

SUBAQUA HORS-SÉRIE #1 - 6<sup>e</sup> Edition revue & augmentée

# SUBAQUA

HORS-SÉRIE #1 6<sup>e</sup> Edition

À LA  
DÉCOUVERTE  
DE LA **VIE**  
SOUS-MARINE

Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins  
Commission environnement et biologie subaquatiques





## A LA DECOUVERTE DE LA VIE SOUS-MARINE

AVEC LA COMMISSION ENVIRONNEMENT ET BIOLOGIE SUBAQUATIQUES

HORS-SERIE #1 - 6<sup>E</sup> EDITION

# SUBAQUA

HORS-SERIE DE LA REVUE DE LA FEDERATION FRANÇAISE D'ETUDES ET DE SPORTS SOUS-MARINS



# SOMMAIRE

**Avant-propos**..... 4  
*J. Dumas*

**1> Le milieu physique**..... 6  
*P. Petit de Voize*

**2> Le milieu vivant**..... 18

▲ La genèse de la vie sur Terre..... 20  
*P. Petit de Voize*

▲ L'arbre de filiation..... 23  
*A. Lafourcade - C. Delcausse*

▲ Biocénose, biotopes..... 27  
*P. Maillard*

▲ Les associations..... 31  
*P. Petit de Voize*

▲ La chaîne trophique..... 36  
*A. Lafourcade - J. Bonnefis*

**3> La vie végétale sous-marine**..... 38  
*A.-P. Maniette - L. Gauthier*

▲ Les algues..... 41

▲ Les spermatophytes..... 43

**4> La vie animale**..... 44

▲ Embryologie des Métazoaires..... 46  
*A. Lafourcade - C. Delcausse - F. Guimard*

▲ Les spongiaires..... 48  
*P. Maillard*

▲ Les cnidaires..... 52  
*P. Petit de Voize*

▲ Les cténaires..... 67  
*P. Petit de Voize*

▲ Les animaux vermiformes..... 68  
*P. Scaps*

▲ Les bryozoaires ou ectoproctes..... 76  
*C. Bertrand*

▲ Les échinodermes..... 80  
*P. Maillard - C. Alégoët*

▲ Les mollusques..... 89  
*P. Le Granché*

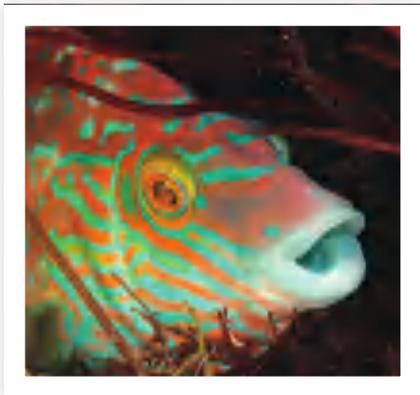
▲ Les arthropodes (classe des crustacés)..... 95  
*C. Bergmann*

▲ Les urocordés..... 102  
*P. Petit de Voize*

▲ Les vertébrés..... 110

▸ Les poissons..... 111  
*P. Petit de Voize*

▸ Les mammifères marins..... 120  
*V. Maran*





5> L'échantillonnage en plongée..... 124  
*J. Dumas - P. Bigot - P. Zani*

6> Techniques  
 simples de laboratoire..... 128  
*Y. Muller - P. Maillard - P. Petit de Voize*

7> L'environnement..... 136  
*F. Guimard*

8> Les formations fédérales  
 en biologie subaquatique..... 142  
*J. Dumas - L. Gauthier*

9> DORIS..... 160  
*V. Maran - A.-P. Stittler*

10 > CROMIS..... 162  
*P. Giraudeau*

11 > Les signes Bio..... 164

*Crédits photos page 168*



# AVANT-PROPOS

Vous avez en main la sixième édition du Hors-série Subaqua « À la Découverte de la vie sous-marine », preuve irréfutable de l'intérêt porté par les plongeurs à l'environnement et à la biologie sous-marine.

La nouvelle classification phylogénétique du vivant publiée en 2006 par Guillaume Lecointre et Hervé Le Guyader a entraîné d'importantes modifications des taxons : même si la biologie n'a donc pas fondamentalement été modifiée et si fort heureusement limaces et poissons et leur mode de vie restent inchangés, il n'en était pas moins devenu nécessaire de présenter ce nouvel arbre de filiation et de revoir le chapitre consacré à l'embryogenèse. Enfin, l'ouvrage initialement publié en 2003, a été entièrement revu dans le contexte de l'évolution de la perception que nous avons de l'environnement.

En effet, la plongée a évolué au fil des années avec la prise de conscience des risques de l'érosion de la biodiversité et de l'influence des activités humaines sur l'environnement. Un nouveau plongeur, responsable, soucieux de son impact sur le milieu, a progressivement émergé, et a fort heureusement remplacé le plongeur des débuts historiques, trop souvent prédateur sans vergogne. Ainsi, nous avons inséré deux nouveaux chapitres concernant l'environnement et les aires marines protégées.

En parallèle, la FFESSM s'est résolument tournée vers le développement durable. Des conventions de partenariats avec le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, l'Agence des Aires Marines Protégées, et Longitude 181 Nature ont été établies. Tout naturellement la Commission environnement et biologie subaquatiques s'est fortement impliquée dans la pédagogie et la formation des plongeurs depuis de nombreuses années. La Commission technique, pour sa part, a totalement pris en compte la dimension environnementale en intégrant dans tous les cursus techniques, du plongeur niveau 1 au MF1, un module de connaissance et respect du milieu marin. Il s'agit d'une véritable mise en adéquation avec la Charte internationale du plongeur responsable de Longitude 181 Nature, à l'élaboration de laquelle la Commission nationale environnement et biologie subaquatiques a contribué, et à laquelle la FFESSM a adhéré dès le premier jour.

Cet ouvrage vient donc appuyer les formations de terrain destinées à « éduquer » le regard et faciliter la compréhension du milieu vivant dans lequel les plongeurs évoluent. Au départ réservé aux formateurs de biologie afin de structurer la base de leurs connaissances, ce hors-série est vite devenu un référentiel destiné à tous les plongeurs curieux. Cet ouvrage est le fruit d'un travail collectif du collège des Instructeurs nationaux de biologie dans la continuité de cet esprit de découverte qui nous est cher. Textes, dessins, photographies, émanent tous de plongeurs appelés communément « plongeurs bios ».

Une place a été réservée aux deux plus belles réalisations de notre commission. Ainsi, DORIS, connu et reconnu par le monde scientifique, dont l'équipe d'animation peut être fière, a obtenu une palme d'or au Festival de l'image sous-marine d'Antibes en 2007 dans la catégorie « site pédagogique ». DORIS permet à chaque plongeur de mieux connaître les espèces communes et parfois rares rencontrées sur les côtes françaises, et se voit complété par des ouvrages de référence remarquables, « la vie en eau douce », « Les Bryozoaires d'Europe » et, tout dernièrement « Spongiaires de France ». Le deuxième outil internet, prévu pour 2020, CROMIS, permet de faire le lien entre les descriptions apportées par DORIS et l'inventaire des espèces rencontrées lors des explorations. Chacun peut ainsi garder une mémoire de ses observations de plongées et contribuer à l'enrichissement des connaissances, voire maintenant préparer ses futures explorations. Les données sont partagées avec le Muséum national d'Histoire naturelle afin de contribuer à l'Inventaire National du Patrimoine Naturel. Le réseau de plongeurs constitue donc un maillage précieux d'observateurs des fonds marins et dulcicoles, permettant notamment des relevés d'observations sur toutes les côtes tout au long de l'année. « Le commencement de toutes les sciences, c'est l'étonnement de ce que les choses sont ce qu'elles sont », comme disait Aristote. Alors, qui s'étonne de la vie marine, diplômé de sciences ou pas, peut donc prétendre à contribuer aux sciences citoyennes ou participatives.

C'est ainsi grâce à nos trois réalisations majeures de la Commission nationale environnement et biologie subaquatiques que chaque plongeur pourra, nous l'espérons, continuer à enrichir ses connaissances sous-marines, afin de mieux comprendre ce monde aquatique fascinant. Les formateurs en biologie, présents sur tout le territoire se feront un plaisir de partager avec vous leur passion et leur savoir, en vous aidant tout simplement à « voir » et ainsi à aimer davantage encore la plongée d'exploration. Nos formations sont accessibles dès les Plongeur Autonome PA12, l'apnéiste en eau libre et même avec un cursus spécifique dédié aux jeunes de 12 à 16 ans. Des milliers de journées de formation, des centaines de stages sont organisés chaque année par nos formateurs, n'hésitez pas à aller vers eux, vous verrez que la biologie est parfaitement accessible et que le temps des discours en latin est révolu.

