

# Opération moussaillon

## Référentiel

par Dr. C. Laumonier & Dr. M. Terzo

relecture M. Moreas

Haute Ecole Bruxelles-  
Brabant

Unité structurelle Defré



*La Grande Vague de Kanagawa (神奈川冲浪裏),  
une célèbre estampe japonaise du peintre Hokusai, 1830*



## Table des matières

1. Qu'est-ce que le littoral ?	5
2. Plus loin et plus profond ... subdivisions du milieu marin	6
3. Retour sur la terre ferme ... enfin plus ou moins	7
4. Promenons-nous dans les dunes .... les systèmes dunaires	10
5. Retour sur la plage	11
6. L'étagement vertical de la flore et la faune marines sur l'estran	13
7. Caractéristiques de l'eau de mer	16
8. Les mouvement d'eau dans l'océan	24
9. Le climat de la côte Belge	36
10. La faune	40
11. La flore	58
Bibliographie	63



Ce référentiel a pour vocation de dresser l'inventaire de la terminologie écologique relative aux milieux marins. Il a pour objectif également d'expliquer quelques phénomènes propres à ces milieux déterminant leurs caractéristiques abiotiques et biotiques.

## 1. Qu'est-ce que le littoral ?

Rien de plus simple me direz-vous. Il s'agit d'un lieu de villégiature très apprécié des *Homo sapiens* durant la période estivale. C'est en réalité légèrement plus complexe. En écologie, le littoral maritime se définit comme étant « l'ensemble des fonds marins du plateau continental, depuis les niveaux les plus élevés, où peuvent vivre les espèces marines qui se contentent d'une humectation par des embruns<sup>1</sup> ou d'immersions exceptionnelles, jusqu'à la profondeur limite correspondant aux possibilités limites de vie des algues pluricellulaires. » (d'après [www.universalis.fr](http://www.universalis.fr))

On y distingue différentes zones (Fig. 1):

- le **supralittoral** (= zone **supratidale**) : zone d'éclaboussures, et/ou sous l'influence des embruns ;
- l'**eulittoral** (= zone **intertidale** = **estran** = **marnage**) : zone de marées ;
- le **sublittoral** (= zone infratidale) : zone entre basses eaux et bordure du plateau continental<sup>2</sup>, toujours immergée.

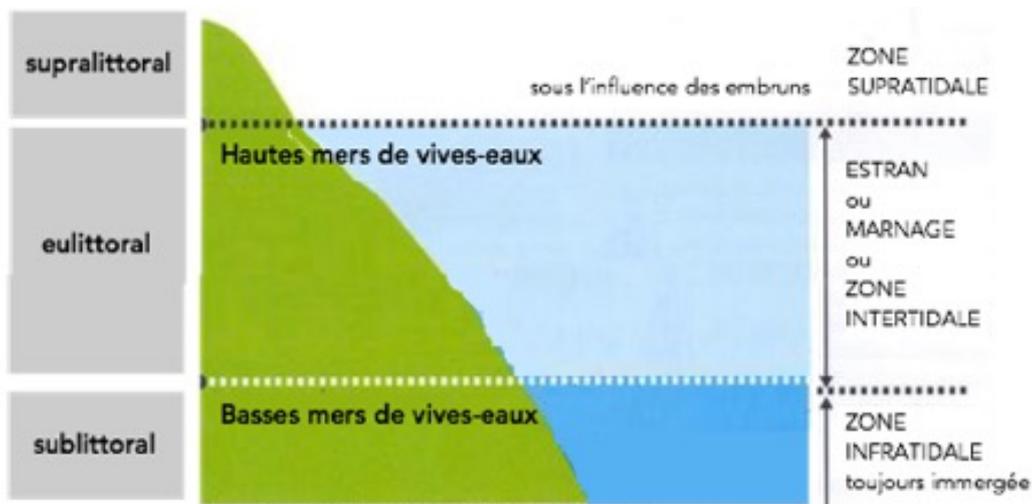


Figure 1 : étagement du littoral

Certains auteurs subdivisent le sublittoral en deux zones :

- l'**infralittoral** qui s'étend jusqu'à la limite inférieure des herbiers<sup>3</sup>. Pour certains auteurs, cette zone est découverte lors des marées basses de vives-eaux ;
- le **circalittoral** qui s'étend de la limite inférieure de l'infralittoral jusqu'à la fin du plateau continental.

Le littoral maritime s'étend généralement jusqu'à une profondeur de 200 m ce qui correspond à la limite de pénétration de la lumière solaire (**zone photique**) et donc à la possibilité de réaliser la photosynthèse.

<sup>1</sup> **Embruns** : gouttelettes d'eau arrachées par le vent à la surface de la mer.

<sup>2</sup> **Plateau continental** : bord immergé d'un continent.

<sup>3</sup> **Herbier** : prairie sous-marine.

## 2. Plus loin et plus profond ... subdivisions du milieu marin

Sous la zone du littoral, on trouve :

- la **zone bathyale** (= talus continental) : pente de 1 à 5° qui assure la transition entre le plateau continental et la plaine abyssale (Fig. 2). Elle s'étend de - 200 à - 3000 m.
- la **zone abyssale** : entre - 3000 et - 6000 m, il y règne le noir complet et la température est de 2 à 3°C.
- la **zone hadale** : fosse océanique, entre - 6000 et -11000 m

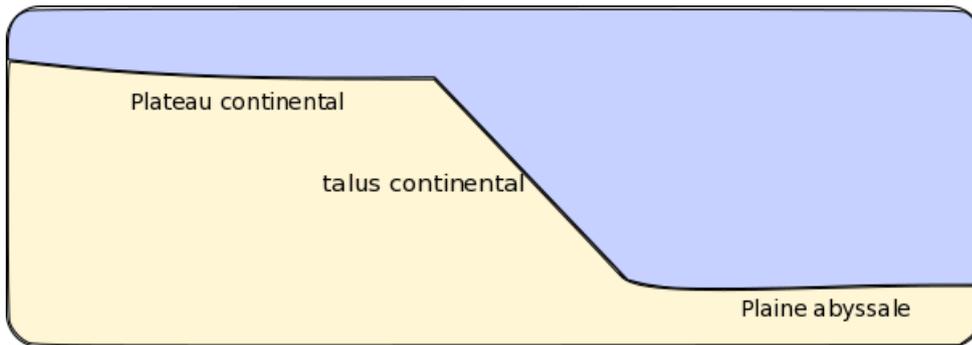


Figure 2 : transition du plateau continental vers la plaine abyssale (adapté de Pline)

Vivre sur le fond ou dans la colonne d'eau est bien différent. C'est pourquoi il est important de préciser le lieu de vie d'une espèce. Les scientifiques ont donc divisé le milieu marin en deux domaines (Fig. 3) : le **domaine pélagique** (la colonne d'eau) et le **domaine benthique** (le fond marin).

Les espèces benthiques (benthos) présentent au moins une phase de leur cycle directement associée au substrat, en vivant dessus ou dedans.

Les **espèces pélagiques** occupent la colonne d'eau. On en distingue deux types :

- les **organismes nectoniques** (necton) qui ont la capacité natatoire de contrer les courants marins.
- les **organismes planctoniques** (plancton) qui n'ont pas la mobilité suffisante pour contrer les courants marins.

Le domaine pélagique est subdivisé en fonction de sa profondeur, on parle alors d'étagement (Fig. 4). En partant de la surface vers le fond on rencontre les étages suivants : épipélagial, mésopélagial, bathypélagial, abyssopélagial, hadopélagial. Le **pleustal** est l'espace délimitant l'eau de l'air.

La colonne d'eau est appelée **province néritique** lorsqu'elle est proche du littoral (jusqu'au talus continental). Au delà de cette limite on parle de la **province océanique**.

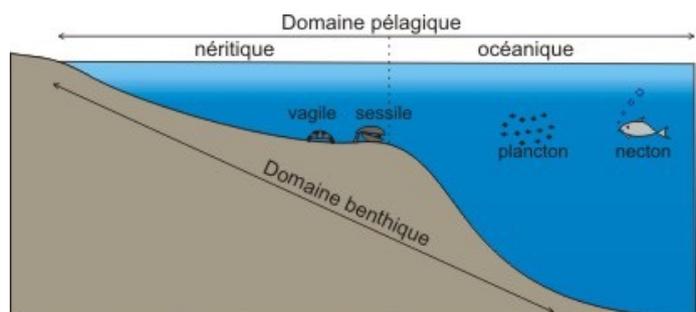


Figure 3 : domaines et provinces marines  
d'après : [www.ulb.ac.be/sciences/dste/sediment/Paleonto/Introduction.html](http://www.ulb.ac.be/sciences/dste/sediment/Paleonto/Introduction.html)

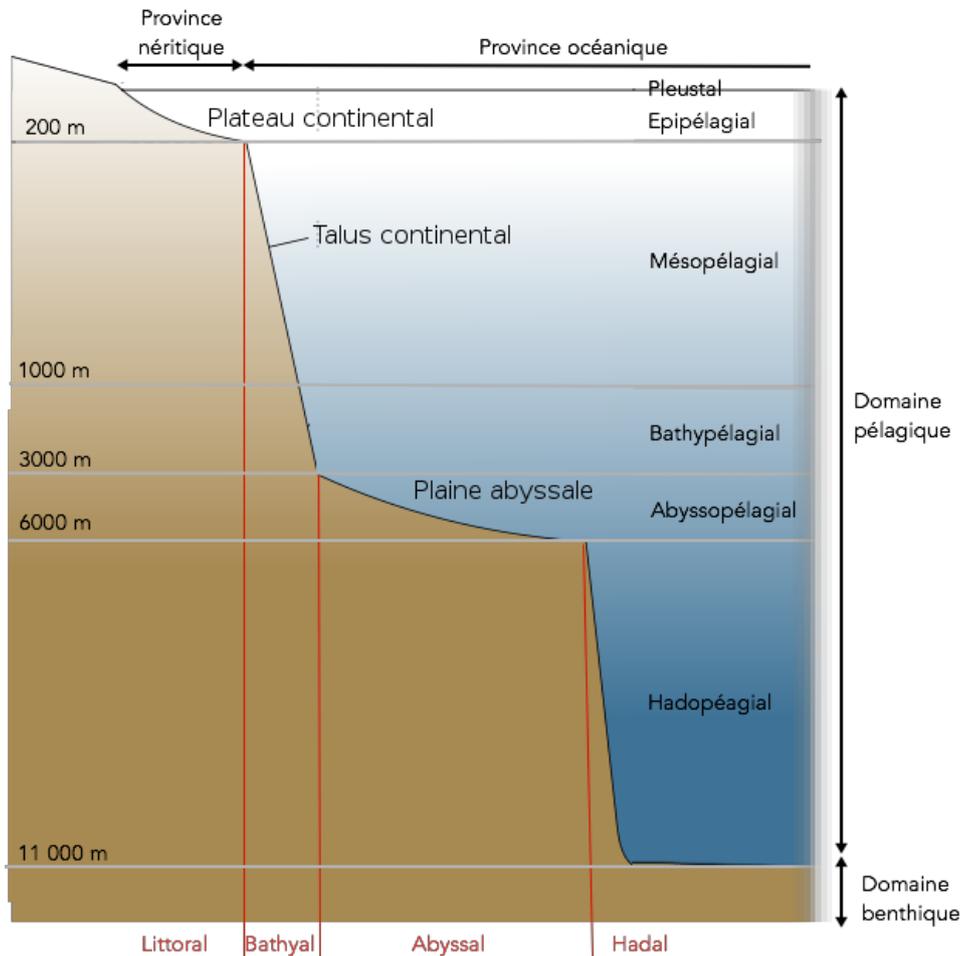


Figure 4 : étagement de l'océan (d'après [www.vdsciences.com](http://www.vdsciences.com))

### 3. Retour sur la terre ferme ... enfin plus ou moins

Une des caractéristiques de la région côtière est la rencontre entre l'eau salée et l'eau douce. C'est la rencontre de ces deux eaux qui favorise la formation de la vase<sup>4</sup>. En eau douce, les particules de limon de charge négative se repoussent. En eau saumâtre<sup>5</sup>, lorsque l'eau de mer rencontre l'eau douce, les **cations** (ions de charge positive) contenus dans l'eau salée neutralisent cet effet de répulsion en réduisant la proposition de charges positives. Le force d'attraction domine et la floculation<sup>6</sup> (Fig. 5) se produit dès que les particules d'argile sont suffisamment

<sup>4</sup> La **vase** est un sédiment meuble à forte teneur en eau, riche en particules de diamètre inférieur à quelques dizaines de micromètres.

<sup>5</sup> Une **eau saumâtre** est mi-douce mi-salée.

<sup>6</sup> La **floculation** est le processus physico-chimique au cours duquel des matières en suspension dans un liquide s'agglomèrent pour former des particules plus grosses, généralement très poreuses, nommées floes. Les **floes** sédimentent généralement beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés.

proches les unes des autres. Leur rapprochement est favorisé par l'agitation de l'eau. Lorsque les agglomérats (**flocs**) de particules sont suffisamment lourds, ils sédimentent (Fig. 6).

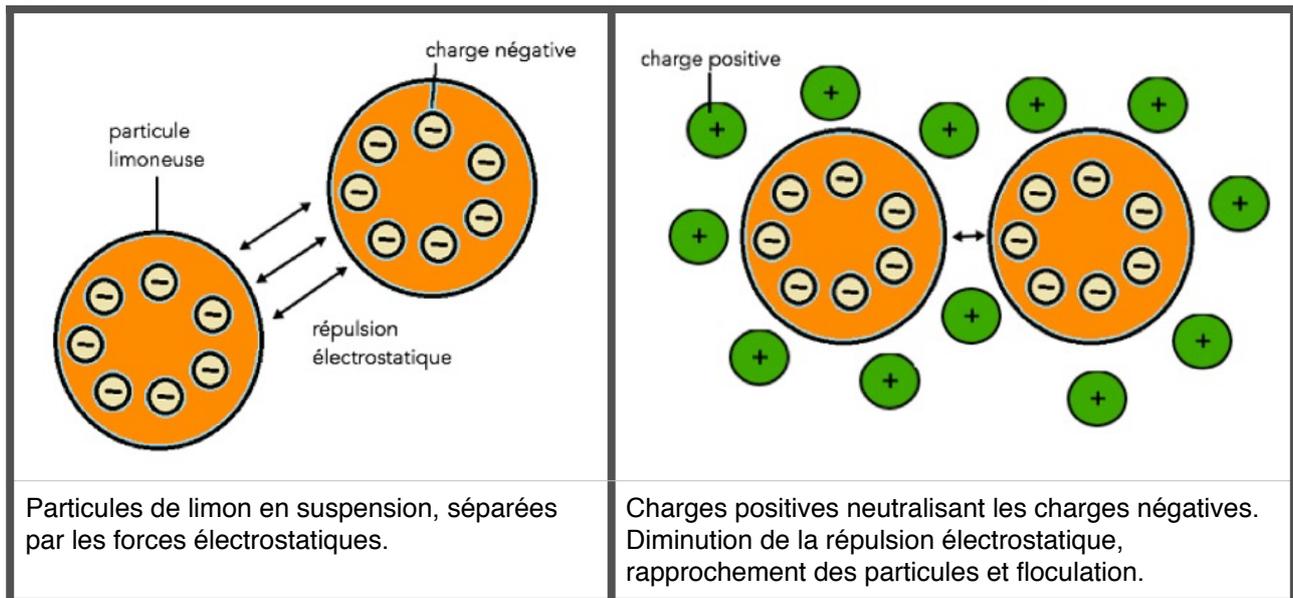


Figure 5 : principe de floculation

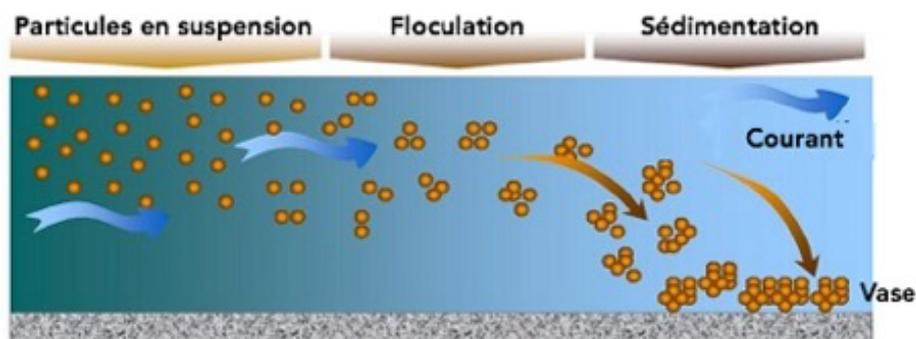


Figure 6 : formation de la vase (adapté de [www.ewisa.co.za](http://www.ewisa.co.za))

Deux types de vasières peuvent se former sur le littoral : les **vasières d'estuaire** et les **vasières de la frange littorale**.

