification actuelle est essentiellement fondée sur des critères morphologiques ou anatomiques. L'apparition des techniques d'analyse de l'ADN ont permis de découvrir que des groupes aujourd'hui apparentés n'avaient en fait que très peu de points communs dans leur gènes (ce qui signifie qu'ils doivent être séparés) ou, à l'inverse, que des éponges aujourd'hui classées dans des groupes distincts étaient en fait très proches génétiquement.

Il y a donc fort à parier que la systématique des éponges va subir une véritable révolution dans les vingt prochaines années.

IV RESPIRATION / EXCRETION

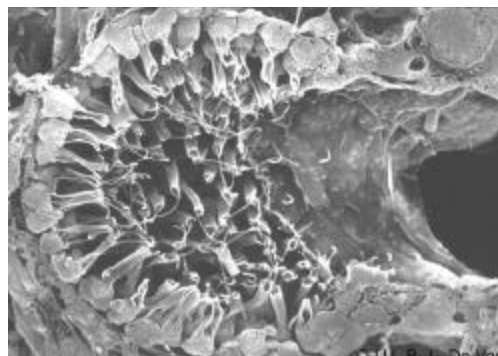
Les éponges n'étant constituées que de deux couches de cellules, l'approvisionnement des cellules en oxygène est assuré par simple diffusion à travers les parois cellulaires. Ceci reste valable pour les cellules qui circulent librement au sein du mésenchyme. Les éponges ne disposent d'aucun système respiratoire.

De même, les déchets issus du métabolisme de l'éponge (CO_2 , NH_4 , etc.) sont évacués par diffusion. Il n'existe pas de système excréteur.

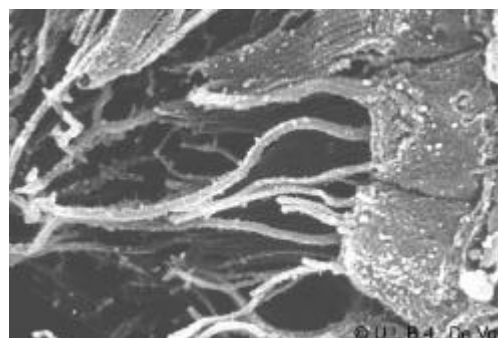
V NUTRITION

Les éponges sont des filtreurs actifs. L'eau pénètre dans l'éponge par des orifices de petite taille, appelés *pores* ou *ostioles*, et en ressort par des orifices de grande taille, appelés *oscules*. Les pores sont rarement visibles, sauf à regarder de très près, alors que les oscules sont généralement bien visibles. Parfois, les pores sont regroupés au sein de *cribles*, bien visibles (cas de l'éponge *Clio-na*, ou de *Hemimycale columella*). Les mouvements

d'eau sont assurés par les choanocytes dont nous avons parlé précédemment, grâce au mouvement synchronisé de leur flagelle. Les éponges sont capables, malgré leur rusticité, de réguler dans une certaine mesure les débits pompés, grâce notamment à la contraction de certains orifices. Cette contraction est due à certaines cellules aux propriétés contractiles (porocytes, mais aussi myocytes). Par ailleurs, les éponges sont également capable d'arrêter tout mouvement d'eau, par exemple à l'approche d'un intrus. Les mécanismes qui permettent à l'éponge de transmettre l'information demandant d'arrêter le battement à tous les choanocytes ne sont pas encore connus, les éponges étant dépourvues de système nerveux. Certains avancent l'hypothèse de signaux électriques, mais ceux-ci n'ont pas encore pu être mis en évidence de manière certaine. Quoiqu'il en soit, la vitesse de réaction de certaines éponges indique qu'il ne peut s'agir d'une simple transmission de médiateurs chimiques.



Chambre choanocytaire de *Dysidea pallescens*
© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles

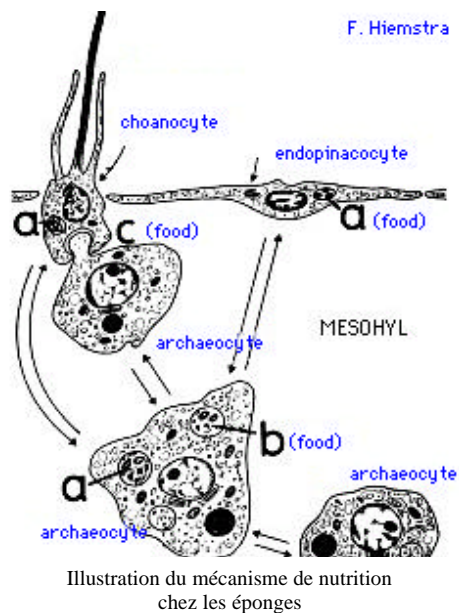


Choanocytes de *Corticium candelabrum*
© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles

Certaines éponges sont capables de filtrer jusqu'à 20 000 fois leur volume en une journée, ce qui peut finir par faire des volumes non négligeables.

Les particules nutritives, charriées par l'eau, sont piégées par les microvillosités

(collerette) des choanocytes ou par le mucus présent sur les endopinacocytes. Le choanocyte (ou le pinacocyte) phagocyte alors la particule, comme chez les protozoaires (la phagocytose s'effectue à la base de la collerette). La digestion n'est cependant pas réalisée dans le choanocyte, qui ne dispose pas des enzymes nécessaires. La particule est tout d'abord englobée dans une vacuole digestive. Un amibocyte vient se plaquer derrière le choanocyte puis la vacuole est transférée du choanocyte à l'amibocyte. La digestion est effectuée dans l'amibocyte. Ce dernier assure ensuite le transfert des matières exploitables issues de la digestion à l'ensemble de l'éponge.