Toute cette connaissance ne servirait à rien sans la prise de conscience que ce fabuleux patrimoine marin est fragile, menacé et... périssable. C'est cette infinie beauté faite de biodiversité que nous souhaitons tous préserver pour les générations futures, et je forme le vœu que tous les plongeurs puissent vivre les émotions des rencontres privilégiées et s'étonner longtemps des incroyables formes prises par la vie aquatique.

Longue vie aux océans ! Vive la biodiversité ! Vive la plongée d'exploration !

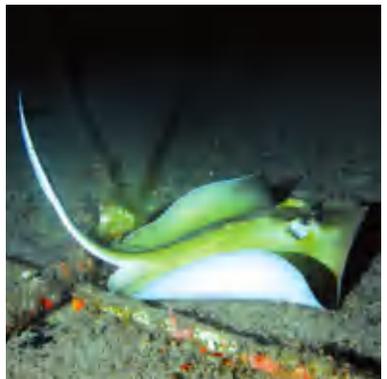
Jacques Dumas,  
Président de la Commission nationale  
environnement et biologie subaquatiques



*Un lièvre de mer Aplysia punctata. Bretagne.*



*Le regard acéré du biologiste.*



*Raie pastenague américaine Dasyatis americana.*

1

# Milieu physiq

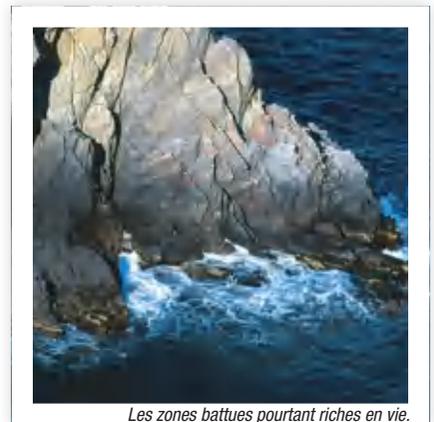


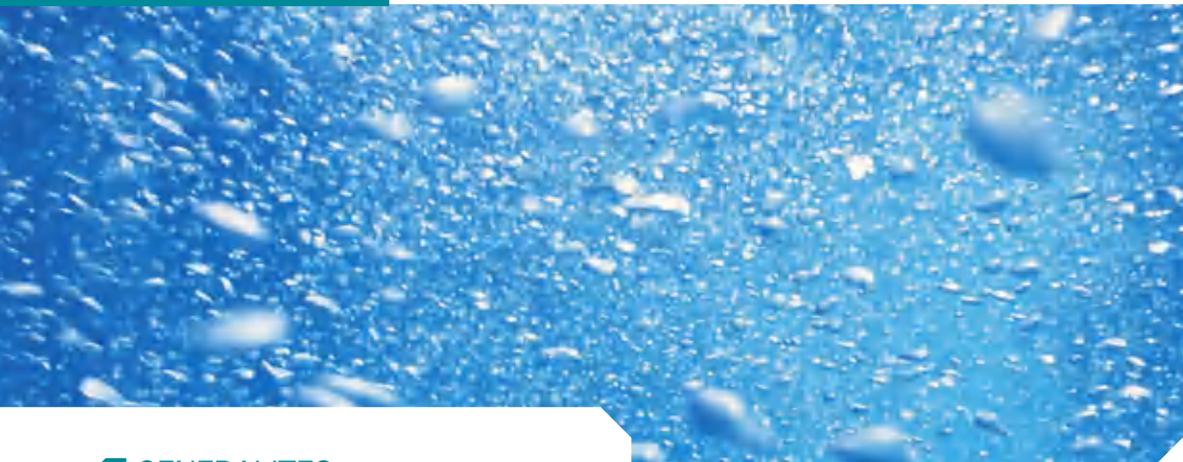
*Après un coup de vent, l'écume de mer. Noirmoutier.*

# ue

<b>Généralités</b>	
<b>Subdivisions du milieu marin</b> .....	8
<b>Eau de mer</b> .....	10
> Densité.....	10
> Salinité.....	10
> Composition.....	10
> Température.....	12
> Eclairement.....	12
<b>Mouvements océaniques</b> .....	14
> Courants.....	14
> Marées.....	15
> Vagues, houle.....	16

Patrice Petit de Voize





### GENERALITES

Notre planète Terre est bien mal nommée avec une surface recouverte à 71 % par les océans. Cette masse représente 97 % de l'eau libre présente sur la planète, le reste se trouvant constitué par les eaux douces continentales et les glaces polaires.

150 millions de km<sup>2</sup> de terres émergées pour 360 millions de km<sup>2</sup> d'océan...

Quand on sait que, de surcroît, moins de 30 % de ces terres émergées sont occupées de façon permanente par l'espèce humaine, on comprend mieux l'importance du milieu marin dans tous les aspects de la vie planétaire.

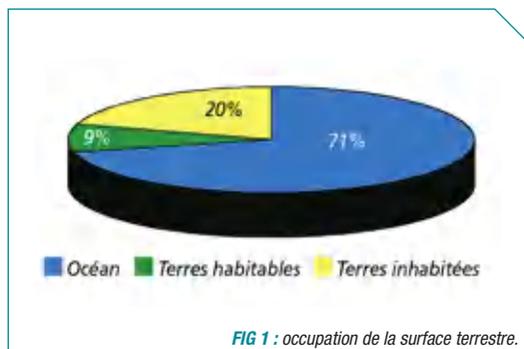


FIG 1 : occupation de la surface terrestre.

Cette énorme quantité d'eau (1 milliard 300 millions de m<sup>3</sup>) constitue en fait un seul immense océan dont la répartition est assez inégale, l'hémisphère sud étant à forte dominance océanique. Bien que la profondeur moyenne théorique soit de 3800 m, le fond des mers présente des reliefs très accentués avec des pitons, des chaînes de montagnes et des fosses (surtout dans le Pacifique) dépassant 8000 m, le record étant de 11 080 m dans la fosse des Mariannes.

### SUBDIVISIONS DU MILIEU MARIN

On sait que les continents sont la partie émergée des immenses plaques qui constituent l'écorce terrestre. Ces plaques prennent naissance sous les océans dans des zones d'intense activité sismique, les rifts, systèmes complexes de failles produisant en continu la roche du socle océanique.

Dans le cas de l'Atlantique, cette zone prend la forme d'une dorsale de plus de 16 000 km de longueur, orientée nord-sud, à distance à peu près égale des côtes américaines et eurafricaines, d'où son nom de dorsale médio-Atlantique.

Une ligne de sonde tracée entre le Brésil et l'Angola montrerait un profil très caractéristique, identique, dans ses grandes lignes, sur tous les continents.

Les terres émergées se prolongent en pente douce, 0,07° en moyenne, jusqu'à une zone où la profondeur croît beaucoup plus brutalement.

Sur la **FIG 2** page ci-contre, la différence d'échelle entre la largeur de l'océan et sa profondeur, nécessaire pour une bonne lecture de ces coupes, donne une idée fautive de la pente continentale dont l'inclinaison est généralement inférieure à 1 degré... Cette plate-forme, dont la largeur varie de quelques dizaines de mètres à plus de 300 km, est appelée plateau continental. Sa surface, 8 % de celle des océans, est loin d'être plane, même si on y trouve de grandes plaines alluviales, elle est parsemée d'îles, creusée de canyons qui prolongent sous la mer le lit des fleuves terrestres ou d'anciennes vallées glaciaires.

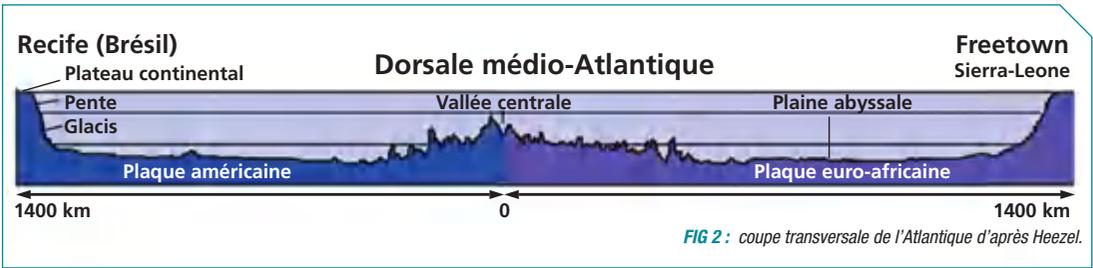


FIG 2 : coupe transversale de l'Atlantique d'après Heezen.