A. Les **vasières d'estuaire**, comme leur nom l'indique, se forment au niveau d'un estuaire<sup>7</sup>. L'eau douce du fleuve chargée en limon y rencontre l'eau de mer salée et riche en cations. La floculation peut alors opérer. Les flocs sédimentent et la vase se forme. Les vasières d'estuaire (Fig. 7 et 8) sont caractérisées par une dichotomie frappante: en aval la **slikke** (*slijk = boue*) et en amont le **schorre** (*schor = pré salé*). La durée d'émersion influence la distribution des organismes sur différents niveaux.

- La **slikke** est la partie de la vasière qui est recouverte à chaque marée. Elle est principalement composée de vases molles. Elle abrite une grande quantité de bactéries.
- Le **schorre** ou **pré salé** est la partie haute de la vasière qui est recouverte uniquement lors des pleines mers de vives-eaux.

<sup>7</sup> Un **estuaire** est la portion de l'embouchure d'un fleuve où l'effet de la mer ou de l'océan dans lequel il se jette est perceptible.

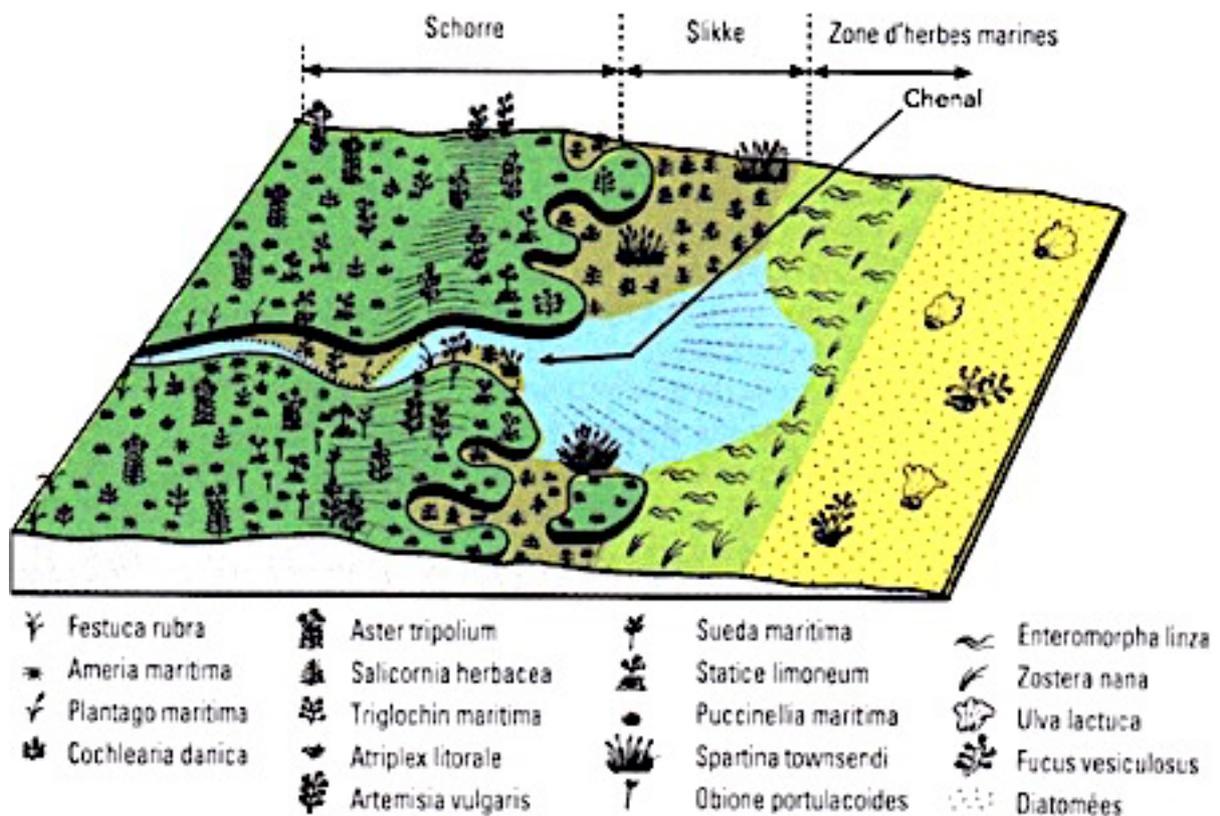


Figure 7 : zonation végétale des vasières d'estuaire (d'après Heinrich et Hergt, 1993)

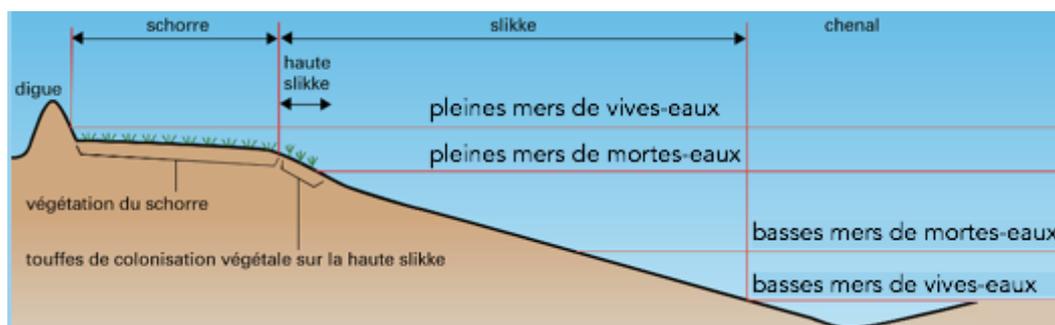


Figure 8 : coupe longitudinale de vasière d'estuaire. Position du schorre, de la slikke et du chenal<sup>8</sup>.

B. Les **vasières de la frange littorale (= côtes vaseuses)** se forment dans des zones de faible profondeur, étendues sur de grandes surfaces (faible dénivelé) et où les eaux sont troubles. La faible profondeur (1) fait perdre l'énergie à la houle<sup>9</sup> à l'entrée de la zone et (2) engendre de faibles courants de marée<sup>10</sup>. Tout ceci concourt à la formation de la vase et à son dépôt (Fig. 9).

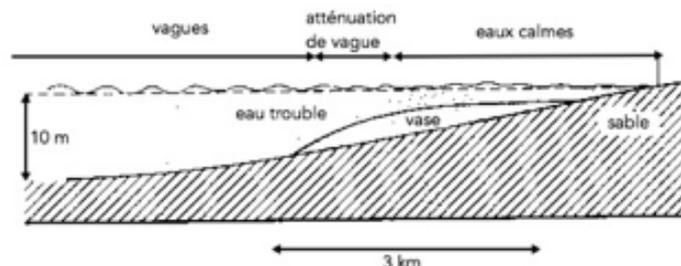


Figure 9 : formation des côtes vaseuses (adapté de <http://hmf.enseiht.fr>)

<sup>8</sup> Un **chenal** est un sillon allongé, creusé dans un dépôt en cours de sédimentation, par un courant.

<sup>9</sup> La **houle** est un mouvement ondulatoire de la surface de l'eau généré par des vents lointains.

<sup>10</sup> Le **courant de marée** est un déplacement d'eau généré par le phénomène de marée.

## 4. Promenons-nous dans les dunes .... les systèmes dunaires

Ce sont des zones parallèles au littoral, dont les limites varient régulièrement et qui se succèdent de la **plage** jusqu'à la forêt. On distingue successivement : le **haut de plage**, l'**avant-dune**, la **dune blanche**, la **dune semi-fixée**, la **dune grise**, les **fouffrés** et la **dune boisée**.

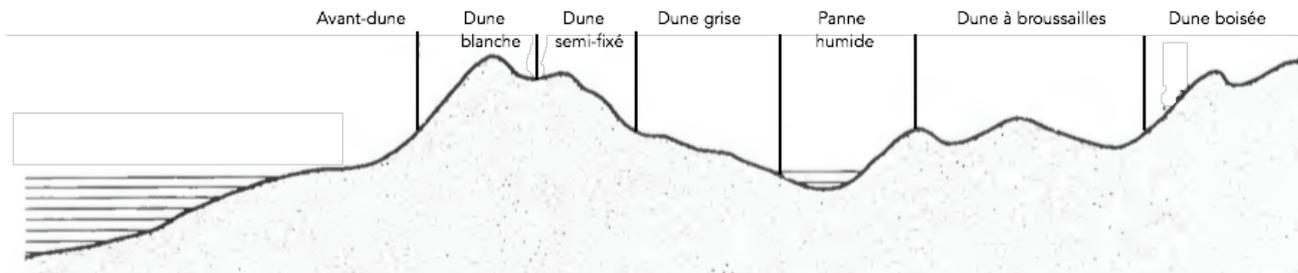


Figure 10 : transect<sup>11</sup> dunaire

Chacune de ces zones se distingue par une forme et une végétation caractéristiques :

- l'**avant-dune** (= **dune verte** = **dune embryonnaire**) : végétation pionnière des hauts de plage s'installant sur une dune en formation ou à la base d'une dune mobile, dominée par des peuplements clairsemés (sable apparent). Cette dune est normalement éphémère. Elle est soit balayée par les vagues de tempête ou elle se transforme en un autre type de dune.
- la **dune blanche** (= **dune jaune**) : mobile, colonisée par l'oyat, plante fixatrice à laquelle s'associent d'autres espèces. Elle est caractérisée par des formes de déflation<sup>12</sup> et des zones d'accumulation marquées.
- la **dune semi-fixée** : caractérisée par une accumulation moindre des sables soufflés par les vents (ces derniers étant majoritairement arrêtés par la dune blanche) et le développement d'une végétation dense en tapis.
- la **dune grise** : la végétation y est rase évoluant peu à peu vers une pelouse constituée d'un tapis dense de mousses, lichens et petites herbacées. Le sable commence à se fixer. Le milieu est sec.
- la **dune à broussaille** (= **fouffrés**) et la **dune boisée** (= la **dune brune**) : la pelouse est progressivement remplacée par des prairies enrichies d'espèces pré-forestières (saule des dunes, rosiers), puis par des buissons et fouffrés (ajonc, prunelliers), arbustes (espèces consolidatrices succédant aux fixatrices, du type argousier, églantier, sureau, troène...), voire un boisement littoral.

Les dunes embryonnaires et les dunes blanches sont qualifiées de **dunes vives** car elles se déplacent. Evidemment, pas toutes seules mais sous l'action du vent.

Pendant les tempêtes, la dune blanche recule vers l'intérieur des terres et pendant les accalmies, les végétaux de la dune grise progressent vers la côte.

<sup>11</sup> Un **transect** (diagramme en profil) est une ligne virtuelle qui montre le profil du terrain ainsi que la végétation.

<sup>12</sup> La **déflation** est un processus éolien d'érosion qui affecte les sédiments meubles. Les particules fines (limon, sable, voire des graviers) sont arrachées par le vent.

Les dunes flamandes se caractérisent par une forme tout à fait particulière dite "parabolique"(Fig. 11). Cette forme est générée par l'orientation des vents dominants (vents d'Ouest) qui sont presque parallèles à la côte. A l'arrière d'une parabole se trouve une zone dépressionnaire où le vent décape le sable jusqu'à faire apparaître l'eau de la nappe phréatique<sup>13</sup>. Ces zones sont appelées **pannes**.

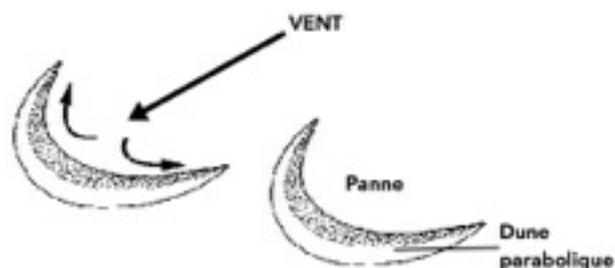


Figure 11 : formation des dunes paraboliques (adapté de www.fao.org)

## 5. Retour sur la plage

Une **plage** est une rampe (zone plate et inclinée) développée au niveau du rivage et jusqu'aux profondeurs où la houle est capable de remaniement (plages sous-marines).

Il existe différents types de plages en fonction de la taille des matériaux qui la composent.

- Les **plages sableuses** sont des zones de dépôts dont les grains sont compris entre 0,063 et 2 mm. En-dessous de 0,063 mm, on parle de limon et au-dessus de 2 mm on parle de gravier.
- Les **plages à graviers et galets** sont des zones de dépôts dont les grains sont compris entre 2 et 256 mm. La différence entre gravier et galet réside dans leur forme. Les galets ont subi une usure mécanique et sont donc « arrondis » alors que les graviers ne le sont pas.



Graviers



Galets

Il existe un vocabulaire qui permet de décrire la morphologie d'une plage (Fig. 12 et 13). On y distingue :

- le **haut de plage** avec sa **crête** et ses **gradins**. On y trouvera notamment la **laisse de mer**<sup>14</sup>.
- le **bas de plage** avec les **ripple-marks**, les **bâches** et les **chenaux**.

<sup>13</sup> Une **nappe phréatique** est une masse d'eau contenue entre interstices (ex. grains de sable) du sous-sol. A ne pas confondre avec des lacs souterrains qui sont des grottes contenant de l'eau.