En général, les particules nutritives piégées par les éponges sont des bactéries et leur efficacité peut être assez redoutable à ce niveau (on annonce dans la littérature des chiffres variant entre 70 et 90% de taux de capture des bactéries présentes dans l'eau filtrée. D'autres éponges (hexactinellides notamment) se nourrissent de particules organiques plus petites que les bactéries.

Mais les éponges ont su développer également d'autres modes de nutrition. En particulier, la symbiose est relativement fréquente chez les spongiaires, et l'hôte peut être diversifié (algue, cyanobactérie, bactérie). L'éponge peut ainsi profiter des métabolites qui lui sont fournis par son hôte (sucres, etc.). Chez certaines espèces, comme les *Verongia* couramment rencontrées en plongée, la majeure partie du mésenchyme est occupé par des microsymbiontes.



Oscillatoria spongeliae
(cyanobactérie symbiotique de *Dysidea tupa*)
© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles

Enfin, il n'est pas possible de quitter ce chapitre sur la nutrition des éponges sans évoquer le cas de *Asbestopluma hypogea*. Cette éponge des grands fonds a été découverte il y a quelques années dans une grotte de la région de la Ciotat (grotte des trois pépés, située entre 15 et 20 m de profondeur). Dépourvue de choanocytes, cette éponge intriguait les scientifiques qui se demandaient comment elle pouvait se nourrir. Dans un premier temps, chacun a naturellement pensé qu'elle se nourrissait des particules qui venaient à son contact, ou des matières organiques dissoutes. Finalement, les scientifiques ont découvert avec stupéfaction que cet animal était carnivore. Les petits crustacés qui passent à sa proximité sont capturés par les filaments comportant des milliers de crochets en forme de velcro que cette éponge possède sur le corps (ces crochets sont constitués par des spicules siliceux « classiques »).



Deux exemplaires de *Asbestopluma hypogea*

La proie s'épuise rapidement en essayant de se dégager. L'éponge commence alors un développement cellulaire rapide afin de recouvrir la proie et de la digérer. La proie est ainsi totale-

ment recouverte par l'éponge en moins de 24 heures.

D'autres éponges de la même famille (Cladorhizidés), rencontrées à grande profondeur, disposeraient du même mode de nutrition. A noter enfin que cette éponge pose de sérieuses difficultés aux systématiciens : les éponges sont en effet essentiellement caractérisées par la présence de choanocytes et d'un réseau aquifère. Ces deux éléments font défaut chez cette éponge, que l'on qualifie pourtant ainsi, notamment en raison de la présence de spicules (mais il existe bien entendu d'autres éléments tangibles).

VI REPRODUCTION

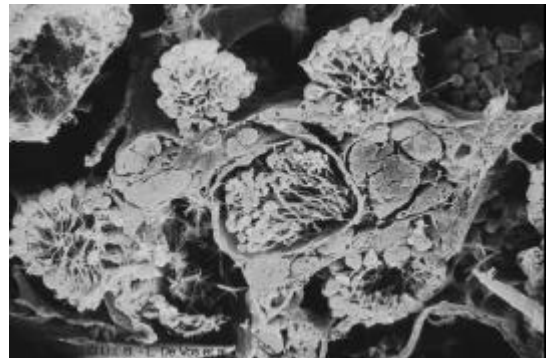
Les éponges peuvent se reproduire de façon sexuée ou asexuée. Comme chez beaucoup d'animaux qui disposent de ces deux possibilités, la stratégie de reproduction dépendra pour une large part des conditions environnantes. La reproduction asexuée permet le développement rapide d'individus similaires au parent (pas de croisement des gènes, donc risque d'inadaptation en cas de changement du milieu). Outre le développement rapide, la reproduction asexuée permet de créer des formes résistantes de l'éponge (les gemmules) qui peuvent passer la mauvaise saison « au chaud » et se développer de nouveau lorsque les conditions deviennent meilleures. A l'inverse, la reproduction sexuée permet un mélange de gènes. Elle permet également, si la durée du stade larvaire est suffisante, de coloniser des plus grandes surfaces que la reproduction asexuée.

1°) Reproduction sexuée

La plupart des spongiaires sont hermaphrodites. La fécondation croisée reste cependant la règle générale. Pour ce faire, l'hémaphrodisme peut être successif, l'éponge ne produisant pas en même temps les spermatozoïdes et les ovules, ou bien l'éponge peut mettre en œuvre des dispositifs de reconnaissance de ses propres gamètes. Les méthodes de reconnaissance cellulaires des éponges font l'objet de nombreuses études.

En règle générale, les spermatozoïdes sont issus de la modification de choanocytes. L'émission

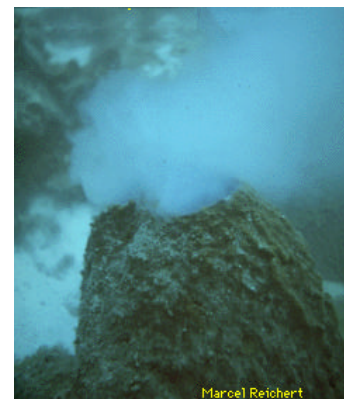
des spermatozoïdes peut être très largement perceptible chez certaines éponges tropicales.