Vers 130/200 m, le plateau se termine par une pente plus accentuée, (on passe de 0,07 à 1, voire 3°) qui s'achève aux environs de 3 000 m et constitue le talus continental. Lui aussi est creusé de vallées abruptes par où s'écouleraient les sédiments provenant du continent, ces écoulements peuvent prendre la forme de véritables avalanches sous-marines, les courants de turbidité, accusés de provoquer divers accidents : rupture de câbles téléphoniques, raz-de-marée. Le glacis continental fait suite au talus, qu'il relie à la plaine abyssale, la largeur de cette zone est elle aussi très variable, de 50 à 300 km pour une profondeur comprise entre 3 000 et 5 000 m. C'est un paysage de reliefs envasés, peu accentués, qui annoncent progressivement la plaine abyssale. L'ensemble plate-forme/talus/glacis constitue la marge continentale ou précontinent. Les plaines abyssales constituent la majeure partie des fonds océaniques, leur pente est très faible, voire inexistante. Leur profondeur moyenne est de 4 000 m. Elles sont recouvertes de sédiments dont l'épaisseur varie de quelques mètres (Pacifique) à plusieurs milliers de mètres pour l'Atlantique. Dès qu'on s'éloigne du voisinage des talus continentaux, la proportion d'apports terrigènes et organiques diminue jusqu'à disparaître totalement. Le fond est alors recouvert de vase très fine constituée des enveloppes calcaires ou siliceuses d'organismes unicellulaires planctoniques : radiolaires, globigérines, ptéropodes, coccolithes. Durant la lente descente de ces organismes vers les abysses, la matière organique est totalement dissoute et seules les parties dures subsistent. Au-delà de 6 000 ou 7 000 m, même ces squelettes n'atteignent plus le fond, celui-ci n'est alors constitué que d'un lit d'argile rouge. La monotonie de ces plaines n'est troublée que par la présence de reliefs volcaniques anciens (guyots, pitons) ou actifs (volcans) et par les dorsales et fosses d'origine tectonique. La vie y existe, clairsemée et ralentie, mais la plupart des embranchements y sont représentés. Étant donné l'absence de lumière, la base de la chaîne alimentaire repose sur les déchets de toutes sortes provenant de la surface.

## Le Saviez-vous ?

Le Gange déverse dans la mer et en une seule journée l'équivalent des dépôts de la Gironde en une année soit 3 millions de tonnes de sédiments... On distingue trois types de sédiments : littoraux (vase, sable et galets), néritiques (jusqu'à 200 m), bathyaux (200-3 000 m) et abyssaux au-delà. Le calcaire se dissolvant sous forte pression, ces derniers ne contiennent que de l'argile et des microfossiles siliceux (diatomées, radiolaires)...

Source Quid 2002

▲ Le plateau continental est également, et depuis toujours, l'enjeu de batailles acharnées entre États, ses limites étant bien difficiles à définir et encore plus à matérialiser.

▲ Pêche, circulation des navires, exploitation des ressources minérales (pétrole, gaz, sables, graviers, etc.) sont autant de motifs de discordance, toujours d'actualité, même si les batailles ne sont (généralement) plus aujourd'hui que juridiques.

▲ De récentes découvertes ont montré la présence de véritables oasis sous-marines entre 3 000 et 5 000 m, autour de sources hydrothermales. Ces sources, localisées autour des dorsales, rejettent une eau très chaude (350 °C) chargée de sels métalliques. Ces sels, généralement des sulfures, sont utilisés par des bactéries symbiotes ou libres formant avec leurs hôtes et prédateurs une chaîne alimentaire très originale.

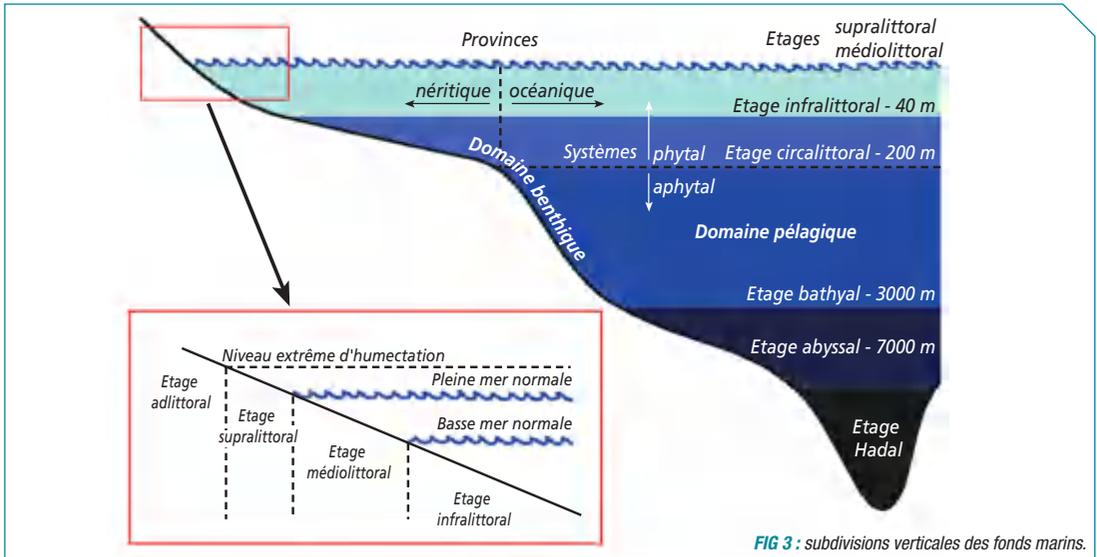


FIG 3 : subdivisions verticales des fonds marins.

## EAU DE MER

### DENSITE

L'eau de mer est 800 fois plus dense que l'air, cette densité variant avec la température : plus l'eau est froide, plus elle est dense. Le maximum de densité est atteint aux environs de 4 °C.

Cette propriété physique explique la tendance des eaux froides à « couler » vers le fond des océans, les eaux froides polaires descendant ainsi lentement vers les grands fonds et vers l'équateur où elles finissent par se mélanger. C'est surtout au voisinage des côtes et de la surface que se produisent les échanges verticaux.

Les **upwellings**, courants ascendants, transportent à la surface les sels minéraux, nitrates et phosphates résultant de la dégradation des résidus organiques. Dans cette zone éclairée, la **zone euphotique**, les phénomènes de **photosynthèse** phytoplanctonique, premiers maillons de la chaîne alimentaire, pourront démarrer.

La densité de l'eau de mer est de 1,03 g/cm<sup>3</sup> en moyenne pour une salinité de 35 g/l.

### SALINITE

#### Pourquoi la mer est-elle salée ?

Pendant des milliards d'années, les pluies ont lessivé la surface des terres émergées, apportant aux océans les

sels dont se sont chargées les eaux de ruissellement, tandis que l'évaporation ne renvoyait vers les nuages que de l'eau distillée. Cet apport chimique se poursuit encore, à l'heure actuelle. Chaque année 400 millions de tonnes de substances solides sont déversées dans les océans par les fleuves.

### COMPOSITION DE L'EAU DE MER

En moyenne on y trouve **35 g de substances dissoutes par kilogramme**. Pratiquement tous les éléments chimiques y figurent en quantités variables.

#### Principaux éléments présents en grammes/litre

Chlore.....	18,98	Potassium.....	0,380
Sodium.....	10,56	Brome.....	0,065
Magnésium.....	1,27	Carbone.....	0,028
Soufre.....	0,88	Strontium.....	0,013
Calcium.....	0,40	Bore.....	0,00513

Tous ces éléments chimiques forment des combinaisons variées, c'est ainsi que le carbone forme aussi bien des carbonates, que des bicarbonates. Le soufre donne surtout des sulfates, mais parfois des sulfures (milieux anoxiques). Le chlore, élément le plus abondant, donnant principalement des chlorures.

**Le sel marin, chlorure de sodium, représente à lui seul 77 % de ces sels dissous.** Cette salinité moyenne de 34,5 g/l subit de nombreuses variations, saisonnières ou géographiques. Elle peut atteindre 40 à 60 g/l dans les zones tropicales où l'évaporation intense n'est pas compensée par des arrivées d'eau douce (golfe Persique, lacs salés du canal de Suez).