<sup>14</sup> La **laisse de mer** correspond à ce que l'océan laisse sur la plage après une marée haute. Elle est composée des débris organiques que la mer dépose sur la plage : algues (70 à 80%), coquillages, morceaux de bois, restes d'animaux...

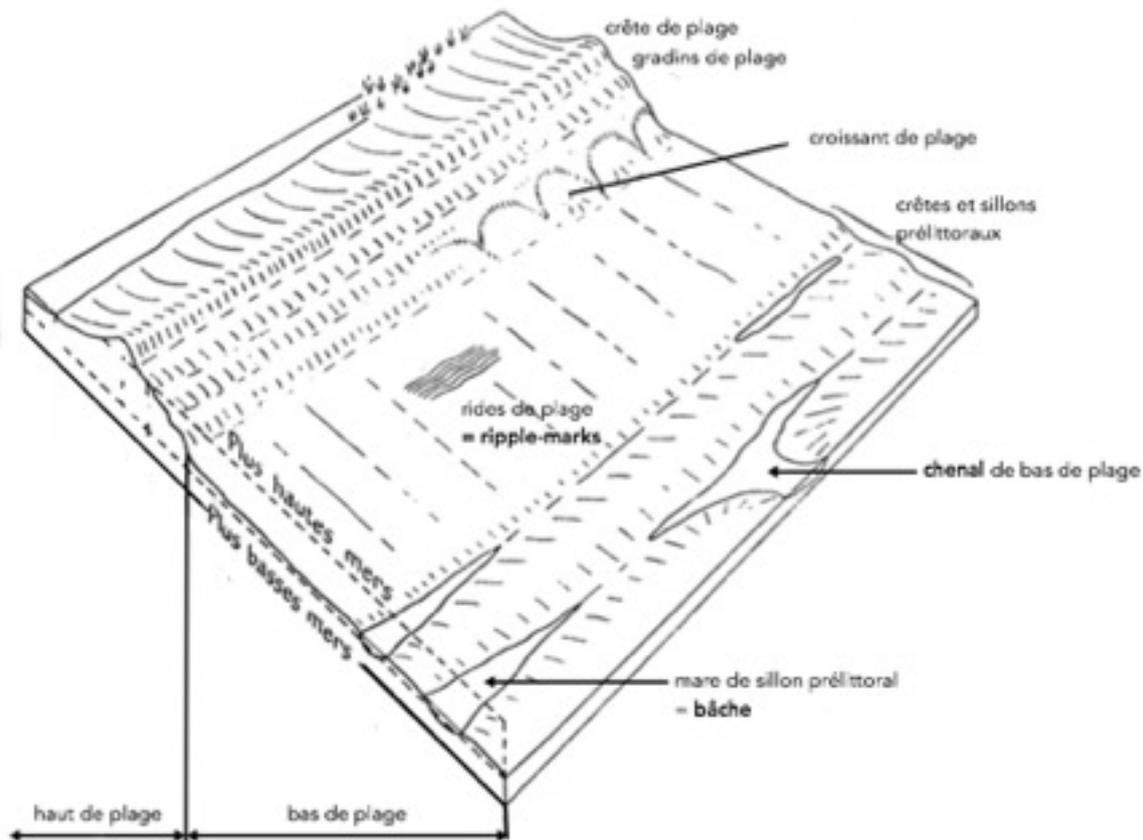


Figure 12 : morphologie d'une plage (adapté de Guincher, 1954)

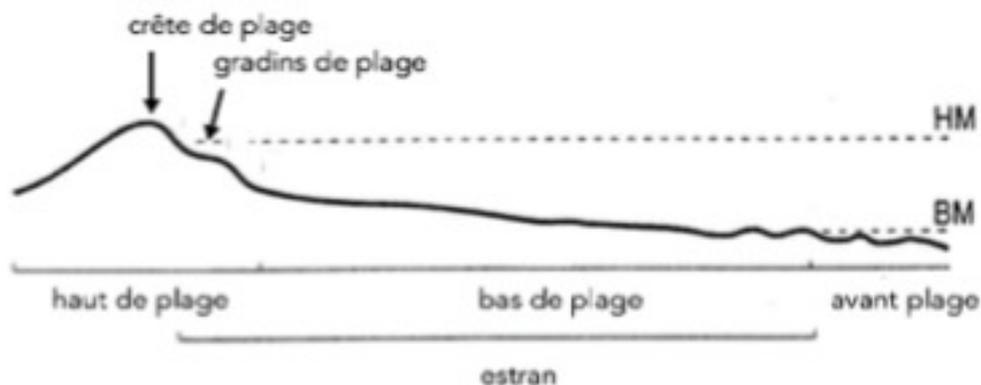


Figure 13: profil de plage (adapté de Pirazzoli, 1993)

Les plages décrites ci-dessus se trouvent sur des côtes à sédiments meubles. Les côtes rocheuses et les falaises sont généralement hautes et escarpées sans véritable plage. Les matériaux qui les composent peuvent être d'origines diverses : granite<sup>15</sup>, basalte<sup>16</sup>, argile<sup>17</sup>, calcaire<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> Le **granite** est une roche métamorphique (issu de la transformation à l'état solide de roches sédimentaires ou magmatiques) et acide (riche en silice) caractérisée par sa constitution en minéraux (quartz, feldspaths, plagioclases, micas) généralement discernable à l'oeil nu.

<sup>16</sup> Le **basalte** est une roche magmatique (issue d'un magma) et acide.

<sup>17</sup> L'**argile** est une roche sédimentaire à grains fins de structure lamellaire et riche en silicates.

<sup>18</sup> Le **calcaire** est une roche sédimentaire constituée principalement de calcite.

## 6. L'étagement vertical de la flore et la faune marines sur l'estran

Plusieurs facteurs vont déterminer l'étagement vertical de la flore et la faune marines :

- l'intensité de lumière (pour la flore)
- la durée d'immersion et/ou d'émersion (durée d'exondation<sup>19</sup>)
- le type de substrat
- l'hydrodynamisme (exposition aux vagues)

Au rythme des marées, les organismes sont soumis à une alternance d'immersion et d'émersion. Les espèces vont donc se répartir en fonction de leur capacité à résister à l'immersion et/ou à l'émersion sur des périodes plus ou moins longues. Cet étagement sera différent en fonction du type de substrat (meuble ou rocheux).

A. Le **substrat dur des côtes et bas-fonds<sup>20</sup> rocheux** offre un support solide aux organismes adhérents (flore algale et une faune fixée). Le gradient des différentes conditions abiotiques (durée d'exondation, température, salinité, luminosité, ...) fait apparaître une zonation évidente en particulier pour la flore.

Sur ces zones rocheuses, l'influence des vagues est très importante. On distingue donc le **mode battu** et le **mode abrité** (Fig 14).

Sur ce type de littoral, il n'est pas rare de trouver des **cuvettes**. Ces cuvettes sont des milieux particuliers car on peut y observer une remontée d'organismes normalement confinés à des niveaux plus bas. Ce phénomène est facilement observable au niveau des algues. En fonction de leur profondeur et de leur position sur l'estran, les cuvettes abritent des espèces différentes (Fig. 15).

Outre le gradient de la durée d'exondation, les deux gradients les plus déterminants dans cette zonation sont les gradients thermique et de salinité.

- **Gradient thermique** : les cuvettes sont soumises à de fortes variations de température. En été, une petite quantité d'eau peut chauffer très rapidement à 40°C mais lorsque la mer remonte, la température chute brusquement. En hiver, ces cuvettes vont se refroidir très vite au contact de l'air ambiant.
- **Gradient de salinité** : la salinité des cuvettes peut varier en fonction des conditions météorologiques. En été, en plein soleil, l'évaporation peut mener à une salinité très élevée. Au contraire, s'il pleut, la salinité diminue par dilution puis augmente brusquement à marée haute.

Pour résumer, la sévérité des contraintes est de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on remonte l'estran.

---

<sup>19</sup> L'**exondation** est le retrait de l'eau.

<sup>20</sup> **Bas-fond** = endroit de la mer peu profond par surélévation du fond marin, mais sur lequel la navigation est possible ; par opposition à **haut-fond** qui vient jusqu'à fleur d'eau et sur lequel il est dangereux de naviguer.

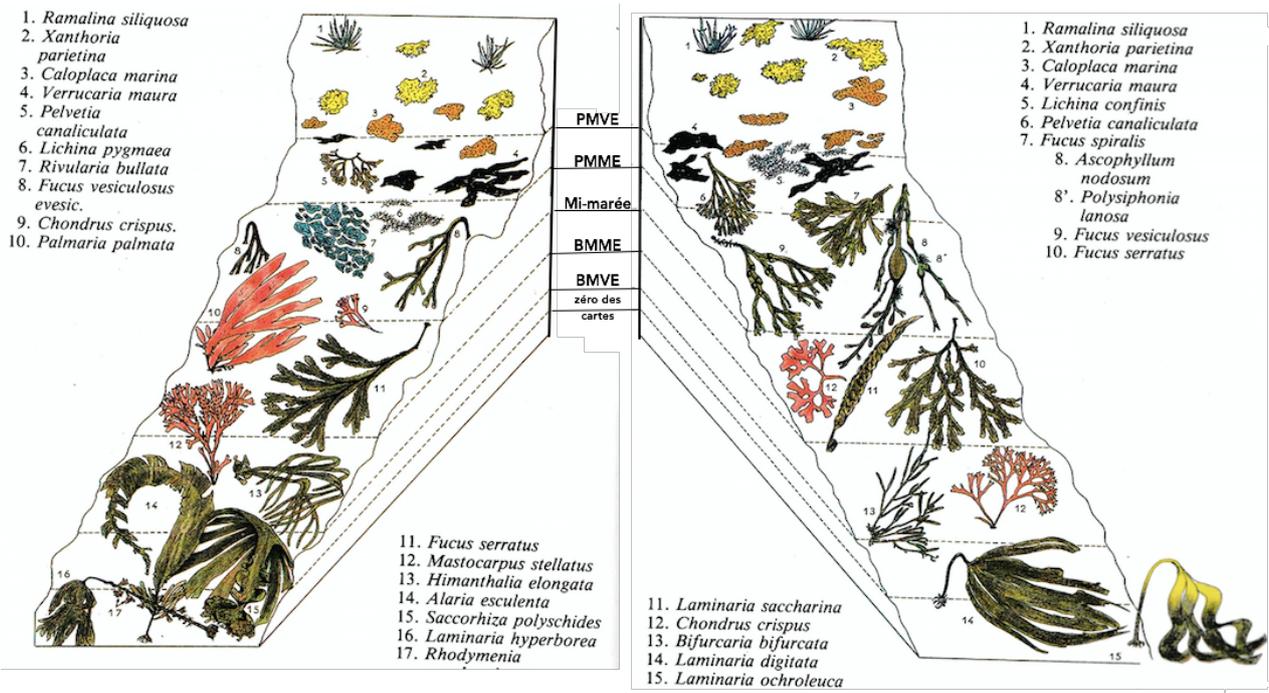
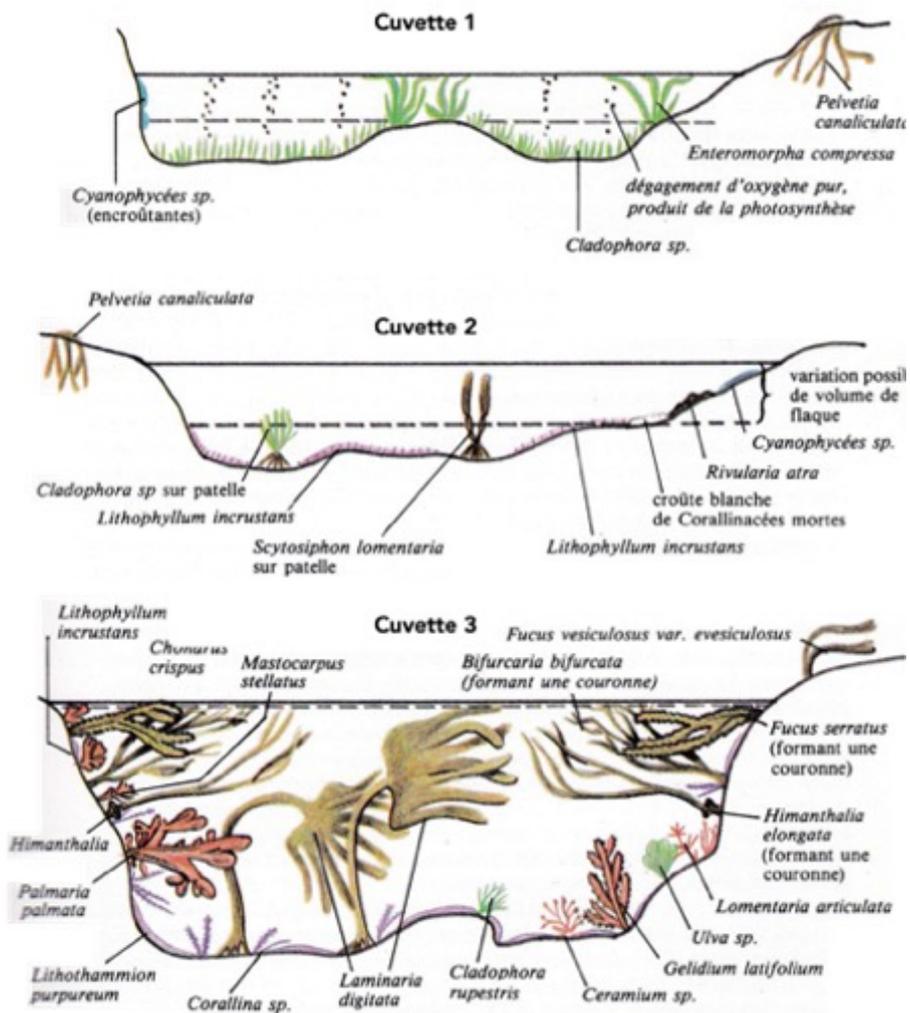


Figure 14 : étagement vertical de la végétation marine en Atlantique (d'après Perret, 1992)



PMVE - Pleine mer de vives-eaux, PMME - pleine mer de mortes-eaux, BMME - basse mer de mortes-eaux, BMVE - base mer de vives-eaux, zéro des cartes.

Figure 15 : étagement vertical du peuplement des cuvettes en milieux rocheux (d'après Perret, 1992)

B. Le **substrat meuble des côtes et des bas-fonds sablonneux et/ou vaseux**, qui en raison de sa structure et de sa mobilité, n'est pas capable de supporter des organismes fixés. Dans ces substrats meubles, rares sont les espèces qui, à basse mer, restent en surface. La quasi-totalité des animaux restent enfouis dans le substrat. La couche de substrat assure une isolation efficace contre les variations des conditions abiotiques. Par exemple, quand la température en surface varie de plus de 30°C, l'amplitude de la variation est inférieure à 10°C à 10 cm de profondeur et elle est négligeable au-delà de 20 cm.