Spermatogénèse chez *Callispongia vaginalis*

© Louis de VOS

Université libre de Bruxelles



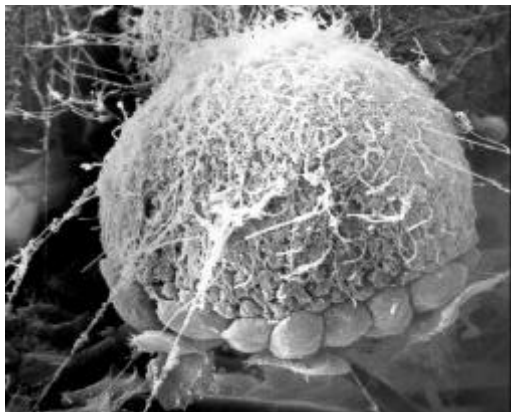
Emission des spermatozoïdes par une éponge tropicale

La reproduction sexuée des éponges reste relativement mal connue, car peu étudiée en pratique. Chez les calcisponges (et notamment chez *Sycon ciliatum*, qui a fait l'objet d'études plus poussées), un phénomène intéressant de fécondation indirecte a été mis en évidence : les spermatozoïdes, apportés par l'eau alimentaire, sont véhiculés jusqu'aux choanocytes. Ces derniers assurent la séparation physique du milieu extérieur avec le mésenchyme où se trouvent les gamètes femelles (ou *ovocytes*). Un spermatozoïde pénètre dans la collerette d'un choanocyte, s'enkyste et donne alors un *spermiokyste*. Le choanocyte « d'accueil » perd alors sa collerette et son flagelle et devient une cellule charriante qui se déplace pour se rapprocher d'un ovocyte. La cellule charriante, au contact de l'ovocyte, injecte littéralement le spermiokyste dans l'ovocyte pour conduire à la fécondation et à la création de l'œuf. L'œuf se développe, au sein de l'éponge ou dans l'eau de mer selon les espèces, et finit par donner une larve. Il existe deux types de larves : les larves *parenchymella*, les plus courantes, et les

amphiblastula. La durée de vie libre des larves varie de quelques heures à quelques jours. Au-delà de ce délai, les larves se fixent et l'éponge commence alors sa croissance. Chez les *amphiblastula*, la larve est polarisée, des cellules flagellées—locomotrices—se trouvant dans la partie antérieure tandis que la partie postérieure est constituée de grosses cellules, peu nombreuses. Chez les *parenchymella*, les cellules ciliées recouvrent la quasi totalité de la larve.

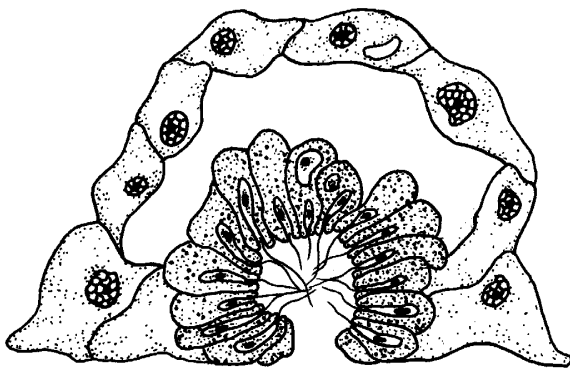
La larve de *Sycon ciliatum* est une *amphiblastula*. Elle se fixe au substrat par la partie antérieure (ciliée) puis s'aplatit très rapidement. Les cellules postérieures recouvrent alors les cellules ciliées, qui deviendront généralement des choanocytes (ce n'est pas une généralité).

Il existe des éponges incubantes (qui fourniront habituellement une larve nageante de type *parenchymella*) et des éponges ovipares.



Larve amphiblastula de l'éponge d'eau douce *Ephydatia fluviatilis*

© Louis de VOS
Université libre de Bruxelles



Livingstone © BIODIDAC

Amphiblastula après fixation au substrat. Les cellules postérieures recouvrent les cellules ciliées, qui donneront les premiers choanocytes.

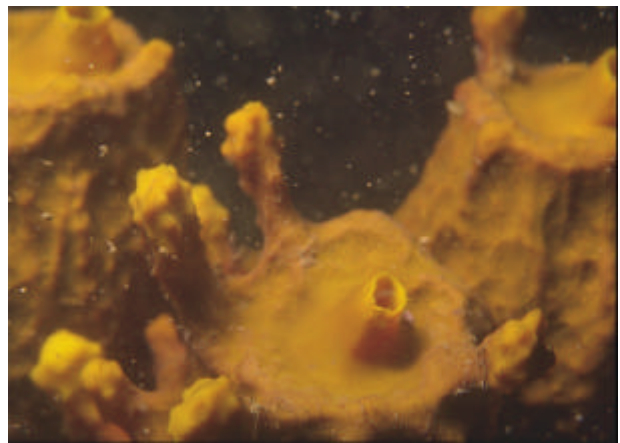
© BIODIDAC

2°) Reproduction asexuée

Les éponges ont développé différentes techniques de reproduction sexuée :

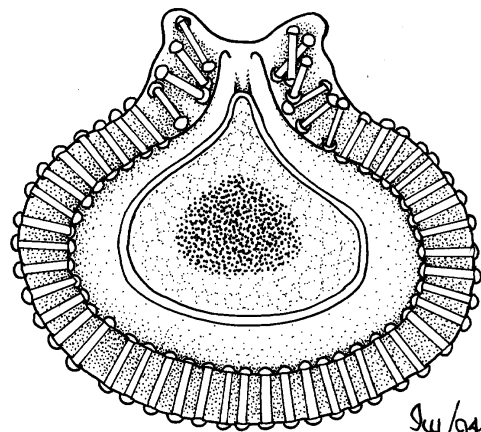
- Bourgeonnement ;
- Création de « corpuscules » asexués de reproduction ou *gemmules*.

La reproduction par bourgeonnement est fréquente chez les éponges rencontrées en plongée. A titre d'exemple, on pourra citer le cas de *Aplysina aerophoba*, chez qui on peut voir en certaines saisons des bourgeons en cours de formation à la périphérie de l'oscule.