Par contre elle est faible au voisinage des estuaires, dans la mer Baltique ou au voisinage des glaces polaires, constituées majoritairement d'eau douce (20-30 g/l).

**Salinité moyenne de la Méditerranée: 37 g/l - de l'Atlantique: 34 g/l.**

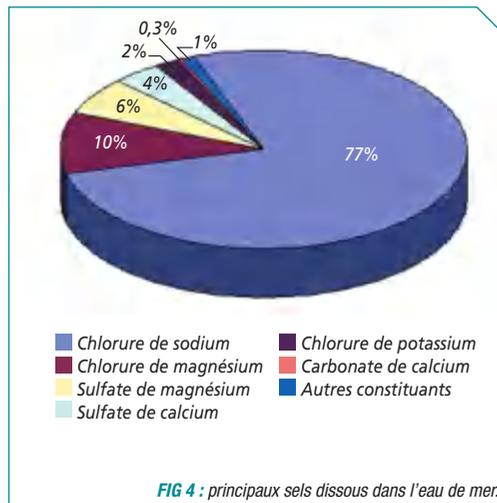
L'importance de ces substances dissoutes est capitale pour le développement de la vie océanique.

Le calcium, sous forme de carbonate, et le silicium constituent enveloppes, carapaces, spicules, articles chez les algues et les crustacés, spongiaires, os, arêtes, dents, etc. chez les vertébrés.

Le carbone, le phosphore et les dérivés azotés sont à la base de tous les composés organiques.

Le soufre, utilisé par certaines bactéries, permet à la vie de subsister autour des sources hydrothermales profondes, malgré l'absence de lumière et la pauvreté en oxygène.

Enfin, parmi tous les corps chimiques présents, deux gaz, l'oxygène et le gaz carbonique, jouent un rôle capital, sous forme libre ou dissoute.



## Le Saviez-vous ?

*A titre d'anecdote...*

*Un mètre cube d'eau de mer ne contient que 0,06 mg d'or, ce qui est vraiment très peu...*

*Mais en considérant la totalité du volume des océans, le stock représente plus de 7 800 000 tonnes !*

*Si on pouvait l'extraire... Petits chimistes, à vos alambics !*

## 1> Milieu physique

### TEMPERATURE

Variable en fonction de la latitude et de la profondeur, elle est au minimum de  $-4\text{ °C}$  (point de congélation), pour atteindre  $35\text{ °C}$  dans certaines mers tropicales (golfe Persique).

Les variations de température concernent surtout la couche superficielle des océans : vents, courants, houle, soleil, favorisant au gré des saisons le brassage des eaux. Passé 800 mètres, la température décroît régulièrement avec l'augmentation de la profondeur, pour atteindre  $0\text{ °C}$  aux environs de 5 000 m (Atlantique). A la même profondeur, elle est de  $1,7\text{ °C}$  dans le Pacifique. Un léger réchauffement (+ ou  $-1\text{ °C}$ ) est constaté entre 6 000 et 11 000 m, conséquence de l'énorme pression qui règne à ces profondeurs (600 à 1 100 bars !). Exception à cette règle, les mers semi-fermées du type Méditerranée : leur température, quelle que soit la profondeur, est rarement inférieure à celle de leur seuil de communication avec l'océan.

**Soit, pour la Méditerranée, celle de Gibraltar à environ 400 m :  $13,7\text{ °C}$ .**

Il s'agit là de température moyenne, les eaux de surface pouvant être plus froides ou plus chaudes en fonction de la saison. Les fanatiques de l'apnée profonde seront ravis d'apprendre qu'au sud de la Grèce, par 5 000 m de fond, ils n'auront pas plus froid qu'à l'île du Levant par une fraîche plongée d'avril...

Avis aux amateurs !



*Les variations de température n'affectent que la couche superficielle des océans... Polynésie.*

### ECLAIREMENT **FIG 5**

La pénétration de la lumière dans l'eau dépend de plusieurs facteurs :

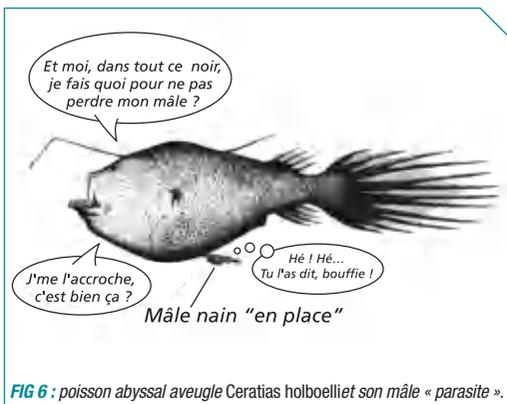
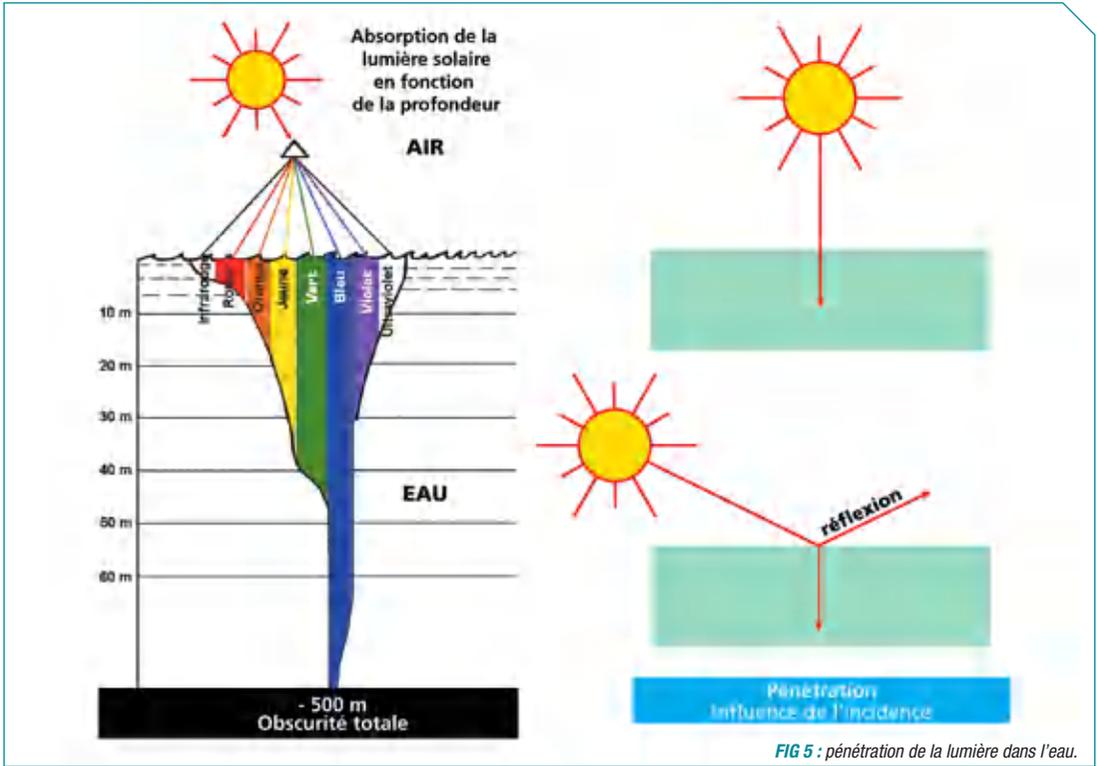
- > sa transparence (présence ou non de matière en suspension),
- > son agitation,
- > l'incidence des rayons lumineux (pénétration maximale avec le soleil à la verticale).

La couche d'eau considérée, joue le rôle d'un filtre sélectif, absorbant les différentes radiations composant le spectre, en fonction de leur longueur d'onde. Les rayonnements infrarouges et ultraviolets sont rapidement neutralisés par des phénomènes de résonance au sein des molécules d'eau. Avec l'augmentation de la profondeur, sont absorbées successivement les radiations rouges, orange, violette, jaunes et vertes. Le bleu disparaît en dernier, ce qui explique qu'il constitue la couleur dominante des eaux (claires).

L'influence des sels dissous est négligeable, l'eau de mer pure est presque aussi transparente que l'eau distillée. Toutefois, la présence de particules en suspension augmente le coefficient d'absorption dans des proportions considérables.

Vers 500 m, en eau claire, une plaque photographique immergée n'est plus impressionnée par la lumière solaire. On se trouve, à partir de cette profondeur dans la zone apotique.