La végétation se développe difficilement sur ces substrats. Il y a cependant des exceptions :

- les algues vertes à croissance rapide (*Enteromorpha* sp., *Ulva* sp., *Chaetomorpha* sp.) qui colonisent des substrats meubles et compacts à la belle saison.
- les **herbiers marins** qui sont des prairies sous-marines poussant dans la plupart des mers du globe. Ils sont composés de plantes à fleurs (Angiospermes) et non d'algues. En Europe, ces plantes appartiennent aux familles suivantes : Zosteraceae et Posidoniaceae.

On y trouve une zonation (Fig. 16) en fonction de la profondeur (luminosité) et de la position sur l'estran (durée d'exondation) mais aussi en fonction de la nature du substrat : vaseux - mixte - sableux.

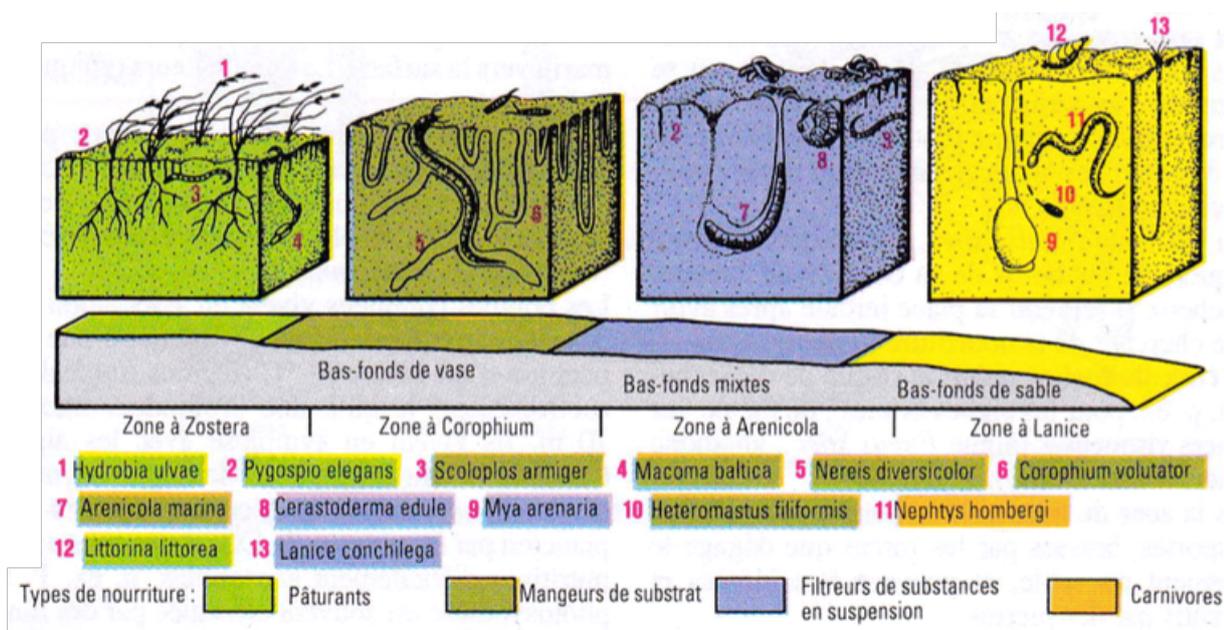


Figure 16 : zonation sur les bas-fonds meubles (d'après Heinrich et Hergt, 1993)

## 7. Caractéristiques de l'eau de mer

- A. La **salinité** est un des paramètres les plus importants de l'eau de mer, et désigne la teneur en sels dissous. On distingue l'**eau douce** (salinité < 1 g/l), l'**eau saumâtre** (1 g/l < salinité < 10 g/l) et l'**eau salée** (salinité > 10 g/l). La salinité moyenne des océans est de 35 g/l, et reste généralement comprise entre 30 g/l (Atlantique nord) et 40 g/l (mer Rouge). Le premier facteur qui détermine la salinité est le bilan évaporation - précipitation<sup>21</sup>.

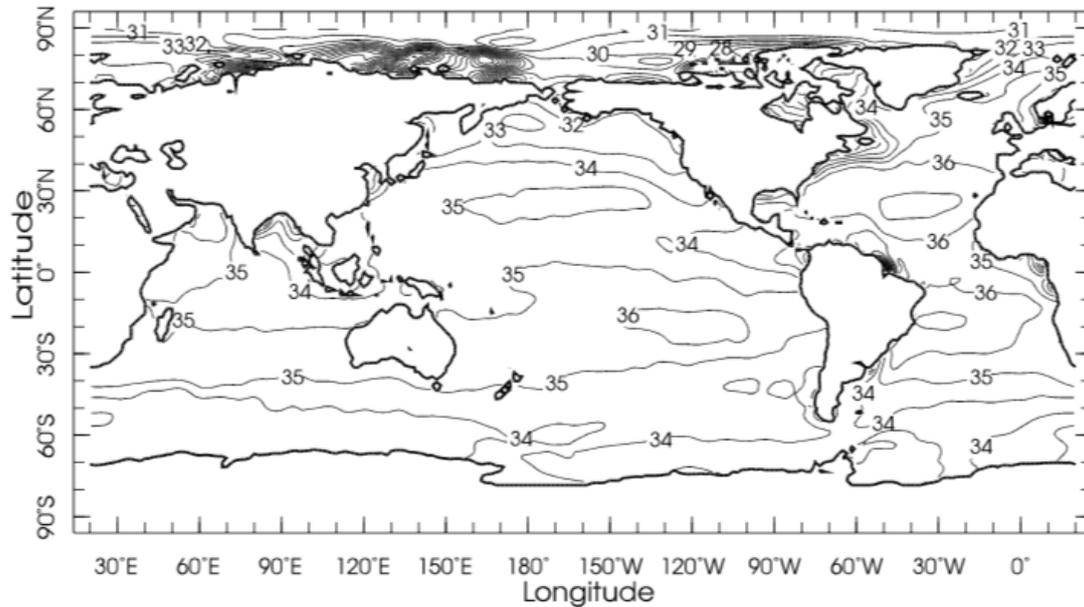


Figure 17 : Salinité de surface exprimée en g/l (d'après <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/>)

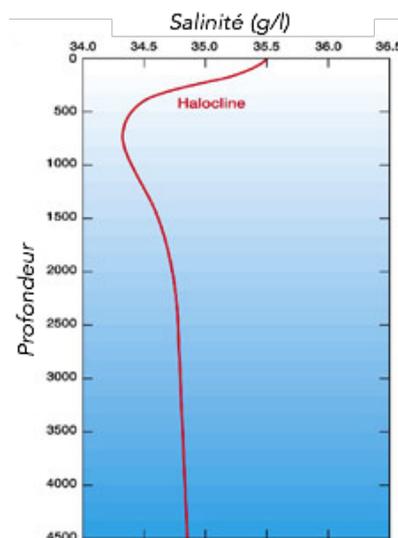


Figure 18 : Exemple d'halocline  
(d'après [www.hurricanescience.org/science/basic/water/](http://www.hurricanescience.org/science/basic/water/))

La salinité varie avec la profondeur mais pas nécessairement de façon linéaire. Il existe des « cassures » appelées haloclines. Dans ces zones le gradient de salinité est très fort.

<sup>21</sup> Les **précipitations** sont les eaux qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle).

On considère l'eau de mer comme une solution de 11 constituants majeurs dans de l'eau pure, à savoir, par ordre décroissant d'importance, le chlorure, l'ion sodium, le sulfate, l'ion magnésium, l'ion calcium, l'ion potassium, le bicarbonate, le bromure, l'acide borique, le carbonate et le fluorure. Même lorsque la salinité change, le rapport entre les différents constituants reste pratiquement invariable .

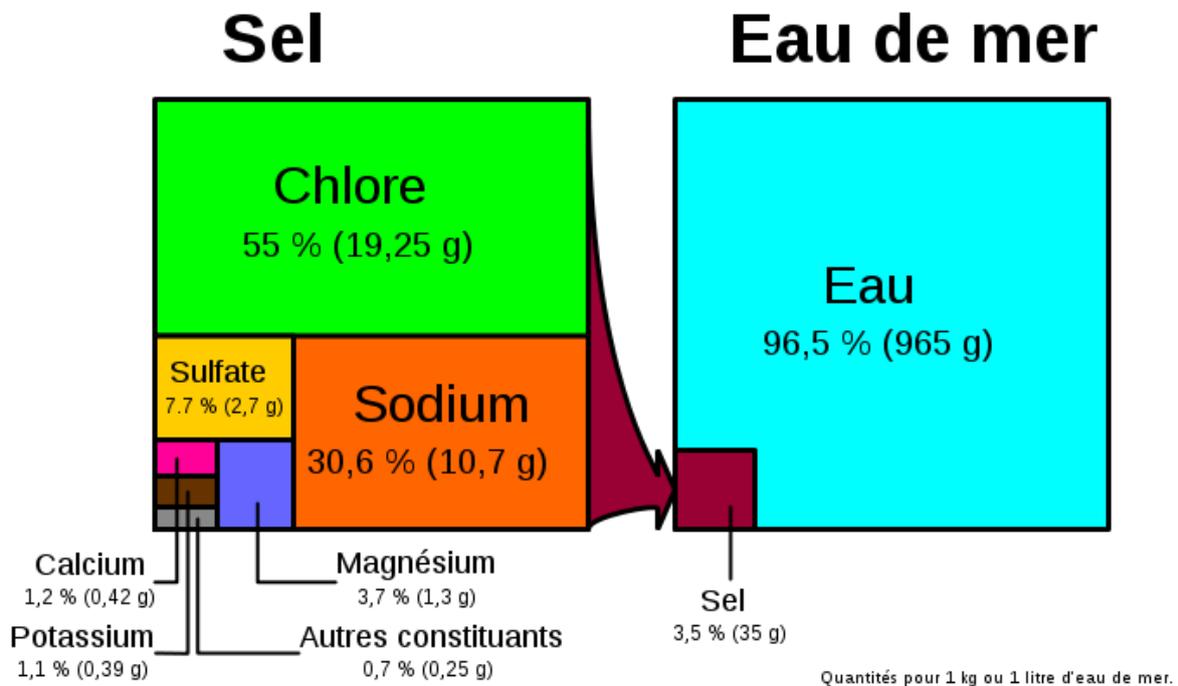
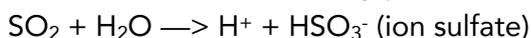
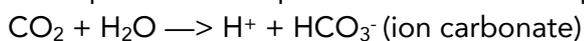


Figure 19 : composition de l'eau de mer (d'après wikipedia)

L'eau de mer est salée mais pourquoi ?

Il y a 3,5 milliards d'années, l'atmosphère terrestre était riche en vapeur d'eau, en dioxyde de carbone et en dioxyde de soufre. Ces gaz, dégagés par les volcans, ont provoqué des réactions chimiques avec la vapeur d'eau selon les équations-bilans suivantes :



Les acides (ions en -ate), transportés par les pluies jusqu'au sol ont érodé les roches. Des ions (Cl<sup>-</sup>) ont alors ruisselé jusqu'à l'océan où ils se sont associés à ceux déjà présents dans l'eau de mer (Na<sup>+</sup>). Les premiers organismes photosynthétiques (cyanobactéries) ont accentué ce phénomène en produisant du dioxygène. Le dioxygène augmente également l'acidité ambiante qui elle-même favorise la formation d'ions carbonates qui à leur tour ont attaqué les roches et en ont extrait des Cl<sup>-</sup>. Le cycle de l'eau a ensuite concentré ces ions dans les mers. En effet, l'eau s'évapore mais pas les sels, ceux-ci restent donc piégés dans les océans et les mers.

B. La **température** de l'eau des océans est dépendante de la latitude mais également de la profondeur. Le soleil frappant la surface des mers et des océans en réchauffe la couche d'eau superficielle. La houle permet de distribuer la chaleur de manière à peu près uniforme sur les premières dizaines de mètres de profondeur. En surface, la température des océans varie de  $-1,9^{\circ}\text{C}$  à  $30^{\circ}\text{C}$  ( $-1,9^{\circ}\text{C}$  étant la température de congélation de l'eau de mer pour une salinité de  $35\text{ g/l}$ ). A  $4000\text{ m}$  de profondeur, elle varie entre  $0$  et  $2,5^{\circ}\text{C}$ .

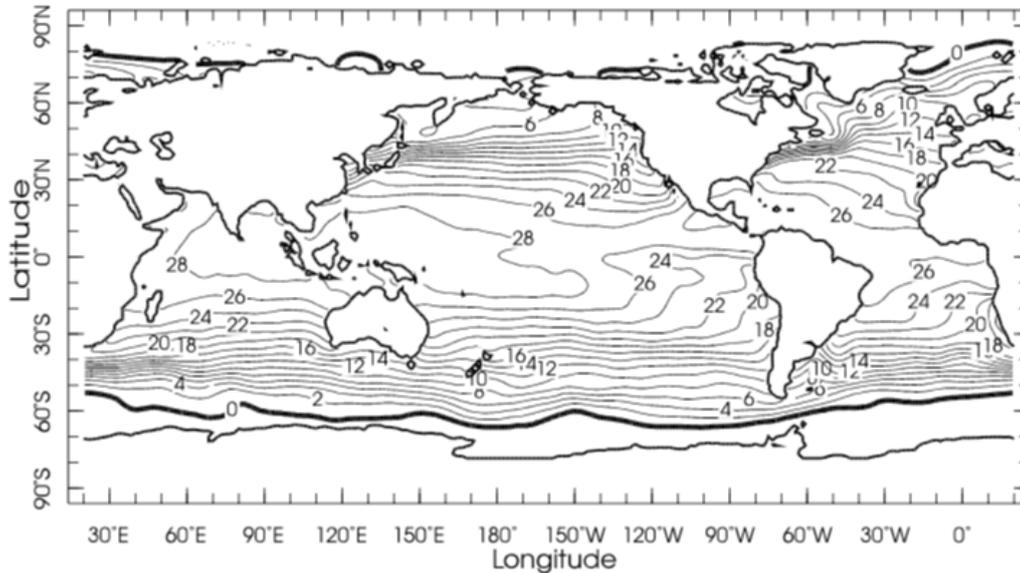


Figure 19 : température de surface exprimée en  $^{\circ}\text{C}$  (moyenne annuelle)  
(d'après <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/>)

Si les mouvements de convection ou de brassage sont faibles, la couche supérieure, moins dense et plus chaude, flotte littéralement sur la couche froide sous-jacente. Sous cette couche, la température chute très rapidement, d'environ  $20^{\circ}\text{C}$  en général. La fine couche de transition est appelée **thermocline** (Fig. 20). Sous la thermocline, la température continue de chuter avec la profondeur mais de manière beaucoup moins prononcée. L'amplitude de ces thermoclines varie en fonction de la latitude.