Aplysina aerophoba et ses bourgeons

La gemmulation est davantage une technique propre aux éponges d'eau douce, chez qui ce mode de reproduction est prépondérant. Les gemmules sont des structures composées de cellules totipotentes (*archeocytes*) munies de réserves nutritives et de spicules. Les gemmules sont émis avant la mauvaise saison et se développent pour former une nouvelle éponge lorsque les beaux



Livingstone © BIODIDAC

Gemmule typique d'éponge d'eau douce

© BIODIDAC

jours sont revenus. La gemmulation se rencontre essentiellement chez les éponges d'eau douce.

VII ECOLOGIE

Comme cela a été dit en introduction, les éponges ont colonisé l'ensemble de la planète. On observe cependant que la répartition des éponges en profondeur n'est pas homogène selon les classes. Ainsi, les calcisponges sont plutôt cantonnées dans les eaux peu profondes tandis que, au contraire, les hexactinellides ne se rencontrent qu'en profondeur.

1°) Compétition

Les éponges sont des filtreurs actifs, qui peuvent donc survivre là où les filtreurs passifs (ceux qui doivent compter sur le courant pour obtenir leur nourriture, comme les gorgones) ont déjà disparu. On peut ainsi trouver des éponges très profondément dans les grottes. La rareté de la faune dans ces zones a permis la survie de véritables « fossiles vivants », protégés de prédateurs et des agressions humaines (comme *Petrobiona massiliana*).

Dans nos eaux, les éponges sont plus fréquentes sur les surplombs (où elles peuvent recouvrir une part importante du substrat, associées avec certains cnidaires). Il semble que, dans les zones exposées au soleil, la compétition avec les algues tourne à l'avantage de ces dernières. Dans les mers chaudes, les éponges ont une tendance photophile plus marquée (et les algues sont également moins nombreuses que dans nos eaux).

La lutte pour l'espace sous les surplombs est un phénomène que tous les plongeurs ont pu observer (il n'y a jamais le moindre centimètre carré de roche nue observable sous un surplomb). Les éponges ont développé des techniques de « guerre chimique » qui leurs permettent d'être particulièrement compétitives dans ce domaine. La plupart des éponges sont ainsi capables de sécréter des substances (terpènes notamment), capables d'empêcher la fixation et le développement de leurs voisins éventuels. Ces molécules, aux propriétés variées (antibiotiques, antifongi-

ques, etc.) font l'objet de la plus grande attention de la part des chercheurs pour pouvoir exploiter leurs propriétés dans des médicaments (nous en reparlerons au chapitre suivant). On ignore encore, pour une large part, si les substances en question sont directement sécrétées par les éponges, ou plutôt par des symbiontes (algues, cyanobactéries, bactéries). On sait cependant que ces molécules servent également à empêcher le développement d'espèces parasites à la surface ou à l'intérieur de l'éponge (algues et champignons notamment).

2°) Prédation

Ces mêmes substances chimiques servent également de moyen de défense efficace contre la prédation. On observe ainsi, très facilement, qu'un morceau d'éponge jeté dans un aquarium n'est pratiquement jamais ingéré par les poissons. Les malheureux qui se risquent rejettent très rapidement leur proie. La plupart des prédateurs potentiels (poissons, crustacés, etc.) évitent soigneusement de consommer des éponges.

Certains mollusques, essentiellement des opisthobranches, ont cependant réussi à contourner l'obstacle et se nourrissent abondamment, si ce n'est exclusivement, d'éponges. Le doris dalmatien *Peltodoris atomaculata* est probablement l'exemple le plus connu des plongeurs. Il se nourrit, en Méditerranée, en broutant la surface de l'éponge (colonisée par la cyanobactérie *Aphanocapsa feldmanni* qui lui donne sa couleur lie de vin caractéristique). Ce nudibranche, vivement coloré, récupère pour son propre compte les substances toxiques ou répulsives sécrétées par sa proie. Il devient ainsi non comestible, ses couleurs étant là pour le rappeler.

La même situation peut être rencontrée chez les petits nudibranches du genre *Hypselodoris* (les doris Gordini), qui se nourrissent exclusivement d'éponges cornées (*Ircinia*, *Cacospongia*, etc.). Ici encore, les composés chimiques de leurs proies sont exploités par ces nudibranches non comestibles et qui arborent des couleurs vives.

Enfin, il faut également mentionner la Tyrodine (*Tyrodina perversa*, dont j'ignore l'origine du nom latin...), qui se nourrit exclusivement de

l'éponge *Aplysina (Verongia) aerophoba*. Cet animal est difficile de détecter sur son éponge en raison de son excellent mimétisme. Un de ses cousins d'eau chaude, *Tylodina fungina*, qui se nourrit également d'éponges du genre *Verongia*, a fait l'objet d'études poussées qui ont montré que ce mollusque conservait les composés bromés, toxiques, émis par l'éponge. Il est très probable que cette adaptation soit reproduite chez la tylodine de nos eaux.

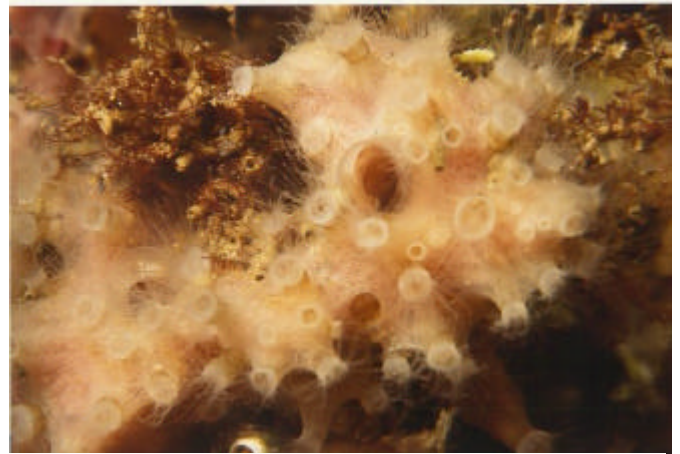
Les spicules sont également un bon moyen de lutter contre la prédation, l'aspect « fromage mou farci d'arêtes » de certaines éponges devant suffire à repousser le prédateur le plus affamé.