La lumière est indispensable à la croissance des végétaux, base de la chaîne alimentaire; il est facile de constater en plongée la disparition progressive des grandes algues avec la profondeur. Les laminaires, par exemple, vont se raréfier à partir d'une douzaine de mètres pour disparaître dans la zone des 20/25 m en Atlantique. En Méditerranée, où l'eau est généralement plus claire, on les trouve dans la zone des 40 m (île d'Alboran).



Au-delà de 50 m, ne restent que quelques algues rouges, souvent calcifiées, qui peuvent se contenter d'une très faible luminosité.

Moins visibles, les algues unicellulaires vivant en symbiose avec certains animaux marins, les madrépores en particulier, verront leur croissance s'arrêter à partir de cinquante mètres en moyenne, faute de lumière.

Leur absence, empêchant ces animaux de synthétiser le calcaire qui compose leur squelette, explique que les récifs coralliens croissent par le haut, au fur et à mesure de l'enfoncement du relief volcanique qui les porte, et non vers le bas, où l'on ne trouve plus que des coraux morts.

Poissons et animaux du **zooplancton** (plancton animal), adaptés à la vie dans l'obscurité, sont, malgré tout, dépendants de la surface pour leur alimentation. Ils profitent de la nuit pour se rapprocher de la surface où vit le **phytoplancton** (plancton végétal). D'autres se contenteront des débris organiques tombant lentement vers le fond : algues et animaux morts, débris charriés par les fleuves.

## MOUVEMENTS OCEANIQUES

### COURANTS

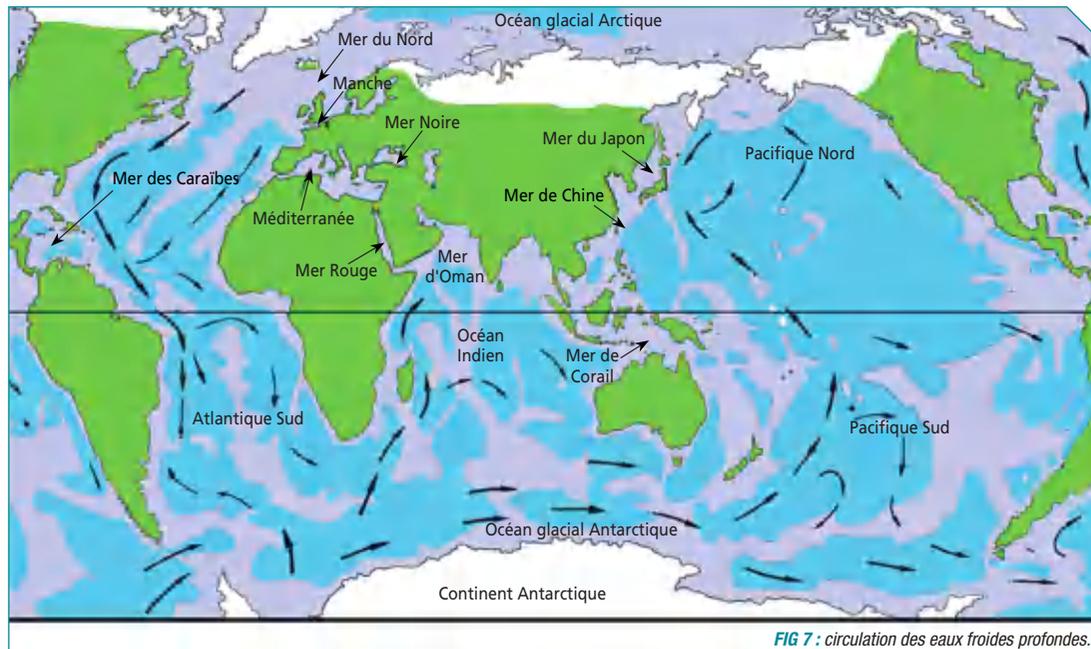


FIG 7 : circulation des eaux froides profondes.

La circulation des eaux océaniques est une machine complexe dont nous connaissons, certes, les causes principales : vents, rotation de la terre, différences de température, de salinité (et donc de densité), mais dont le mécanisme exact est encore loin d'être connu dans le détail. Les courants de surface n'en sont que la partie apparente, leur trajet et leur vitesse sont souvent perturbés par des phénomènes saisonniers ou météorologiques, alors que les eaux froides profondes suivent des routes quasiment immuables.

### Le Saviez-vous ?

Les vents, principale cause des courants de surface, n'influencent que 10 % de la totalité du volume océanique.

À l'échelle du globe, ils sont la conséquence d'une répartition inégale du réchauffement solaire et des alternances de basses et hautes pressions de l'équateur aux pôles. Les alizés en sont le plus bel exemple.

Source Sealife Waller/Dando/Birchett PicaPress.

L'eau très froide et peu salée des pôles (eau de fonte des glaciers) s'écoule vers les grands fonds, sa température vers 4 000 m reste voisine du point de congélation.

L'eau du Pôle Nord descend par l'Atlantique le long des côtes est américaines et rejoint l'hémisphère Sud au large de l'Argentine. Celle du Pôle Sud s'écoule vers le nord dans le Pacifique et regagne l'hémisphère Nord au large du Japon et du Kamchatka.

La constante de température en profondeur explique la grande dispersion des espèces animales d'eau froide profonde. Contrairement aux animaux vivant près de la surface, pour qui les différences de température constituent des barrières infranchissables, il n'existe pour eux qu'un immense océan mondial, uniformément froid et calme.

En surface, la situation est beaucoup plus complexe, courants chauds et courants froids y constituent un réseau enchevêtré dont nous connaissons à peine la géographie, et dont nous savons assez mal prévoir les écarts ou les variations. Pourtant, climat et ressources halieutiques en dépendent, et leurs sautes d'humeur peuvent avoir d'incalculables répercussions sur l'économie des pays riverains.



En surface, la situation est complexe.

En règle générale, la rive orientale des océans, Pacifique et Atlantique, est soumise à un régime de vents de secteur est, soufflant vers l'équateur et favorisant les remontées d'eau froide ou upwellings. C'est le cas du Pérou, de l'Equateur, du Chili, dans le Pacifique et des côtes ouest africaines dans l'Atlantique.

Dans les deux cas, elles sont baignées par des eaux très froides qui contrastent violemment avec la température de fournaise qui règne à terre. En Namibie, par exemple, où la température atteint 40 °C, voire 50 °C dans le désert de Namib, les phoques s'ébattent dans une eau à 10 °C à son voisinage immédiat.

Ces remontées d'eaux profondes, riches en éléments nutritifs, sont à l'origine d'une grande abondance animale dont profite l'industrie de la pêche. Le Pérou, par exemple, est le deuxième producteur mondial de poissons avec, dans les meilleures années, des prises de 10 millions de tonnes d'anchoveta, sorte d'anchois utilisé pour la fabrication de farine destinée à l'alimentation animale.

Sous l'effet des forces de Coriolis, induites par la rotation terrestre, les courants dominants tournent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire dans l'hémisphère sud.

### MAREES

En vertu des lois de la gravitation, la Lune et le Soleil exercent sur notre patatoïde natal une action qui tend à déformer celui-ci, en fonction de leurs orbites respectives, ce phénomène, c'est la **marée**.

Bien sûr, l'effet de marée est surtout visible par son action sur les eaux océaniques, mais il n'en est pas moins vrai que l'ensemble de la masse planétaire se déforme au gré des mouvements orbitaux.

La force de gravité de la Lune attire les océans qui forment un renflement dans sa direction.

Ce renflement dont la hauteur a été mesurée depuis peu grâce aux satellites est relativement peu important, moins de deux mètres en moyenne, mais il peut être localement amplifié par des phénomènes de résonance dus à la géographie particulière de certaines côtes : la Manche, le canal Saint-Georges, l'estuaire du Saint-Laurent.

Les variations de position de la Lune et du Soleil par rapport à notre planète provoquent d'égales variations de hauteur des marées (**vives-eaux** et **mortes-eaux**) indiquées dans les annuaires par un coefficient (maxi théorique 120). Les plus grandes marées correspondent aux positions de syzygie, alignement de la Lune et du Soleil.