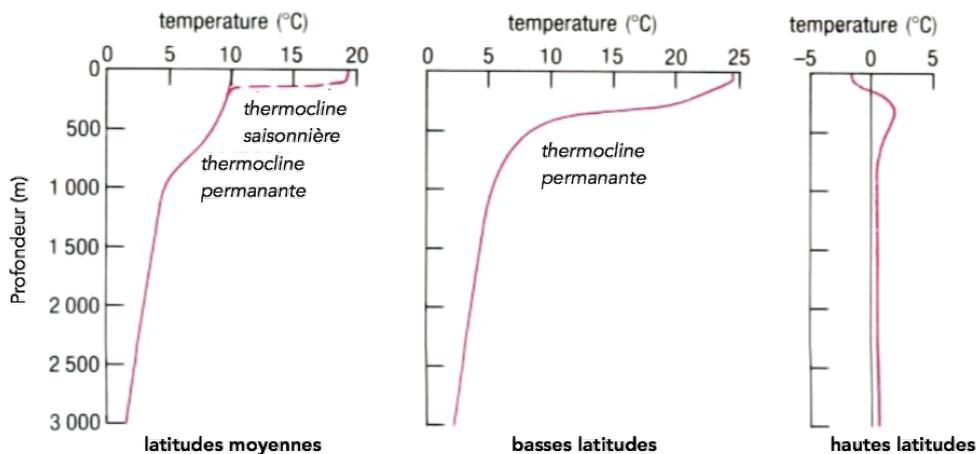


Figure 20 : Exemples de thermoclines (adapté de [www.emse.fr](http://www.emse.fr))

L'eau au-dessus de la thermocline est généralement plus oxygénée que sous la thermocline (anoxiques et parfois plus salées). L'impact sur la faune peut donc être très important et jouer le rôle d'une véritable barrière séparant deux écosystèmes.

C. La **densité** de l'eau est influencée par la salinité mais également par la température. La densité d'une masse d'eau déterminera quant à elle sa position verticale (profondeur). L'eau est une des rares substances qui présente un coefficient de dilatation négatif dans un certain domaine de température (Fig. 21). En passant de 0°C à 3,98°C, l'eau se contracte (sa masse volumique augmente). Au-delà de cette température, sa masse volumique diminue en fonction de la température.

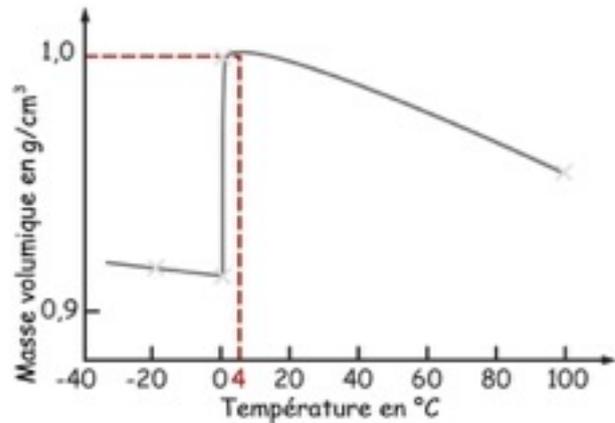


Figure 21 : Masse volumique de l'eau pure en fonction de la température.

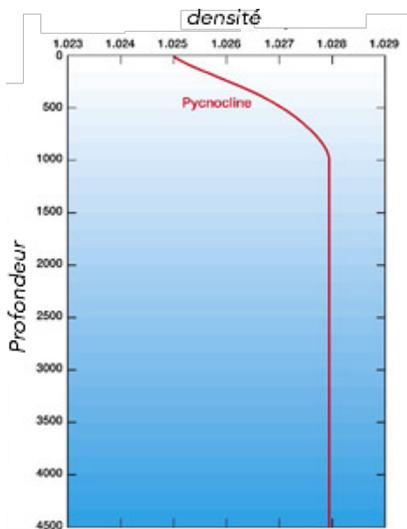


Figure 22 : exemple de pycnocline (d'après [www.hurricanescience.org/science/basic/water/](http://www.hurricanescience.org/science/basic/water/))

La densité de l'eau en surface dépend elle aussi de la température et de la salinité. La température de surface est elle-même déterminée par le rayonnement solaire donc la latitude (Fig. 23) et la salinité est déterminée par le bilan évaporation-précipitation.

En résumé, plus la profondeur augmente et plus l'eau est dense en raison de sa température et de sa salinité.

Comme il existe des haloclines et des thermoclines, il existe des variations brutales en fonction de la densité, nommées **pycnoclines** (Fig. 22).

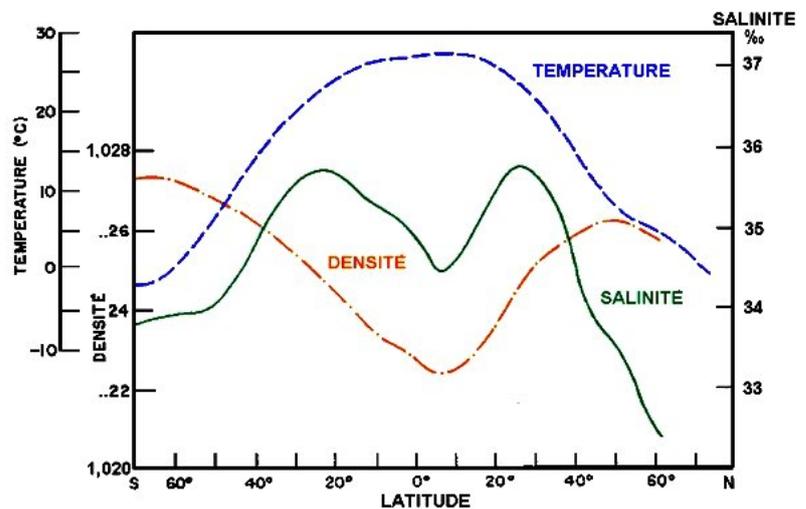


Figure 23 : variation de la température, la salinité et la densité des eaux océaniques de surface en fonction de la latitude. (d'après [www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/oceano/oceano.htm](http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/oceano/oceano.htm))

D. On distingue deux types de **glace océanique** : les **icebergs**, constitués d'eau douce résultent de l'écoulement des glaciers<sup>22</sup> polaires vers la mer. Les **banquises** sont produites par la congélation de la surface de la mer.

La température du maximum de densité de l'eau pure (4°C) est supérieure à celle de son point de congélation (0°C). Mais la présence de sels abaisse ces températures.

A partir d'une salinité de 24,7g/l la température du maximum de densité est inférieure à celle du point de congélation (Fig. 24).

La salinité des océans étant de l'ordre de 35 g/l, le refroidissement de l'eau de mer s'accompagne donc d'une augmentation de densité jusqu'au changement d'état, contrairement au refroidissement de l'eau douce (Fig. 25).

Ceci explique en partie pourquoi la glace se forme plus facilement sur un lac qu'en mer. Sur un lac, les eaux les plus froides restent en surface et vont donc geler dès que la température devient négative. En mer les eaux refroidies en surface "plongent" et sont remplacées par de l'eau plus chaude. Pour qu'une banquise se forme, il faut donc un refroidissement brutal.

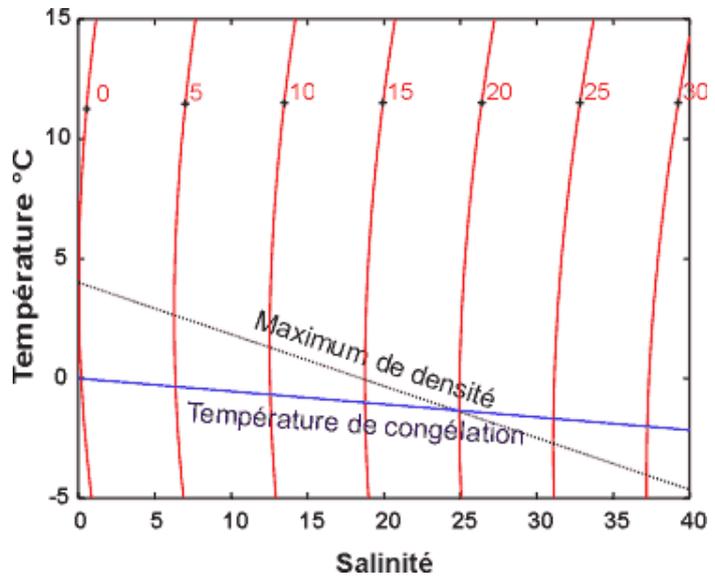


Figure 24 : Influence de la salinité sur le maximum de densité et la température de congélation. Les courbes graduées de 0 à 30 représentent la densité (d'après www.futura-sciences.com)

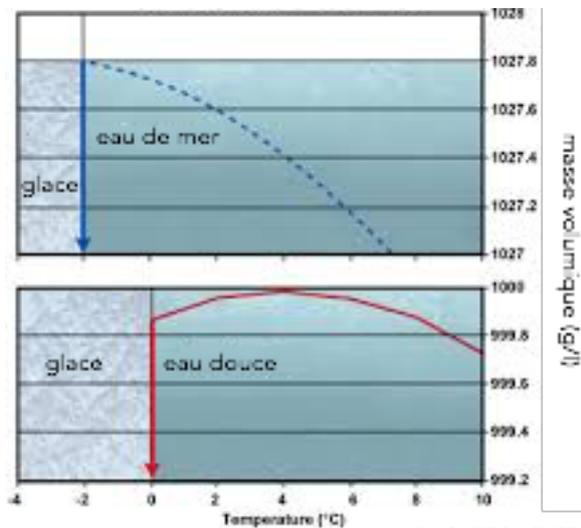


Figure 25 : Comparaison de la relation masse volumique - température de l'eau douce et de l'eau de mer (d'après The COMET program)

<sup>22</sup> Un **glacier** est une masse de glace plus ou moins étendue qui se forme par le tassement de couches de neige accumulées.

E. Le **dioxygène** se dissout dans l'eau par diffusion, jusqu'à un équilibre appelé "saturation". Cette saturation ou solubilité maximale du dioxygène dans l'eau est fonction de la température et de la salinité (Fig. 26). Elle est supérieure dans les eaux douces et froides.

Par exemple, la solubilité de l'O<sub>2</sub> est :

- de 9,1 mg/l dans une eau douce à 20°C,
- de 7,4 mg/l dans une eau de mer à 20°C,
- de 11,3 mg/l dans une eau douce à 10°C.

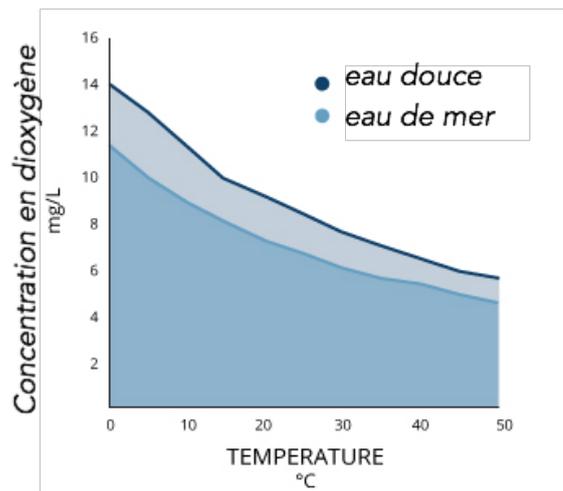


Figure 26 : Comparaison de la concentration en O<sub>2</sub> en fonction de la température en eau douce et en eau salée (d'après www.fondriest.com)

Malgré la basse température des eaux de grande profondeur, la saturation en dioxygène y reste assez faible en raison de leur salinité élevée. Ces eaux sont souvent anoxiques car en plus d'être caractérisées par une faible saturation en dioxygène, elles ne bénéficient pas d'apports en dioxygène atmosphérique. En effet, elles ne sont pas en contact ni brassées avec l'air. De plus, l'absence totale de lumière n'y permet pas la photosynthèse.

F. Le **pH** de l'eau de mer varie entre 7,5 et 8,4 pour une moyenne de l'ordre de 8,2. Le pH de l'eau et la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> sont étroitement liés. Quand le CO<sub>2</sub> est dissout dans l'eau de l'acide carbonique se forme. Celui-ci se dissocie en libérant ses atomes d'hydrogène. Quand son premier atome est libéré, il se forme un ion bicarbonate:



Le pH de l'eau contrôle cette réaction. Si la concentration en H<sup>+</sup> diminue (augmentation de pH), le rééquilibrage de l'équation entraîne une réaction vers la droite et une plus grande quantité d'acide carbonique se dissocie. A l'inverse, une augmentation de la concentration en H<sup>+</sup> (diminution du pH) entraîne une réaction vers la gauche et forme H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> au détriment de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Quand le second atome d'hydrogène de l'acide carbonique est libéré, le bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se transforme en carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> selon : HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ↔ H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

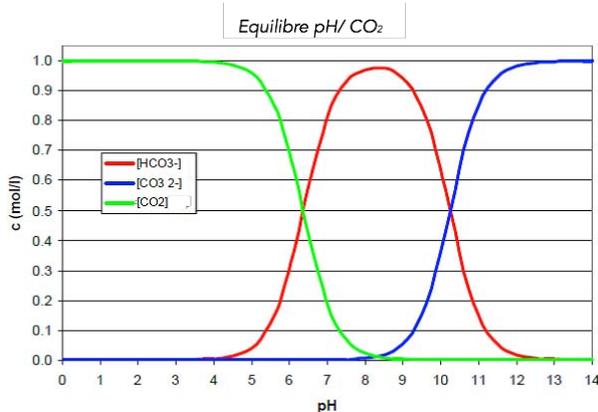


Figure 27 : influence du pH sur les formes de carbone

Pour une concentration en H<sup>+</sup> donnée (pH de l'eau donné), les quantités relatives d'ions carbonates et bicarbonates s'ajustent jusqu'à équilibre (Fig. 27). Un pH > 7, favorise la production des ions carbonates, alors qu'un pH < 7 favorise les ions bicarbonates. La perturbation de cet équilibre, par exemple par la diffusion de CO<sub>2</sub> anthropique de l'atmosphère vers l'océan, changera le pH de l'eau marine.

Lorsque la concentration en  $\text{CO}_2$  atmosphérique augmente ces équilibres sont déplacés et comme le montre la figure 28, moins de carbonate de calcium ou de silicate de calcium sont produits. Or, ces sels sont utilisés par de nombreux organismes entre autre pour constituer leur squelette (oursins, mollusques, coraux...).