3°) Association

Mais les éponges savent également participer à des associations animales. Quelques exemples sont relativement fréquents dans nos eaux :

- le bivalve *Arca noë* (arche de Noé) est presque systématiquement recouvert par l'éponge *Crambe crambe*, ce qui le dissimule aux yeux de ses prédateurs éventuels (et à ceux du plongeur...) ;
- L'éponge *Axinella verrucosa* sert fréquemment de support au cnidaire *Parazoanthus axinellæ* (qui tire d'ailleurs son nom latin de cette association)
- L'éponge *Ficulina ficus*, ou figue de mer, est également retrouvée sur la coquille de certains bernards l'ermite (aux États-Unis, une espèce d'éponge—*Spongosorites suberitoides*—remplace la coquille dans laquelle s'abrite le bernard l'ermite, ce dernier « taillant » régulièrement son abri pour pouvoir se déplacer correctement). En Méditerranée, *Suberites domuncula* tire son nom latin du fait qu'elle sert fréquemment d'abri à des bernards l'ermite.
- Le scyphozoaire *Nausithoe punctata* élit domicile dans certaines éponges, comme des *Dysidea*. Ses tentacules dépassent de

l'éponge et peuvent laisser croire que l'on a affaire à un cnidaire du type Alcyon. L'éponge colonisée pourrait, en retour, bénéficier de la thèque du scyphozoaire comme support interne, en substitution à ses fibres de spongie.



Nausithoe punctata dans une éponge

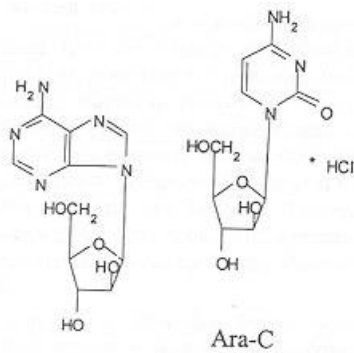
VIII UTILISATION DES EPONGES

Les éponges sont bien connues du grand public pour leur utilisation domestique, bien que les véritables éponges naturelles soient aujourd'hui devenues rares (les éponges classiques trouvées dans le commerce sont fabriquées à partir de tissus végétaux). En méditerranée, les espèces couramment exploitées sont *Euspongia officinalis*, la véritable éponge de toilette, et *Hippospongia communis*, ou éponge de cheval (ainsi nommée car, de consistance plus rigide que l'éponge de toilette, elle était surtout utilisée pour les animaux). Les autres éponges cornées sont inexploitable en raison de leur consistance.

Aujourd'hui, les éponges font l'objet de recherches intenses en raison des nombreuses molécules originales qu'elles contiennent. Leurs propriétés cytotoxiques en font d'excellentes sources potentielles de produits anti-cancéreux.

La première découverte d'une substance active dans les éponges remonte aux années 1950, avec l'isolation de la spongouridine et de la spongothymidine d'une éponge des Caraïbes (*Cryptotheca crypta*). Ces deux molécules possèdent des propriétés antivirales. L'examen de leur structure active a conduit, une dizaine d'années plus tard, à la synthèse de l'ARA-C

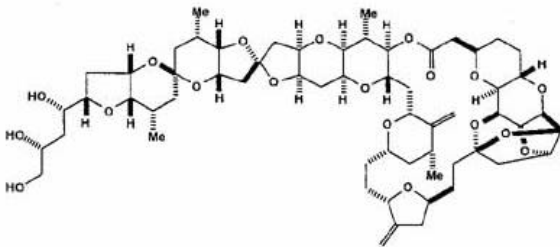
(anticancéreux) et de l'ARA-A (antiviral).



Ara-A

Ara-C

La véritable chasse aux molécules marines a débuté dans les années 70, les grands laboratoires pharmaceutiques n'hésitant pas à payer à l'année des plongeurs chargés de parcourir le monde en récoltant des éponges (la vie est dure, n'est-ce-pas ?). D'autres molécules sont ainsi apparues. L'halichondrine B a été extraite en 1985 de l'éponge *Halichondria okadai* (puis retrouvée chez plusieurs autres éponges, notamment chez une espèce du genre *Lyssodendoryx* qui est aujourd'hui cultivée à cette fin en Nouvelle-Zélande). Cette substance possède des propriétés anticancéreuses et fait l'objet de développements pré cliniques au *National Cancer Institute*.