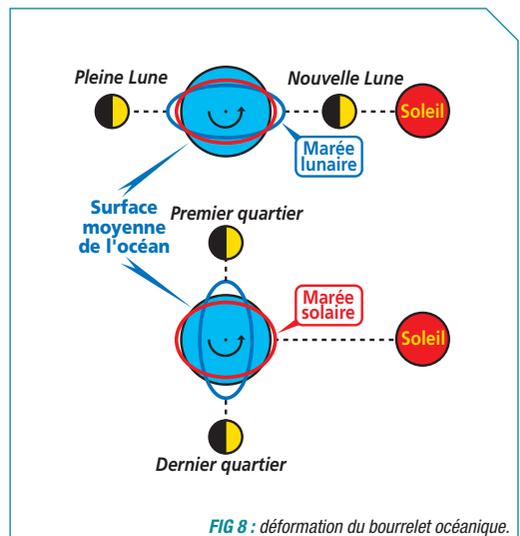


FIG 8 : déformation du bourrelet océanique.

## 1> Milieu physique

Dans nos régions, les marées sont du type semi-diurne, avec deux marées basses et deux marées hautes par 24 heures. Leur amplitude (différence de hauteur entre la haute et la basse mer) peut aller de quelques dizaines de centimètres en Méditerranée, à plus de treize mètres dans la baie du Mont Saint-Michel et seize mètres dans la baie de Fundy, au Canada. Ces marées génèrent de forts courants dont la vitesse peut dépasser 10 nœuds (18,5 km/h).

Le Service hydrographique et océanographique de la Marine (S.H.O.M.) publie pour toutes les régions du globe des annuaires de marées annuels. Il publie également des cartes des courants de marée pour plusieurs régions françaises (Manche, rade de Brest, etc.).

**Aucun plongeur ne devrait se mettre à l'eau dans une zone à marées sans être parfaitement informé des horaires et coefficients.**

### VAGUES, HOULE

Les vagues résultent de l'action du vent sur les eaux superficielles. Leur hauteur peut dépasser 20 m lors de fortes tempêtes et leur action peut encore être ressentie à plus de 50 m de profondeur. Le courant, le relief sous-marin peuvent en renforcer l'effet en les faisant briser (déferlantes). Même lorsque le vent a cessé, les ondulations qu'il avait provoquées peuvent persister et venir briser au rivage, c'est la houle. Avec la reprise du vent soufflant d'une autre direction, houles et vagues peuvent se contrarier, provoquant une mer hachée et chaotique ou mer carrée, redoutable pour les petits navires.



*Raz-de-marée à Acapulco.*

Les séismes sous-marins peuvent également engendrer un type d'onde océanique se propageant en cercles concentriques autour du point d'émission, ce sont les tsunamis. Se déplaçant à des vitesses qui peuvent atteindre 700 km/h, particulièrement dans les zones à forte activité sismique du Pacifique, leurs effets sont particulièrement dévastateurs sur les rivages. Villes rasées, ouvrages portuaires détruits, navires transportés à l'intérieur des terres par des vagues de plus de dix mètres de haut, ces tsunamis ont fait des centaines de milliers de victimes. En Atlantique, Lisbonne fut entièrement détruite par l'un d'eux en 1755.

Beaucoup plus près de nous et avec les conséquences dramatiques sur la centrale nucléaire que l'on sait, le tsunami de Fukushima, le 11 mars 2011, a occasionné des vagues d'une hauteur estimée à plus de 30 m qui ont ravagé près de 600 km de côtes jusqu'à 10 km à l'intérieur des terres.



*La plongée en Atlantique impose de faire attention aux marées...*



*Dans les atolls, le lagon se vide et se remplit au rythme des marées. Les passes sont des lieux d'observation des animaux qui profitent du courant.*

2

# Milieu vivant



*Un animal étonnant : le gorgonocéphale.*



**Genèse de la vie sur Terre**..... 20

> Quelques dates importantes..... 20

Patrice Petit de Voize

**Histoire de la vie et arbre de filiation**.. 23

> Un peu de rangement..... 23

> L'arbre de filiation..... 25

Annie Lafourcade - Chantal Delcausse

**Biotopes et biocénose**..... 27

> Règles des biocénoses marines..... 29

Patrick Maillard

**Associations**..... 31

> Mutualisme..... 31

> Parasitisme..... 33

Patrice Petit de Voize

**Chaîne trophique**..... 36

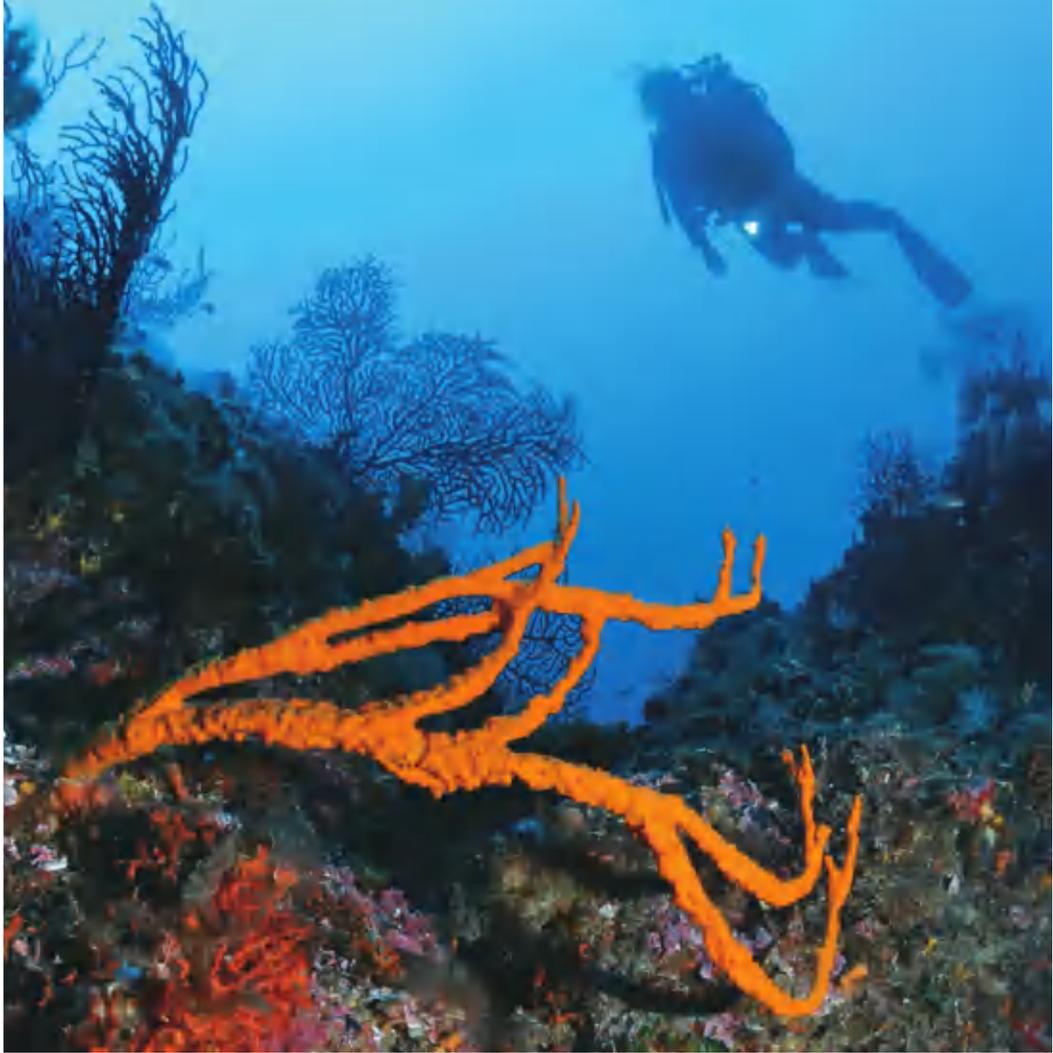
Annie Lafourcade - Jean Bonnefis



*Crabes tourteaux. Oléron.*



*Barracudas en banc : une stratégie de prédation.*



*Eponge anixelle commune Axinella polypoides.*

## ■ SPONGIAIRES

### DEFINITION - GENERALITES

Les spongiaires sont considérés comme les plus simples des animaux pluricellulaires (Métazoaires).

Ces animaux ne possèdent ni tube digestif, ni système nerveux, ni système circulatoire. Les liaisons intercellulaires sont labiles, instables.

On en connaît plus de 3000 espèces, qui vivent de la surface aux plus grandes profondeurs, dont plus de 300 dans nos eaux littorales françaises.