#### Carbone dans l'eau

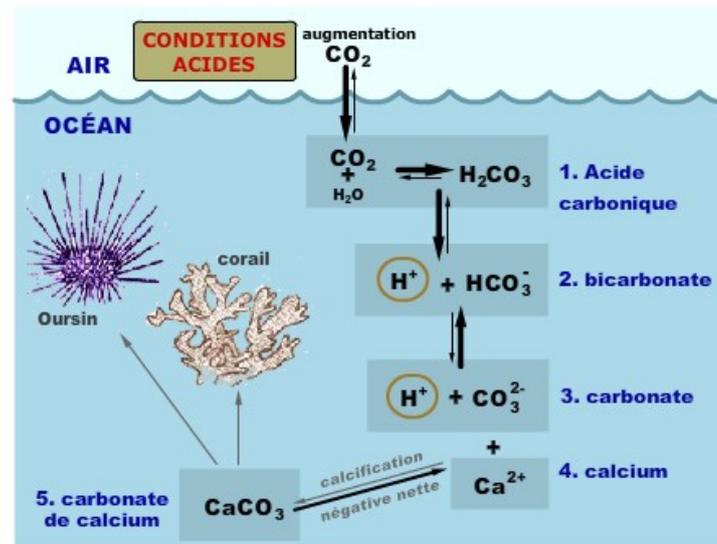


Figure 28 : relation  $\text{CO}_2$  - pH et carbonate de calcium (d'après Foucart S. L'acidification des océans aura d'importantes conséquences pour la biodiversité. Le Monde.fr, 08.10.2014)

#### G. La lumière dans l'océan

(1) Les longueurs d'onde de la lumière visible vont de  $0,4 \mu\text{m}$  (violet) à  $0,7 \mu\text{m}$  (rouge). La lumière en provenance du soleil est atténuée par l'atmosphère avant d'atteindre la surface de l'eau. Sous l'eau, on constate que l'atténuation est considérable, les infrarouges sont absorbés dans le premier mètre et peu de lumière atteint les 100 m (Fig. 29). A 200 m, il n'y a déjà plus assez de lumière pour permettre la photosynthèse. Au delà de 1000 m, c'est la nuit noire.

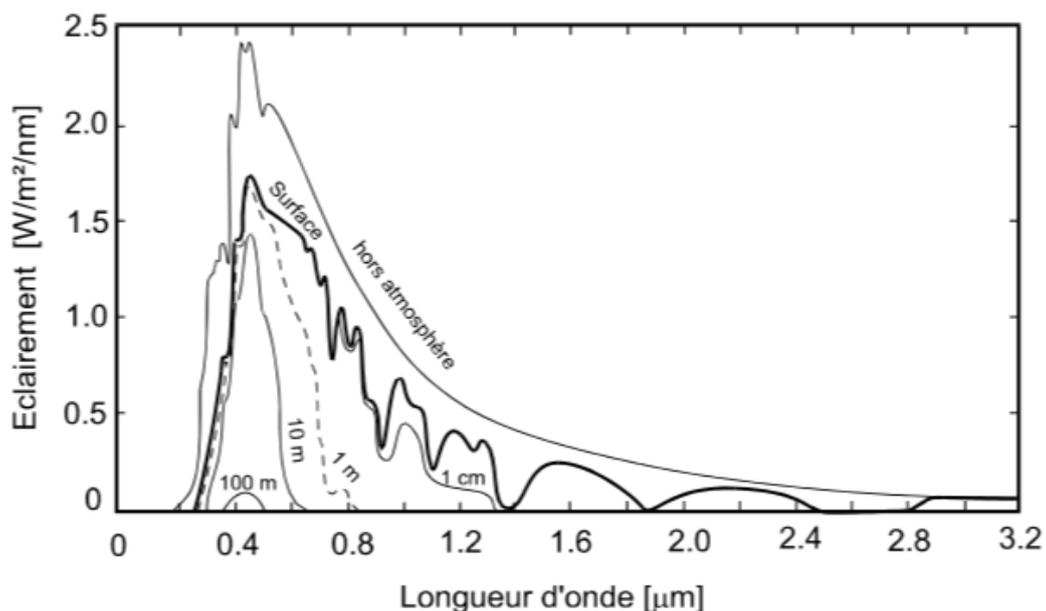


Figure 29 : évolution du spectre de la lumière naturelle dans l'atmosphère et dans l'eau (dans le cas d'une eau limpide d'après <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/>)

Les plantes se développent à des profondeurs auxquelles il leur est possible de réaliser la photosynthèse. Leur capacité à vivre en profondeur dépendra donc des pigments qu'elles possèdent (Fig. 30) et donc de leur spectre d'absorption (Fig. 31).

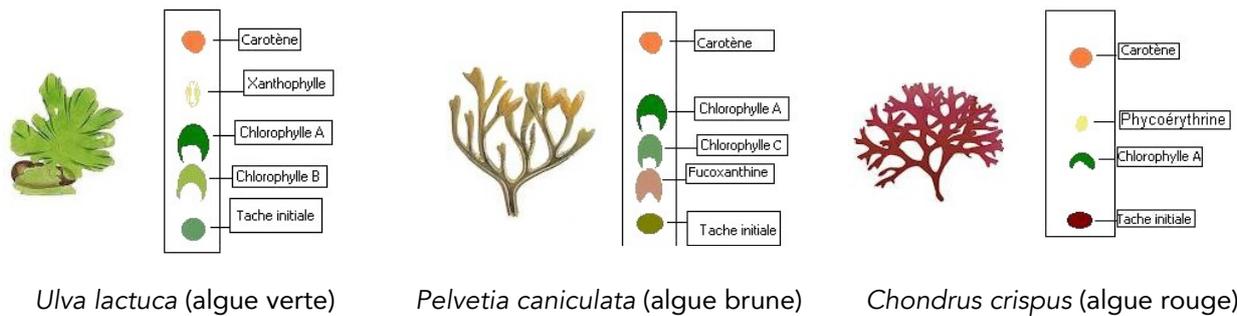


Figure 30: chromatographie révélant les pigments photosynthétiques des algues vertes, rouges et brunes. (d'après [www.grand-dictionnaire.com/chlorophylliennes.html](http://www.grand-dictionnaire.com/chlorophylliennes.html))

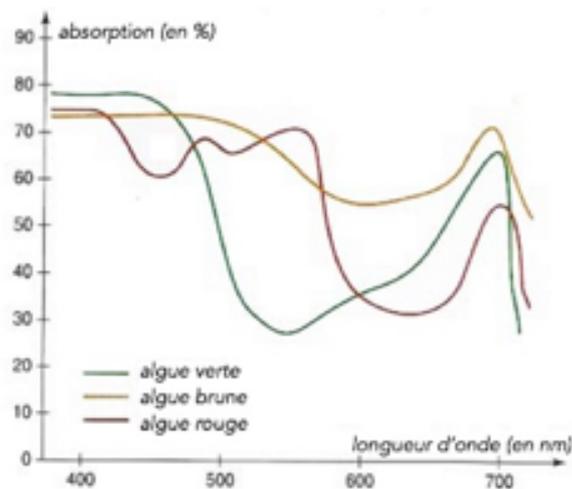


Figure 31 : spectre d'absorption des algues marines (d'après <http://cms.ac-martinique.fr>)

Les algues proches de la surface absorbent la lumière pratiquement comme les végétaux terrestres car elles possèdent les mêmes pigments photosynthétiques. Les algues situées plus en profondeur ne reçoivent plus de lumière « infra-rouge et rouge » et doivent utiliser des pigments accessoires pour tirer partie de la lumière de longueur d'onde parvenant à cette profondeur. C'est ainsi que les algues brunes contiennent de la fucoxanthine et parviennent ainsi à tirer profit de la lumière « orange et jaune ». Alors que les algues rouges encore plus profondes utilisent un autre pigment accessoire, la phycoérythrine, pour utiliser la lumière « verte et bleue ».

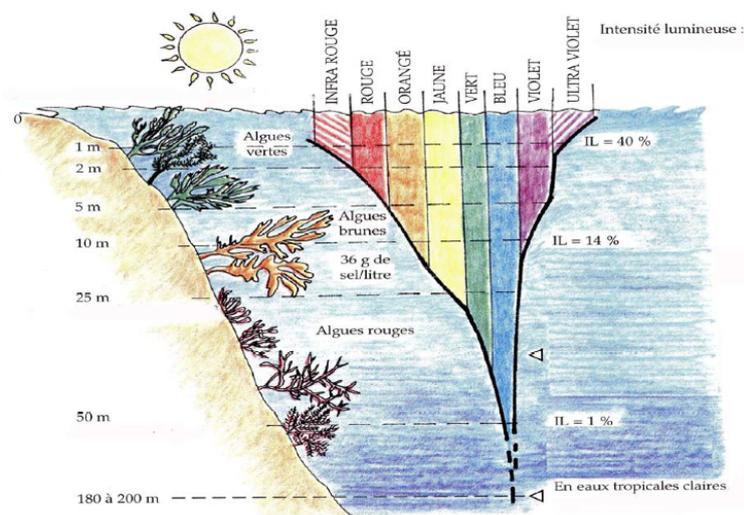


Figure 32 : mise en parallèle de la pénétration de la lumière dans l'eau et de l'étagement algale (d'après Leclerc et Floch, 2010).

(2) La **turbidité** va également influencer la pénétration de la lumière dans l'eau. Elle est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Comme la turbidité affecte la pénétration de la lumière dans l'eau, elle influence également la photosynthèse. De plus, la turbidité est un des facteurs de la couleur de l'eau, ce qui influence sa température et par conséquent son évaporation (donc sa salinité). Toutes ces modifications aboutissent à une diminution de l'oxygénation de l'eau, donc de la survie d'organismes aérobiques (Fig. 33).

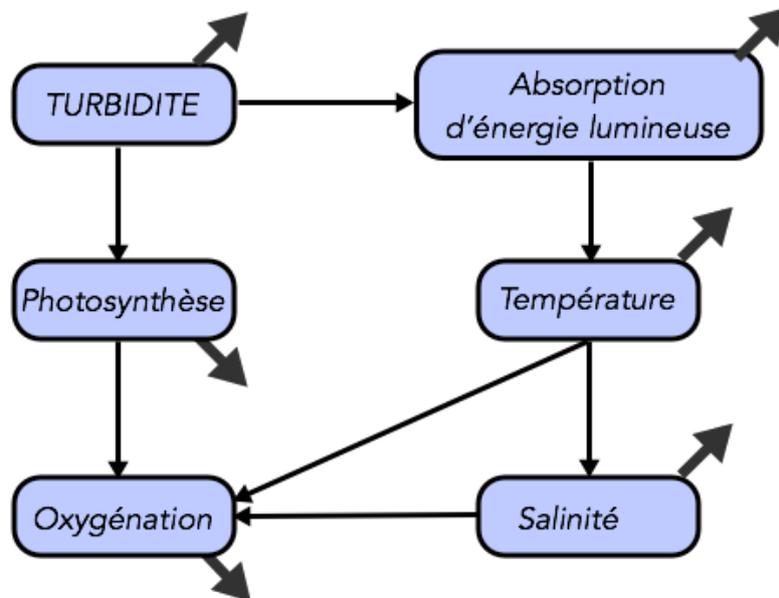


Figure 33 : influence de la turbidité sur l'oxygénation et d'autres facteurs abiotiques.

## 8. Les mouvement d'eau dans l'océan

Ces mouvements sont de 3 ordres : la houle, la marée et le courant marin.

### A. De la formation de la houle ... à sa transformation en vagues

Le vent qui souffle à la surface des océans induit un mouvement ondulatoire de la surface de celui-ci. Ces ondes se propagent au loin, c'est que l'on appelle la **houle**. La rencontre de houles venant de sens divers provoque une légère agitation appelée **clapot** (Fig 34). La houle peut être observée même en absence totale de vent local, c'est bien le vent qui agit au loin qui engendre la houle.

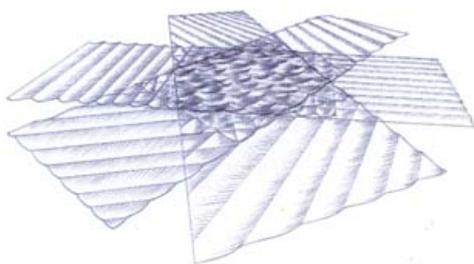


Figure 34 : formation du clapot.

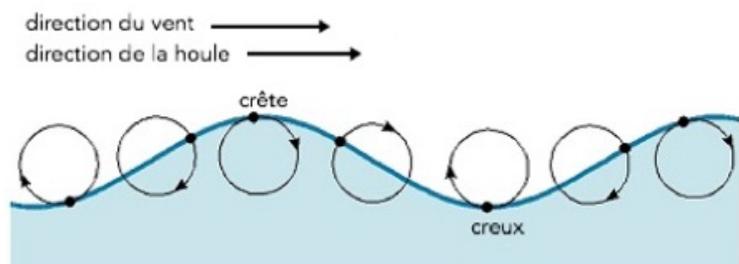


Figure 35 : formation de la houle.

La hauteur des ondes formées par le vent dépend :

- de la vitesse du vent,
- du temps pendant lequel le vent souffle,
- de la distance que le vent parcourt au-dessus de l'eau (autrement dit la surface de l'étendue d'eau).

L'eau n'avance pas avec la houle, mais elle se déplace en suivant une trajectoire plus ou moins circulaire, se soulevant lorsqu'elle rencontre une crête d'onde et s'abaissant lorsque l'onde passe (Fig. 35). Les mouvements de la houle n'affecte que la couche d'eau en surface.

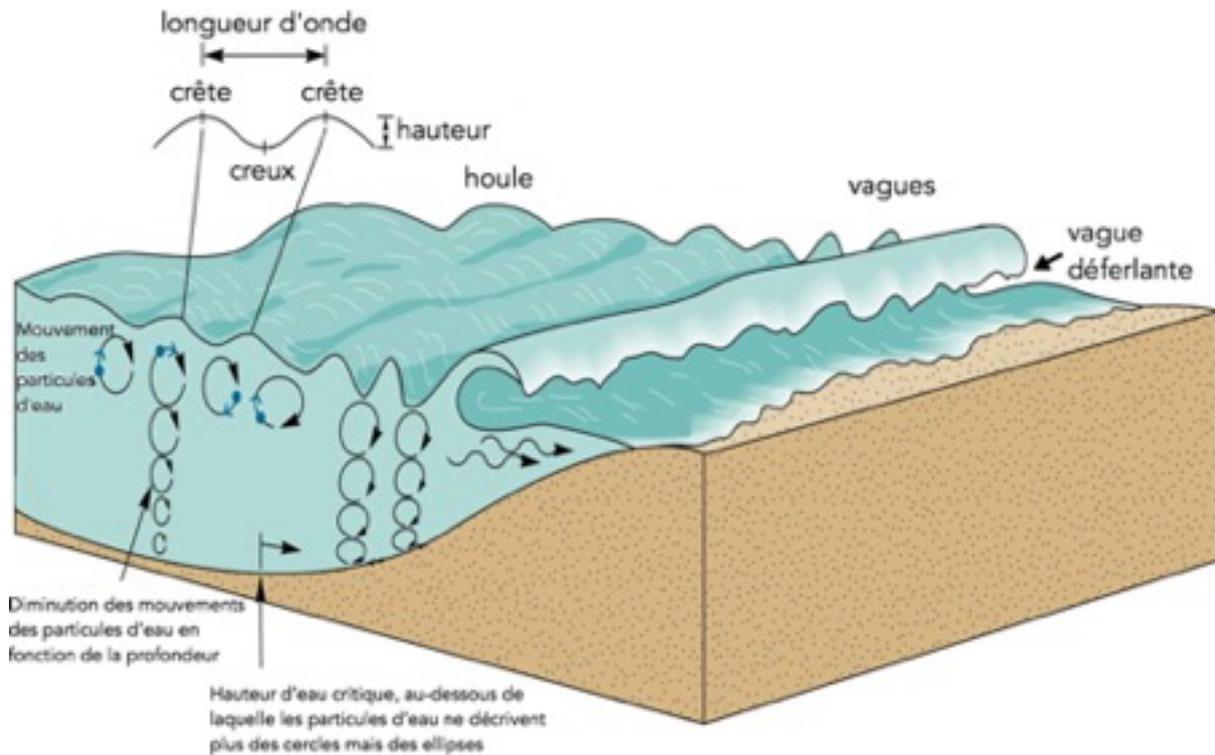


Figure 36 : formation des vagues (adapté de [www.geo.hunter.cuny.edu/](http://www.geo.hunter.cuny.edu/))

Avant d'atteindre les côtes, la houle rencontre le plateau continental qui freine sa progression (Fig. 36). La trajectoire des particules d'eau n'est plus circulaire mais elliptique. La longueur donc diminue (les crêtes se rapprochent) et la période<sup>23</sup> reste constante. La vitesse de propagation de l'onde étant égale au rapport longueur d'onde / période, la vitesse de la vague diminue à l'approche du rivage.