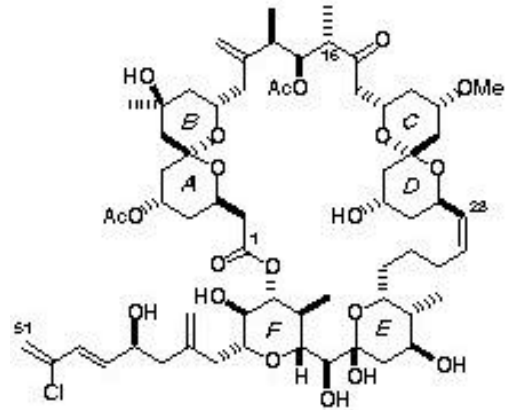


Halichondrine B

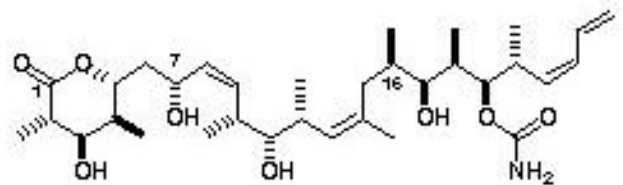
Deux molécules font aujourd'hui l'objet de grands espoirs dans le domaine (comme l'halichondrine B). L'une d'elles, le discodermolide, a été trouvée dans une éponge profonde des Caraïbes, *Discodermia dissoluta*. Ses propriétés sont relativement proches de celles de l'halichondrine B (elle empêche le développement cellulaire en agissant sur les microtubules lors de la mitose). L'autre est la spongistatine, isolée de l'éponge *Hyrtios altum* (cette molécule est également appelée, pour cette raison, Althyrtine).

Par ailleurs, des chercheurs ont récem-

ment isolé d'une éponge appartenant au genre *Plakinistrella* vivant dans les eaux superficielles des Seychelles une substance aux propriétés antifongiques redoutables, efficace contre *Candida albicans* et *Aspergillus fumigatus*, deux agents pathogènes classiques. Ce produit pourrait être utilisé dans le traitement des malades du SIDA.



Spongistatine



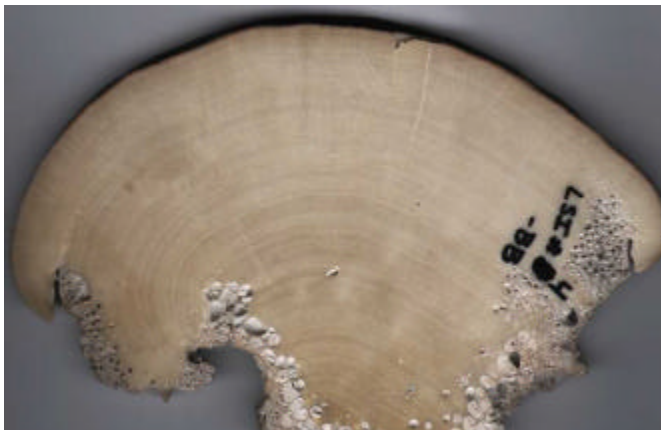
Discodermolide

L'exploitation de ces produits n'est pas sans poser des difficultés. Ainsi, à titre d'illustration, une tonne de *Lyssodendoryx* contient environ 320 mg d'halichondrine B (il avait fallu 600 kg de l'éponge *Halichondria okadai* pour extraire 12,5 mg de cette substance lors de sa découverte !). Quatre solutions sont donc envisageables :

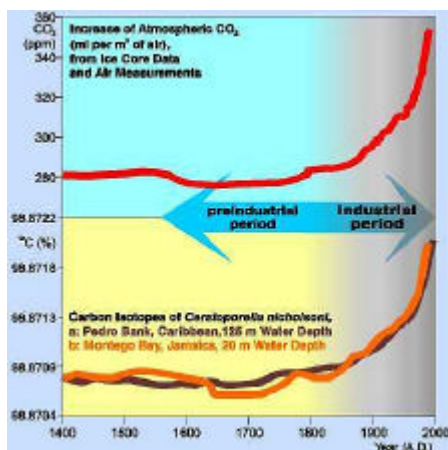
- Abandonner toute idée d'utiliser cette molécule (difficilement acceptable si la molécule présente des propriétés réellement intéressantes) ;
- Synthétiser la molécule dans son intégralité (ce qui peut s'avérer une tâche particulièrement complexe, si l'on en juge par l'abondante littérature actuelle sur la synthèse complète de la spongistatine) ;
- Synthétiser uniquement les parties actives de ces molécules ;
- Recourir à l'aquaculture pour exploiter des quantités importantes d'éponges sans nuire à l'écosystème (ou du moins en minimisant les nuisances, car l'aquaculture n'est jamais sans impact).

Les deux dernières solutions sont les plus employées, même s'il faut bien admettre que la synthèse des sites actifs est probablement la solution d'avenir.

Enfin, la montée en puissance des préoccupations liées à l'effet de serre a permis de découvrir une nouvelle application pour certaines éponges. Les sclérosponges, dont nous avons parlé précédemment, poussent très lentement (de l'ordre de 0,5 mm/an). Leur squelette, calcaire, peut donc conserver la trace des conditions environnementales du moment. Des chercheurs ont ainsi analysé un sclérosponge des Caraïbes, *Ceratoporella nicholsoni*, vieux d'environ 500 ans (et toujours vivant), et ont vérifié qu'il y avait une très bonne corrélation entre la teneur en CO₂ dans l'atmosphère et la composition isotopique du carbone présent dans l'éponge. Compte tenu de leur taille, certaines de ces éponges pourraient avoir plusieurs milliers d'années et pourraient donc servir de « mémoire vivante » très utile. A noter par ailleurs que ces éponges présentent des stries d'accroissement relativement comparables à celles des arbres, qui permettent de dater assez précisément l'âge des différentes couches du squelette.



Coupe de *Ceratoporella nicholsoni*



Ce type de recherche a pu être reproduit sur une autre éponge, *Acanthochaetes wellsii*. Les études sur ce sclérosponge ont permis de reconstituer les différents épisodes de El niño sur plusieurs siècles.

Il est probable que l'avenir ouvrira encore de nouvelles perspectives pour l'utilisation des éponges par l'homme.

IX PROTECTION DES ESPECES

En France, aucune espèce d'éponge n'est protégée directement par la réglementation en application des articles L. 211-1 et L. 211-2 du Code rural., qui est l'outil réglementaire classique pour protéger une espèce animale ou végétale.