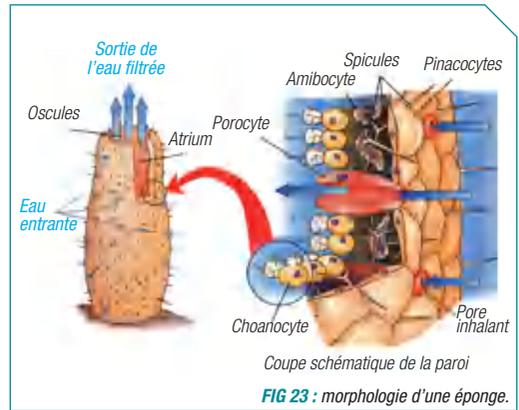
Les éponges sont des animaux filtreurs actifs dont le plan d'organisation est très original. L'ensemble de l'organisme est parcouru par un courant aquifère dans lequel l'oxygène et la nourriture sont prélevés et les produits de déchets rejetés.

### MORPHOLOGIE - DESCRIPTION - NUTRITION

L'eau pénètre dans l'éponge par une multitude de petits orifices inhalants invisibles à l'œil nu ( $50 \mu\text{m} = 0,05 \text{ mm}$ ), les pores. Par des canaux qui se divisent en un réseau dit inhalant, l'eau atteint ensuite la pompe du système : les chambres choanocytaires. Ces chambres sont tapissées des cellules caractéristiques, les choanocytes, qui jouent le rôle de micropompes et de filtre. A la sortie des chambres, l'eau est collectée par un réseau de canaux exhalants confluant vers une ouverture plus large, l'oscule, par où l'eau est rejetée.

La surface de l'éponge et les canaux sont recouverts d'un épithélium constitué de cellules appelées pinacocytes. Pinacocytes et choanocytes constituent deux couches cellulaires qui isolent totalement l'éponge de l'eau ambiante et de l'eau circulante. Elles délimitent le milieu intérieur de l'éponge, le mésohyle. Tout cet ensemble de tissus

vivants et de canaux est soutenu par un squelette. La plupart des éponges possèdent un squelette interne composé soit d'éléments siliceux ou calcaires (les spicules), dont les dimensions varient suivant les cas entre 0,2 µm et parfois quelques dizaines de centimètres, soit de fibres de spongine (telle l'éponge de toilette naturelle), soit des deux à la fois. Cette charpente squelettique, la forme et les dimensions des spicules ou des fibres de spongine sont les critères essentiels sur lesquels est fondée la systématique. Noter le cas aberrant de certaines éponges dépourvues de système aquifère et de choanocytes. Il s'agit d'espèces appartenant à une famille abyssale, les Cladorhizidae, et dont un représentant a été découvert dans une grotte sous-marine des bords de la Méditerranée. Elles se nourrissent grâce à la capture de petites proies (crustacés).



#### ▲ Observer en plongée

La morphologie, en particulier les oscules – visibles – et dispersés de manière aléatoire dans le tissu et les pores, bien souvent microscopiques. Les variétés de forme et de couleur.

#### ▲ A faire sous l'eau

La circulation peut être mise en évidence de façon simple et parfois spectaculaire en faisant aspirer un colorant comme la fluorescéine diluée dans l'eau de mer. Une éponge massive filtre son propre volume d'eau en 10 à 20 secondes, en retenant pratiquement toutes les particules dont la taille est de l'ordre de celle des bactéries (1 à 3 µm) et une proportion élevée des colloïdes de taille inférieure.

## REPRODUCTION

La reproduction des éponges s'effectue par des larves ciliées, le plus souvent de moins de 1 mm de long qui nagent librement quelques heures avant de se fixer et de se métamorphoser.

Ces larves proviennent d'ovocytes fécondés par des spermatozoïdes, produits généralement par des individus différents, bien que la plupart des éponges soient hermaphrodites.

Selon les espèces, la fécondation a lieu dans l'eau (éponges ovipares) ou à l'intérieur des tissus de l'éponge femelle. La multiplication asexuée qui est présente dans un certain nombre d'espèces se fait soit par bourgeonnement externe soit par bourgeonnement interne (aussi appelé gemmulation). La gemmulation, bien que présente chez quelques espèces d'éponges marines, est surtout caractéristique des éponges d'eau douce.



Eponge *Leuconia nivea*. Les oscules et ostioles sont bien visibles.

#### ▲ Observer sous l'eau

La multiplication par bourgeonnement.

## 4 > Vie animale

### COMPORTEMENT – DISTRIBUTION

Ces animaux apparemment si simples ont réussi à coloniser beaucoup de milieux aquatiques depuis le littoral jusqu'aux grands fonds océaniques et même les eaux douces.

Sur les côtes des mers tempérées, la plupart des éponges recherche un abri contre le trop fort ensoleillement, et c'est surtout sous les surplombs, dans les grottes sous-marines, sur les tombants profonds que l'on trouve la plus grande variété. Dans ces conditions elles arrivent à occuper la majeure partie du substrat disponible.

Sur les côtes calcaires et dans les récifs coralliens, certaines éponges, les clones, jouent un rôle important en perforant et détruisant les substrats calcaires.

#### > La prédation

Les éponges sont consommées par certains poissons, étoiles de mer (*Echinaster sepositus*) et les nudibranches (*Peltodoris atromaculata*, *Felimare orsinii*) dont certains sont des prédateurs spécifiques. De ce fait, certaines éponges ont élaboré des stratégies de défense par l'intermédiaire de leur squelette qui, pour certaines d'entre elles, peut former une véritable cuirasse ou une herse protectrice. D'autres se réfugient dans des cavités ou sous les pierres, d'autres encore se laissent recouvrir par des épibiontes.

#### ▲ Observer en plongée

*La nutrition des nudibranches sur les éponges.*

Cependant, de nombreuses espèces vivent exposées et avec une surface entièrement libre d'organismes. Elles ont une défense chimique par l'intermédiaire de certains métabolites secondaires empêchant la prédation et/ou le recouvrement de la surface.

#### > La symbiose

La symbiose avec des bactéries et des micro-algues (zooxanthelles) est fréquente et très variée.

#### ▲ Observer en plongée

*Les couleurs. Attention, elles ne sont pas toujours la résultante d'une symbiose !*

#### > Le mutualisme

Il existe une relation entre la méduse *Nausitoe punctata* et les éponges cornées telles que *Cacospongia scalaris*, *Dysidea avara* et *D. fragilis*.

#### ▲ Observer sous l'eau

*La répartition des spongiaires en fonction de l'éclairement et de la profondeur.*

*Les éponges perforantes.*

*Pour une même espèce, les variations morphologiques et de couleur en fonction des conditions du milieu (lumière, zone abritée ou non), surtout au niveau des grottes et/ou surplombs.*



*Eponge aile de chauve-souris Dercitus bucklandi.*

## Le Saviez-vous ?

L'éponge panier de verre *Euplectella sp.* abrite très souvent un couple de crevettes *Spongicola* qui se nourrit du surplus de plancton transporté par le courant créé par leur hôte. Quand les crevettes parviennent à l'âge adulte, il arrive qu'elles ne puissent plus sortir... Les Japonais collectionnent les squelettes de l'éponge et des deux crevettes prisonnières et en font des cadeaux de noces, symboles du lien éternel entre les mariés... Parce qu'il bloque parfois le système de circulation, ce commensalisme (rencontré aussi avec l'araignée de mer *Chorilla*) peut être fatal à l'éponge. Celle-ci lutte contre les intrusions grâce à des agents toxiques ou en dévorant ses locataires encore à l'état de larve...

*Source Sealife ib.*

## LA CLASSIFICATION

Elle est très complexe et controversée dans le détail. Le phylum des spongiaires est subdivisé en trois classes en fonction de la nature du squelette :

> Les éponges de verre ou *Hexactinellida* possèdent un squelette composé de spicules de silice à symétrie de type 6.

> Les *Demospongiae*, de loin les plus nombreuses, possèdent un squelette de spicules siliceux à symétrie de type 1 ou 4, pouvant être accompagnés de spongine ou d'un squelette plus ou moins massif en calcaire (calcite ou aragonite). Ces spicules sont parfois absents. Le squelette peut être composé uniquement par des fibres de spongine (éponges commerciales) ou être absent. Trois sous-classes principales, les *Homoscleromorpha*, les *Tetractinomorpha* et les *Ceractinomorpha*.

> Les éponges calcaires ou *Calcarea* possèdent un squelette composé de spicules de calcite à deux, trois ou quatre rayons (diactines, triactines ou tétractines) auquel peut s'ajouter un squelette calcaire massif.



Spicules de l'éponge *Stelligera rigidata* vus au microscope.

## TRAVAIL EN LABORATOIRE

Observation des spicules en microscopie. Il faut prélever un morceau d'éponge et réaliser la procédure suivante pour obtenir les spicules :

> Sur une lame, mettre un fragment d'éponge et 1 goutte de Javel concentrée.