Le déferlement des vagues survient lorsque les particules d'eau situées sur la crête de la vague n'ont plus assez de place pour décrire un cercle : la vague se brise. Les particules d'eau sont projetées en avant dans une ligne d'écume; c'est le **ressac**.

<sup>23</sup> La **période** d'une vague est l'intervalle de temps qui s'écoule en un point donné entre le passage de 2 crêtes successives.

C'est le vent lointain qui génère les vagues mais c'est la brise<sup>24</sup> locale qui les modifie (Fig. 37). Le **vent on-shore** (venant du large), aura tendance à écraser les vagues. A l'inverse, le **vent off-shore** (vent venant de terre) aura tendance à creuser les vagues.

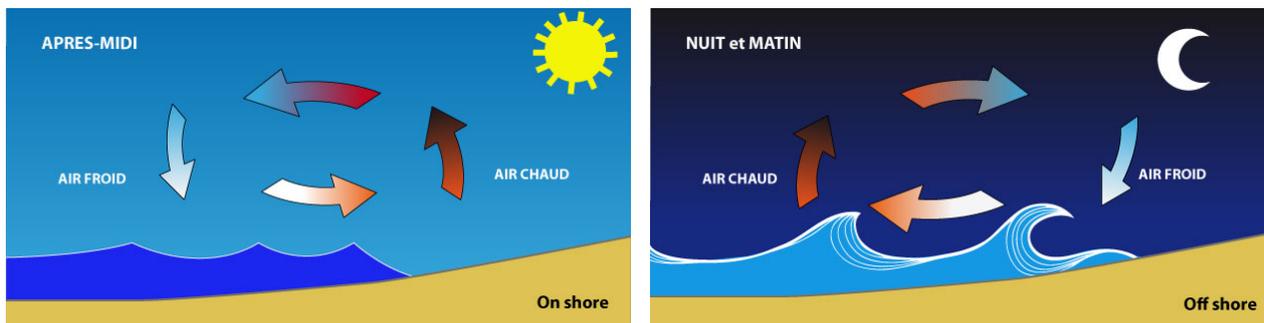


Figure 37 : influence du vent sur les vagues (d'après www.tribord.be)

Pourquoi le vent souffle-t-il de la terre vers la mer le matin et le contraire le soir ? C'est simple, l'air se déplace toujours de la zone la plus froide vers la zone la plus chaude. La mer accumule une grande quantité de chaleur le jour qu'elle restitue petit à petit la nuit. Au matin, l'air est chaud sur la mer et froid sur la terre qui n'a pas vu le soleil depuis plusieurs heures. Le soir, la terre a chauffé bien plus vite que la mer qui est restée tempérée. (d'après Albouy, 2004)

## B. Le phénomène de marée

La marée correspond à la variation cyclique du niveau de la mer.

La force génératrice de la marée est la résultante de 2 forces :

- la **force gravitationnelle** exercée par la Lune et le Soleil.
- la **force centrifuge** due au mouvement de la Terre sur son orbite autour du Soleil.

Dans un premier temps considérons uniquement l'influence de la lune. Bien que la lune ait une masse moindre que le soleil, sa proximité de la terre lui confère une influence prépondérante dans les phénomènes de marée (effet environ 2,5 fois supérieur à celui du soleil).

Sur la figure 38, on peut voir que :

- la **force centrifuge** (en mauve) est constante en tout point de la terre.
- la **force gravitationnelle** exercée par la Lune (en rouge) est variable car son intensité dépend de la distance à la Lune : plus un point est proche de la Lune, plus l'attraction est forte.
- la **force résultante** (en noir) est :
  - dirigée vers la Lune au zénith (point Z)
  - dirigée à l'opposée de la Lune au nadir (point N)
  - dirigée +/- vers le centre de la Terre pour les points situés perpendiculairement à l'axe ZN.

<sup>24</sup> La **brise** est un vent périodique, alternant, qui s'établit sur le littoral ou dans les vallées de montagne par temps calme.

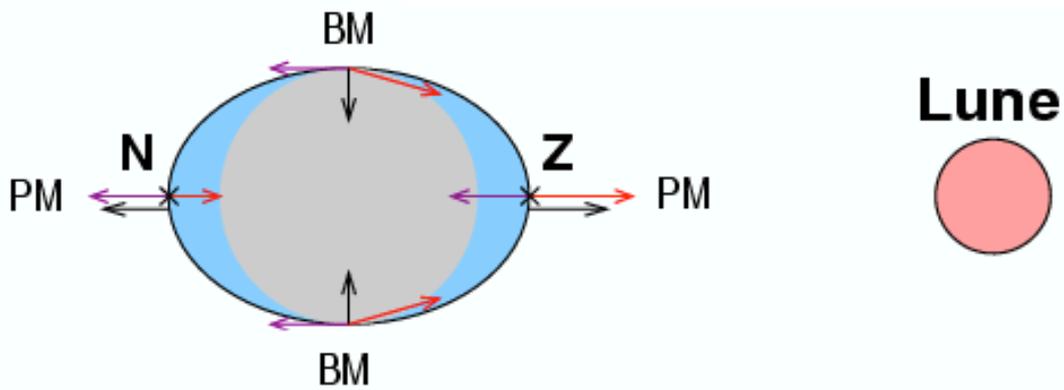


Figure 38 : influence de la lune sur les marées (d'après www.ifremer.fr)

Lorsque la force résultante est dirigée vers le centre de la Terre, la surface des océans a tendance à baisser créant une basse mer (**BM**) et à l'inverse lorsque la force est dirigée vers le ciel (au zénith et au nadir) la surface des océans a tendance à monter créant une pleine mer (**PM**).

Comme la Terre tourne sur elle-même, il y aura pour un même endroit du globe, 2 BM et 2 HM (Fig. 39). En réalité, le cycle se répète toutes les 12h25' (et non toutes les 12h) créant un retard de 50 minutes tous les jours car pendant que la Terre fait un tour sur elle-même la Lune tourne aussi un peu (de 1/28<sup>e</sup> de tour). La Lune se retrouve donc exactement au-dessus du même point un peu plus tard soit en 24h50'28''.

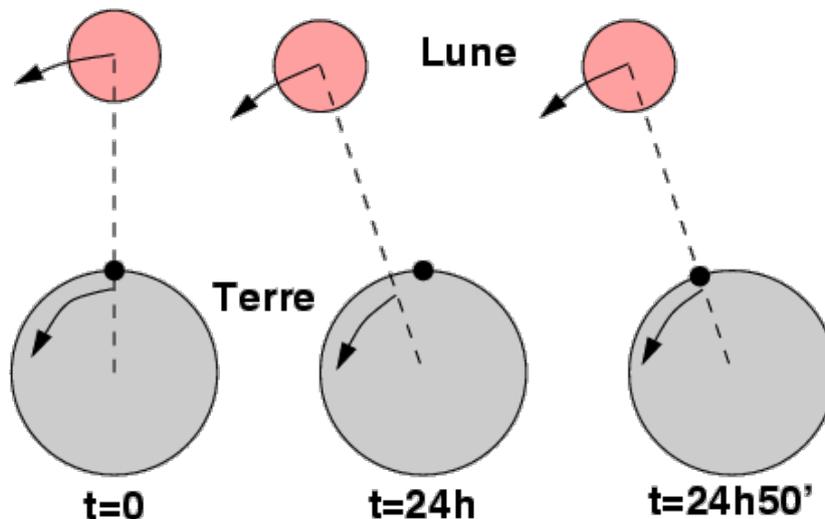


Figure 39 : influence de la rotation de la Lune sur l'horaire des marées (d'après www.ifremer.fr)

Le soleil a également une action sur les marées (Fig. 40). Toutes les semaines environ, il y a alternance entre des marées à forts coefficients<sup>25</sup> avec des marées à faible coefficient. Lorsque les deux astres sont alignés, les effets s'ajoutent (nouvelle et pleine Lune), le marnage<sup>26</sup> est alors fort. On parle de **marée de vives-eaux**, ou de **syzygie**. Lorsque les deux astres sont perpendiculaires, les effets se soustraient. Le marnage est alors faible. On parle de **marée de mortes-eaux**. Comme la Lune tourne autour de la Terre en 28 jours le cycle des vives-eaux est de 14 jours.

<sup>25</sup> Le **coefficient de marée** est un indicateur de l'amplitude des marées. (120 - Vives-eaux exceptionnelles, 95 - Vives-eaux moyennes, 70 - Marées moyennes, 45 - Mortes-eaux moyennes, 20 - Mortes-eaux exceptionnelles).

<sup>26</sup> Le **marnage** correspond à l'amplitude de la marée.

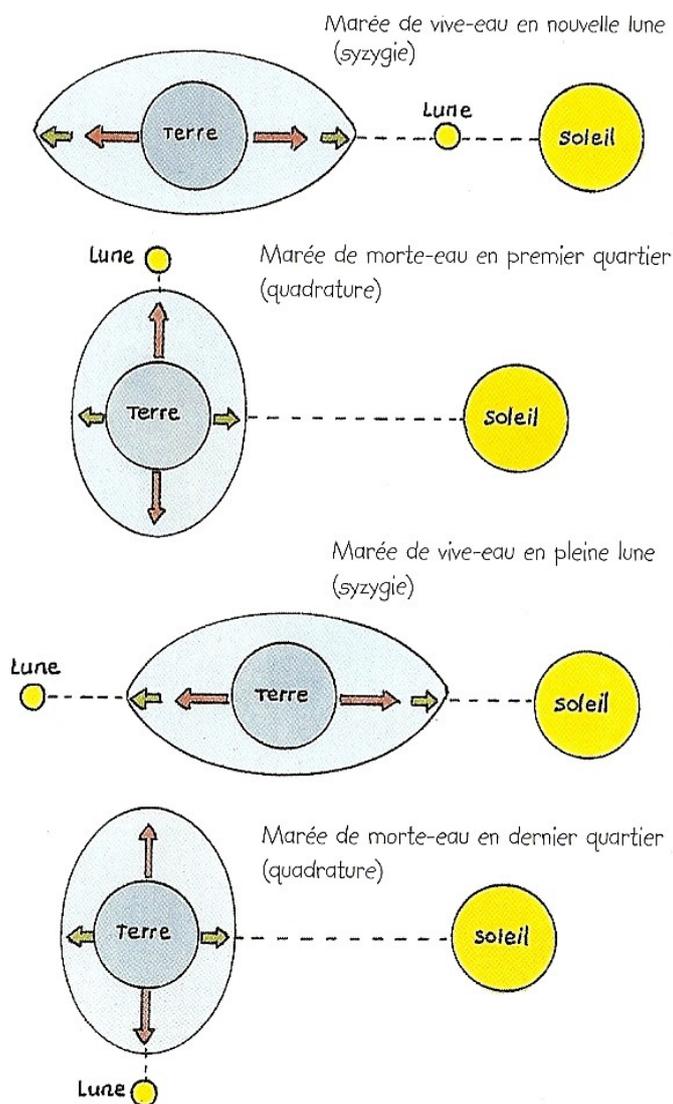


Figure 40 : influence du soleil sur les marées (d'après [www.oleron-plage.fr](http://www.oleron-plage.fr))

Il existe trois grands types de marées dans le monde (Fig. 41 et 42) :

- **le type diurne** : il y a une pleine mer et une basse mer par jour.
- **le type semi-diurne** : il y a deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. C'est ce type de marée que nous connaissons en Mer du Nord.
- **le type mixte** : il y a tantôt deux pleines mers et deux basses mers par jour lorsque la Lune est à l'Equateur et tantôt une pleine mer et une basse mer par jour lorsque la déclinaison de la Lune est proche de son maximum.

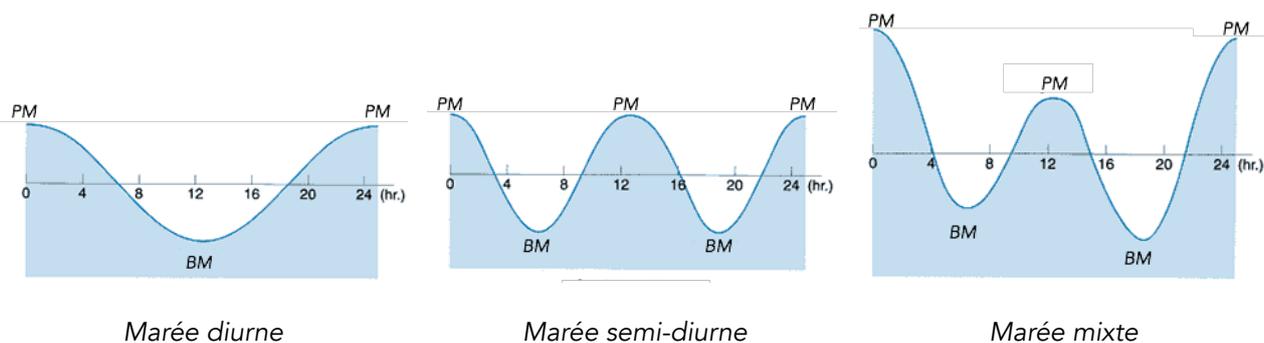


Figure 41 : périodicité des différents types de marées (adapté de American Meteorological Society, 2005)