La France a cependant ratifié, comme l'Union européenne, la convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe, dite convention de Berne. Les derniers amendements aux annexes de cette convention ont été publiés au Journal officiel le 18 juillet 1999 (décrets n° 99-615 et 99-616 du 7 juillet 1999). L'annexe II, relative aux espèces de faune strictement protégées, comporte quatre espèces d'éponges :

- *Aplysina cavernicola* ;
- *Asbsetopluma hypogea* ;
- *Axinella polyptoides* ;
- *Petrobiona massiliana*.

Ces quatre espèces sont présentes dans les eaux françaises et ne peuvent donc plus être récoltées, ni tuées, ni perturbées en période de reproduction. On pourrait faire observer que l'application stricte de ce décret pourrait conduire à interdire la plongée dans la plupart des grottes de la Méditerranée française, où *Aplysina cavernicola* est un hôte relativement fréquent.

Par ailleurs, l'annexe III de cette convention, relative aux espèces de faune protégées, liste également quatre éponges, qui sont en fait les éponges cornées exploitées en Méditerranée :

- *Hippospongia communis* ;
- *Spongia agaricina* ;
- *Spongia officinalis* ;
- *Spongia zimocca*.

Pour ces espèces, la convention autorise les interdictions temporaires ou locales d'exploitation, l'institution de périodes de fermeture (ou toute autre mesure d'exploitation) ainsi que, éventuellement, la réglementation de la vente, de la détention, du transport ou de l'offre aux fins de vente de ces animaux (ces pratiques sont bien évidemment interdites pour toutes les espèces figurant à l'annexe II de la convention).

X BIBLIOGRAPHIE

Beaumont A., Cassier P., 1983. _ **Biologie animale : des protozoaires aux métazoaires épithélioneuriens (Tome 1)**. Dunod université.

Berquist Patricia, 1978. _ **Sponge chemistry : a review**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Castiello D., Cimino G., De Rosa S., De Stefano S., Izzo G., Sodano G., 1978. _ **Studies on the chemistry of the relationship between the opisthobranch *Peltodoris atromaculata* and the sponge *Petrosia ficiformis***. In *Biologie des spongiaires*. Colloques internationaux du CNRS n°291, 413-416.

Castro P., 1978. _ **Studies on the symbiosis between a filamentous microorganism and *Hymenaphiastra cyanocrypta*, an sponge from California**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Cragg Gordon, Boyd Michael, Khanna Rita, Knelser Robert, Mays Thomas, Mazan Kate, Newman David, Sausville Edward, 1999.—**International cooperation in drug discovery and development : the NCI experience**. *Pure Appl. Chem.* Vol. 71, n°9, 1619-1633.

Curtis A.S.G., 1978. _ **Recognition by sponge cells**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

De Sutter D., 1978. _ **Cell recognition of isolated sponge cell fractions**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

De Vos L., Rützler K., Boury-Esnault N., Donadey C., Vacelet J., 1991. _ **Atlas de morphologie des éponges**. Smithsonian Press, Washington.

Fish J. & Fish S., 1996. _ **A student's guide to the seashore**. Cambridge University Press.

Gilli Alain & Maillard Patrick, 2000. _ **Plongée dans le monde des spongiaires**. FFESSM—Commission nationale de biologie subaquatique.

Grande encyclopédie Alpha des sciences et techniques. Zoologie Tome 1.1974.

Grassé P.P. & Doumenc D., 1993. _ **Abrégé de zoologie. Tome 1 : invertébrés**. Masson.

Harris L.G., 1971. _ **Nudibranch Association as Symbioses**. In *Aspect of the Biology of Symbiosis*, T. Cheng ed., University Park Press, Baltimore, USA and Butterworths, London, GB, 77-90.

Hayward P.J. & Ryland J.S., 1995. **Handbook of the marine fauna of North-West Europe**. Oxford University Press.

Hooper John, 2000._ « **Spongguide** », **Guide to sponge collection and identification**. Queensland Museum.

Höller Ulrich, 1999. _ **Isolation, biological activity and secondary metabolite investigations of marine-derived fungi and selected host sponges**. Thèse de doctorat.

Judd Jim, 1998. _ **The sequestering of secondary compounds from sponges by nudibranchs**. Colorado State University.

Kalesse Markus, 2000. _ **The chemistry and biology of discodermolide**. *Chembiochem* 2000,1,171-175.

Kary Pierre, Robert Stanley, Watson Daniel, 1999. _ **Studies toward the total synthesis of althohyrtin A : a convergent approach to the C38-51 carbon framework**. *Tetrahedron* : Assymety 10, 213-216.

Lindberg Ali, 1998. _ **The role of allelopathic chemicals in the spatial patterning of benthic communities**. Biology Departement. Colorado State University.

Kilian Ernst & Wintermann-Kilian Gertrud, 1978. _ **Mouvement cellulaire et contraction chez *Spongilla lacustris* et *Ephydatia fluviatilis***. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Mackie G.O., 1978. _ **Is there a conduction system in sponges ?** In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n° 291.

Mank Annelie & Kilian Ernst, 1978. _ **The ingestion and digestion of food of the fresh-water sponge *Spongilla lacustris***. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Mann J., 1992. _ **Sponges to wipe away pain**. *Nature* 358, August, 13.

Mayer Alejandro, 1999. _ **Marine pharmacology in 1998 : Antitumor and Cytotoxic Compounds**. *The Pharmacologist*, vol. 41, number 4, 159-164.