> Chauffer au bec Bunsen jusqu'à évaporation et dissociation, en ajoutant 1 goutte d'eau si besoin.

Les spicules doivent rester groupés au centre de la lame.

> Poser une grande lamelle et ajouter de l'eau par les 2 côtés.

> Laisser sécher à l'étuve à 45 °C ; des cristaux se forment aux bords de la lamelle.

> Les enlever au scalpel.

> Rincer une deuxième fois et recommencer l'opération jusqu'à ce que les spicules soient propres (2 rinçages suffisent généralement).

> Après le dernier séchage, introduire sous la lamelle de l'*Araldite* ou de l'euparal, après avoir chauffé un peu.

## Remarques

> Il est nécessaire de faire des préparations très propres.

> Si l'éponge est volumineuse :

- Faire bouillir un fragment de 0,5 cm<sup>3</sup> avec de l'eau de Javel dans un tube à essai.

- Compléter avec de l'eau et laisser sédimenter au moins 30 minutes. Décanter et rincer à nouveau.

- Remplacer l'eau par de l'alcool à 95 °C. Décanter et rincer à nouveau.

- Mettre 1 ou 2 gouttes du fond du tube sur la lame, sécher à la flamme et monter.

> Eviter le baume du Canada pour les spicules calcaires et l'euparal pour les spicules siliceux.

### ▲ Mots-clefs

Pores, oscules, chambres choanocytaires, spicules, filtration, demosponges.

### ▲ Documents de référence

Plongée dans le monde des spongiaires. Guide des éponges de Méditerranée. Gilli A. & Maillard P. CNB – FFESSM. In Press. 2000.

Abrégé de zoologie. Tome I : Invertébrés. Masson, Grassé P. P. Paris, pages 56-65. 1979.

Le Monde du vivant. Traité de biologie. Purves W. K., Orias G. H. & Helle H. C. Flammarion, Sciences, pages 546-554. 1994.

L'Éponge carnivore. Vacelet J. CNRS Audiovisuel. Film de 13 min. 1998.

### ▲ Schémas

P. Petit de Voize, d'après Karleskint.



Méduse rhizostome *Rhizostoma pulmo*. Méditerranée.

## ■ CNIDAIRES

Du grec *knidê* : ortie

### DEFINITION – GENERALITES

Métazoaires diploblastiques, acoelomates (cf. définition page 46) à symétrie radiaire, dont la forme générale évoque celle d'un sac, munie d'une seule ouverture, bordée de tentacules garnis de cellules urticantes. Ils figurent parmi les plus anciens métazoaires (animaux pluricellulaires) apparus sur Terre, probablement au précambrien, il y a plus de 800 millions d'années.

Les cnidaires qui comptent plus de 10 000 espèces, se présentent généralement sous deux formes :

- > une forme fixée, parfois définitivement, appelée **polype**.
- > une forme libre à l'état adulte, appelée **méduse** **FIG 24** (page ci-contre).

**Ces animaux sont omniprésents dans l'univers du plongeur : coraux, madrépores, gorgones, anémones, méduses, hydraires. Ils sont visibles dans toutes les mers et à toutes les profondeurs.**

Les individus peuvent être solitaires, et dans ce cas, avoir une taille variant de quelques dixièmes de millimètres (polypes d'hydriaires), à plus d'un mètre (anémones, méduses), ou s'assembler en colonies. Celles-ci peuvent atteindre des dimensions extraordinaires : les récifs coralliens, entre autres, constituent des ensembles de plusieurs centaines de kilomètres de longueur. Le plus grand de ces récifs, la Grande Barrière d'Australie, est visible... de la Lune !

L'étude d'anémones abyssales, récoltées par des sous-marins d'exploration, a montré que certaines d'entre elles étaient vieilles de plus de mille ans !

### MORPHOLOGIE

Les cnidaires sont des métazoaires diploblastiques, donc constitués d'un assemblage de cellules disposées en deux feuillets séparés par une couche intermédiaire gélatineuse: la **mésoglée**.

La couche externe ou **ectoderme**, comporte principalement trois types de cellules :

- > Les cellules **épithéliomusculaires**, qui permettent à l'animal des mouvements simples de contraction.
- > Les cellules urticantes ou **cnidocytes**, parfois regroupées en boutons urticants.
- > Les cellules sensorielles, ciliées, mettant l'animal en relation avec le milieu extérieur (détection des proies...).

La couche interne ou **endoderme** FIG 25 est constituée de cellules flagellées à vocation digestive, proches des cellules épithéliomusculaires de l'ectoderme, donc susceptibles de mouvements contractiles. Elles absorbent et digèrent les particules alimentaires (phagocytose), aidées dans ce travail par les substances digestives fabriquées par les cellules glandulaires, et déversées dans la cavité gastrique. L'endoderme comporte également un certain nombre de cellules sensorielles.

Dans la masse gélatineuse de la **mésoglée** on trouve quelques types de cellules, migrantes ou non, et en particulier, au voisinage de l'ectoderme, les **neurones**, qui mettent en relation les cellules épithéliomusculaires et les cnidocytes, constituant ainsi un début de système nerveux.

La cellule urticante, commune à tous les animaux de ce groupe, le **cnidocyte** FIG 26, également appelé nématocyte ou **cnidoblaste**, est équipée d'une ampoule « explosive », le cnidocyste (ou nématocyste ou cnida), dans lequel se trouve un filament creux, baignant dans un venin paralysant.

Lorsque le **cnidocil**, situé à la surface de l'ectoderme, est effleuré, une impulsion nerveuse déclenche une forte augmentation de la pression dans le cnidocyste. Le filament, se retournant brutalement, comme un doigt de gant, vient frapper la proie avec une grande vitesse et y reste ancré par les crochets situés à sa base. Le venin, plus ou moins actif, suivant les espèces, peut avoir des effets paralysants, voire mortels, sur les proies.

**Certains cnidaires : physalie (galère portugaise), cuboméduse (guêpe de mer), certaines anémones ou cérianthes, peuvent, en cas de contact avec l'homme, déclencher de redoutables traumatismes : brûlures, chocs allergiques, pouvant aller jusqu'à la mort.**

## NUTRITION

Tous les cnidaires sont carnivores, actifs ou passifs, suivant l'espèce.

Dans tous les cas, la proie, vivante ou non, est capturée par les tentacules, au besoin, paralysée ou tuée par le venin des cellules urticantes, amenée à la bouche puis digérée à l'intérieur de la cavité gastrique.

Les parties non assimilables (fragments de carapace, arêtes...) sont rejetées à l'extérieur.

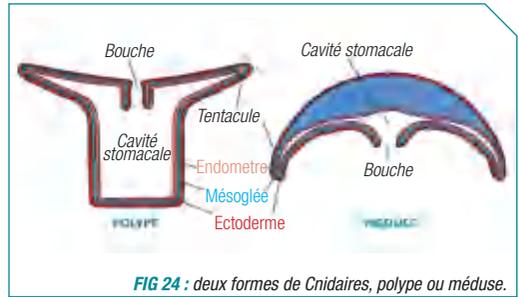


FIG 24 : deux formes de Cnidaires, polype ou méduse.

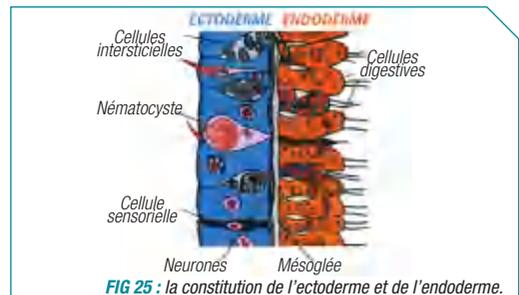


FIG 25 : la constitution de l'ectoderme et de l'endoderme.

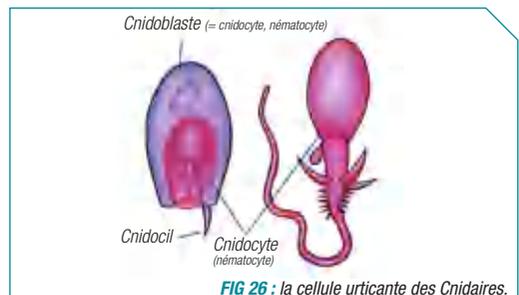


FIG 26 : la cellule urticante des Cnidaires.



Grand cérianthe *Cerianthus membranaceus*. Méditerranée.