Mayer Alejandro & Lehmann Virginia, 2000. _ **Marine pharmacology in 1998 : Marine compounds with Antibacterial, Anticoagulant, Antifungal, Antiinflammatory, Anthelmintic, Antiplatelet, Antiprotozoal and Antiviral Activities : with actions on the Cardiovascular, Endocrin, Immune, and Nervous Systems; and Other Miscellaneous Mechanisms of Action**. *The Pharmacologist*, vol. 42, number 2, 62-69.

Munro Murray, Blunt John, Dumdei Eric, Hickford Sarah, Lill Rachel, Li Shangxiao, Battershill Christopher, Duckworth Alan, 1999. _ **The discovery and development of marine compounds with pharmaceutical potential**. *Journal of Biotechnology* 70, 15-25.

Sarà M. & Liaci L., 1964. _ **Associazione fra la *Ciaonoficea Aphanocapsa feldmanni* e alcune Demospongie marine**. *Boll. Zool.* 31, 55-65.

Swart Peter, Rubenstone James, Charles Chris, Reitner Joachim, 1998. _ **Sclerosponges : a new proxy indicator of climate**. Report from the Workshop on the Use of Sclerosponges as Proxy Indicators of Climate, March 22-24, Miami, Florida. NOAA.

Turquier Yves, 1989. _ **L'organisme dans son mi-**

lieu Tome 1 : Les fonctions de nutrition. Doin éditeurs.

Vacelet J. & Boury-Esnault N., 1995. _ **Carnivorous sponges**. *Nature* 373, 333-335.

Vacelet Jean, 1978. _ **La place des spongiaires dans les systèmes trophiques marins**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n° 291.

Van de Vyver Gysèle, 1978. _ **Cellular mechanisms of recognition and rejection among sponges**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Van de Vyver Gysèle, 1978. _ **Structure of a non-merging front between two fresh-water sponges *Ephydatia fluviatilis* belonging to different strains**. In *Biologie des spongiaires*. Actes de colloques du CNRS n°291.

Van Soest R.W.M., Picton B., Morrow C., 2000. _ **Sponges of the North East Atlantic**. ETIT—Springer Verlag (CD ROM).

Vogel Günther & Angermann Hartmunt, 1994. _ **Atlas de la biologie**. *La Pochothèque*. Le Livre de poche.

Weinberg Steven, 1992. _ **Découvrir la Méditerranée**. Nathan.

Weinberg Steven, 1994. _ **Découvrir l'Atlantique, la Manche et la Mer du Nord**. Nathan.

1995. _ **Découverte d'éponges originales dans une grotte sous-marine**. Communiqué de presse du CNRS.

XI QUELQUES SITES WEB D'INTERET SUR LES EPONGES

http://www.colostate.edu/Depts/Entomology/courses/en570/papers_1998/judd.html (Document sur l'utilisation de substances chimiques par les nudibranches)

<http://www.faseb.org/aspnet/MarPcollG.htm> (Marine Pharmacology Interest

Group—on trouvera sur ce site les deux extraits de *The Pharmacologist* cités en bibliographie)

Aquarium Frontiers On-Line Without A Backbone (<http://www.animalnetwork.com/fish2/aqfm/1998/jan/wb/default.asp>)

Petit portail listant un certain nombre de sites (limité) traitant des éponges :

Bomis The Sponge Ring (<http://www.bomis.com/rings/porifera/>)

Site très riche sur les animaux de la Colombie britannique :

British Columbia Creature Page (<http://clever.net/kerry/creature/creat.htm>)

Le site « spongiaires » d'ETI (Expert center for taxonomic identification):

ETI-Porifera partner network (<http://www.eti.uva.nl/Home/network/porifera.html>)

Registre européen des espèces marines (la bible, mais pas très utilisable seule !):

European Register of Marine Species (<http://erms.biol.soton.ac.uk/>)

Liste des espèces d'éponges espagnoles :

Fauna Iberica-Iberian Fauna Phylum Porifera (Metazoa) (<http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/htmlfauna/faunibe/zoolist/porifera/porifera.html>)

Un site sur les éponges et les bernards l'ermite :

Hermit Crab Sponges (<http://www.public.coe.edu/departments/Biology/hermit.html>)

Excellent site d'introduction au monde des spongiaires :

Introduction to Porifera (<http://www.ucmp.berkeley.edu/porifera/porifera.html>)

Le portail de base, tenu par B. Picton :

Porifera Biology on the WWW (<http://www.mailbase.ac.uk/lists/porifera/files/>)

Site intéressant sur les spongiaires du Brésil, comportant un certain nombre de références bibliographiques :

Porifera Brasil (<http://www.geocities.com/labpor/>)

Site intéressant, comportant des illustrations des principaux groupes marins :

Search Marine Species Index (<http://database.mbl.edu/SPECIMENS/phylum.taf?function=form&page=2>)

Article intéressant sur les perspectives en matière de culture des éponges en Méditerranée :

Sponge farming in the Mediterranean sea (<http://www.kalymnos-isl.gr/newstuff/sp-study/meleth-01.htm>)

Site (bien fait) du muséum d'histoire naturelle du Havre :

Spongiaires (<http://www.univ-lehavre.fr/cybernat/pages/spongiai.htm>)

Si vous souhaitez acheter des éponges de toilette :

Welcome to eBubbles (<http://www.ebubbles.com/ebubbles.storefront/EN/Catalog/1494?src=goto>)

Illustrations :

Excellent site comportant des photographies prises au MEB :

BIODIC - Scanning electron microscope image catalog (<http://www.ulb.ac.be/sciences/biodic/index.html>)

Partie de ce site consacrée aux éponges :

Atlas des éponges (<http://www.ulb.ac.be/sciences/biodic/ImAnatepon.html>)

Site canadien comportant de nombreuses illustrations relatives à la biologie :

Biodidac (<http://biodidac.bio.uottawa.ca/>)