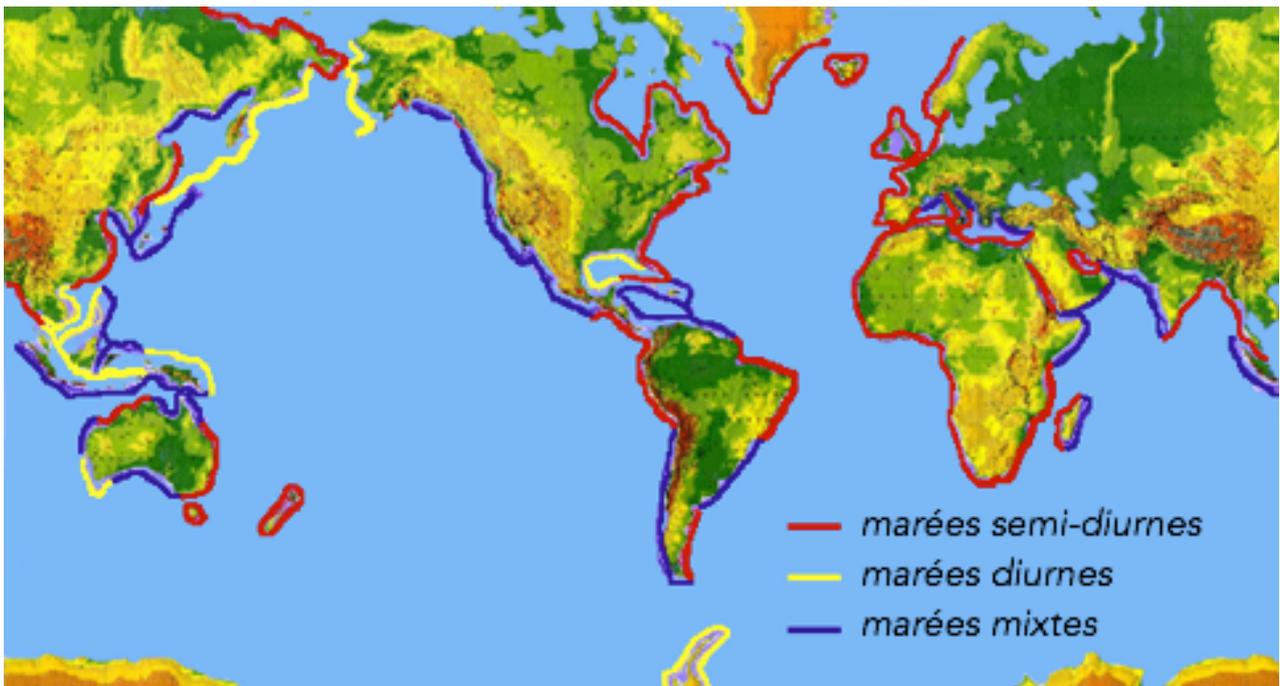


Figure 42 : répartition des types de marées (d'après <http://oceanservice.noaa.gov>)

Les **grandes marées d'équinoxe** sont expliquées par la variation de la distance Terre - Soleil. Comme la Terre décrit une orbite elliptique autour du Soleil, la distance Terre-Soleil varie. C'est lors des **équinoxes** que la Terre est la plus proche du Soleil (Fig. 43). Cette configuration amplifie les marées de type semi-diurne. Dès que la Lune et le Soleil sont alignés en syzygie, la grande marée d'équinoxe prend place.

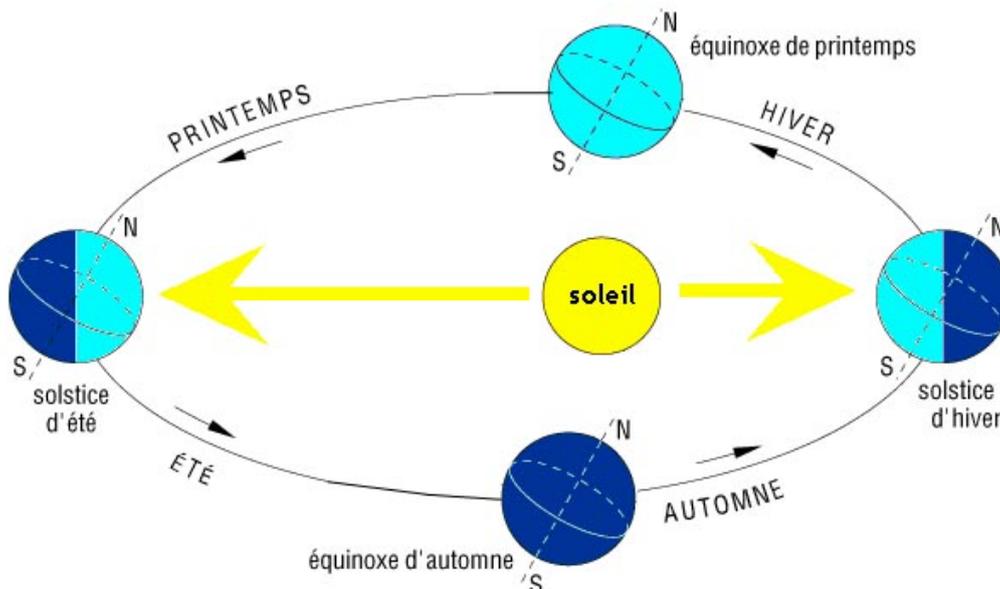


Figure 43 : solstices, équinoxes et saisons pour l'hémisphère Nord (d'après [www.florenceporcel.com](http://www.florenceporcel.com))

La **marée astronomique** est donc une manifestation de la gravitation universelle appliquée au système formé par la Terre, le Soleil et la Lune. Cependant, le phénomène que l'on observe sur les côtes (= **marée dynamique**) résulte de la propagation sur le plateau continental d'une onde générée au large par la marée astronomique.

L'**amplitude moyenne des marées** varie donc également en fonction du profil côtier (Fig. 44). On parle d'amplitude environnementale des marées. On définit trois milieux selon l'importance du marnage :

- **milieu microtidal** : marnage < 2 m, caractéristique des mers fermées (ex. Méditerranée)
- **milieu mésotidal** : marnage entre 2 et 4 m (ex. côte belge)
- **milieu macrotidal** : marnage > 4 m (ex. baie du Mont Saint-Michel, Roscoff)

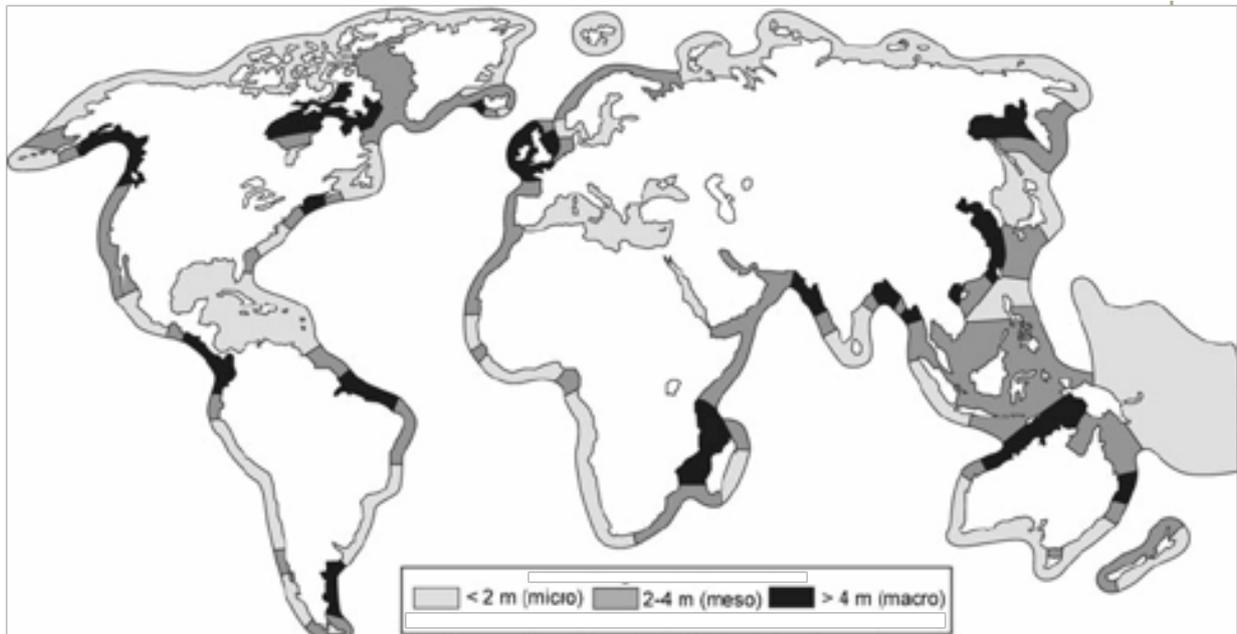


Figure 44 : carte de répartition des amplitudes environnementales de marée (d'après Davies 1980, modifié par Masselink et Hughes 2003)

En résumé :

- La rotation de la Terre sur elle-même est responsable de 2 marées / jour.
- La révolution de la Lune autour de la Terre, crée des situations d'alignement avec le soleil ce qui génère les marées de vives-eaux et mortes-eaux.
- La révolution de la Terre autour du Soleil est responsable des grandes marées d'équinoxe.
- Le relief des côtes accentue ou modère l'effet des marées.

La marée est un phénomène caractérisé par une variation périodique du niveau de la mer. C'est donc une onde, l'**onde de marée**. Comme la houle, l'onde de marée ne déplace pas l'eau latéralement mais de haut en bas. Cependant, les marées s'accompagnent de mouvements de masse d'eau, les **courants de marée**. Ces courants de marée se manifestent différemment au large et près des côtes. Au large, ils sont giratoires et font le tour de l'horizon pendant une marée complète. La proximité des côtes transforme le courant giratoire en courant alternatif (dans un sens lors de la première moitié de la marée, puis dans l'autre pour la seconde moitié). Le courant qui suit la marée montante est alors appelé **courant de flot** et celui qui accompagne la marée descendante le **courant de jusant** (= le reflux).

## C. Les courants océaniques

Il existe des courants marins locaux tels que les courants de marée décrits précédemment . Mais les courants principalement responsables de la circulation de l'eau de mer sont les courants océaniques. Ces courants sont dits généraux car ils ont un effet sur l'ensemble de la masse d'eau océanique. Il existe des **courants océaniques de surface** et des **courants océaniques de profondeur**. Ceux-ci sont interconnectés et forment une sorte de « tapis roulant ». Si on suit les flèches de la figure 45, on voit que les eaux chaudes (rouge) s'enfoncent lorsqu'elles arrivent dans les régions froides comme le Groenland, et que les eaux froides (bleu) remontent en regagnant les régions chaudes comme l'Océan Pacifique. Et le cycle ne s'arrête jamais.

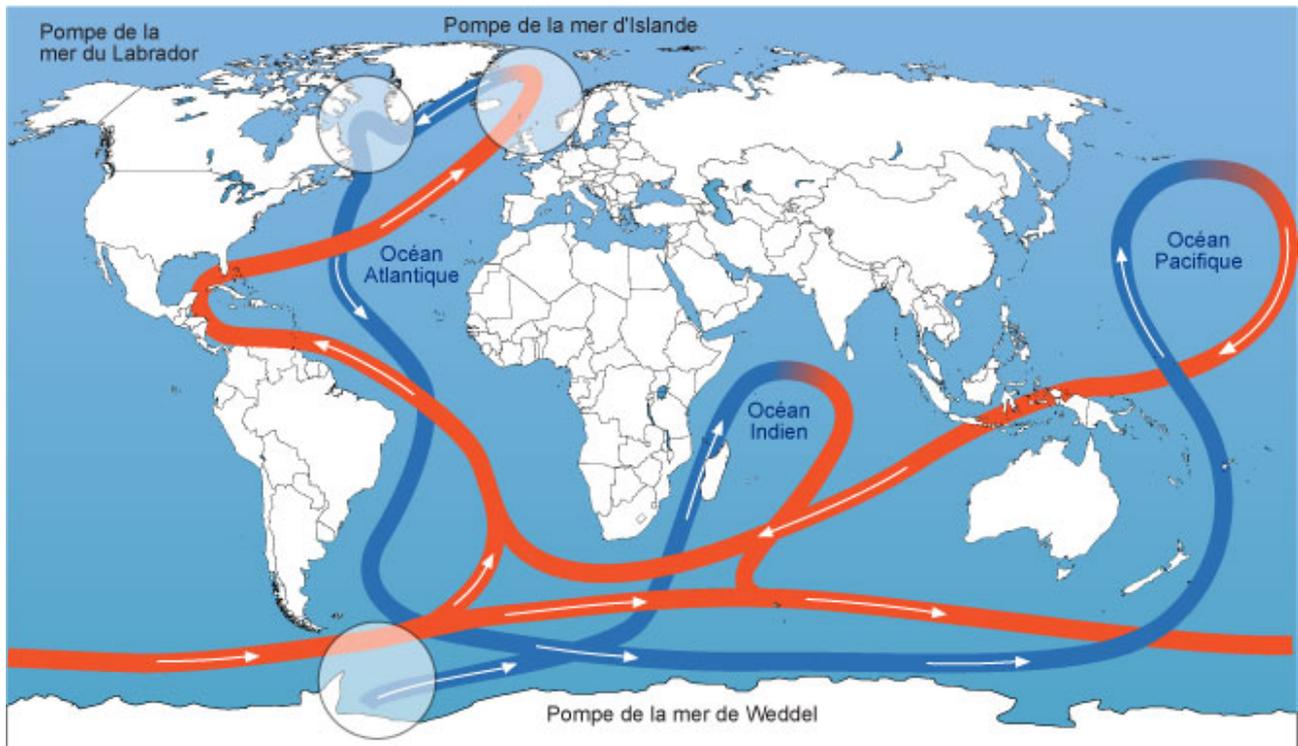


Figure 45: circulation océanique (d'après [www.cima.ualg.pt](http://www.cima.ualg.pt))

(1) Les **courants de surface** sont générés par le **vent**. Pour comprendre l'origine des courants de surface, il faut donc comprendre l'origine du vent. Trois facteurs sont à l'origine de celui-ci : le soleil, la rotation de la Terre et le relief terrestre.

(1a.) L'**énergie solaire** que reçoit la Terre est fonction de la latitude (Fig. 46). En effet, le soleil frappe les régions de l'Equateur et des Tropiques de manière presque droite, ces régions sont très chaudes. A l'inverse, aux pôles Nord et Sud, les rayons arrivent de manière très inclinée et ces régions sont très froides.

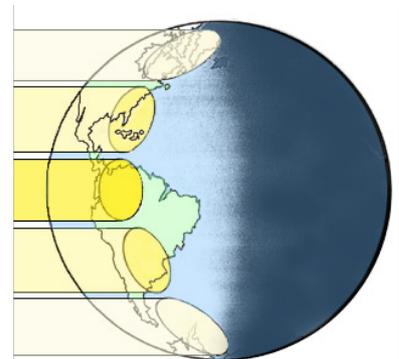
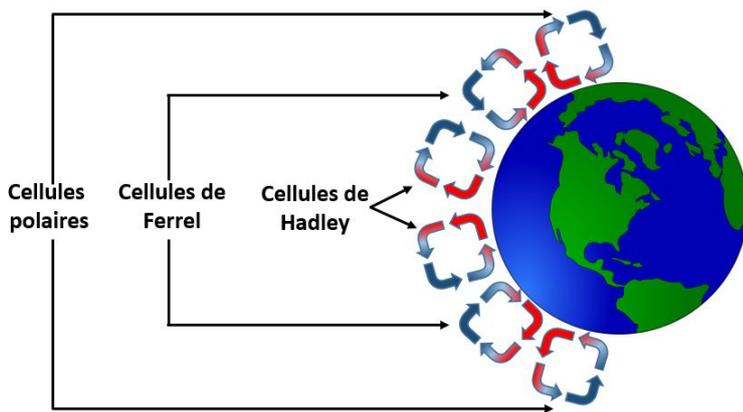


Figure 46 : variation de l'énergie solaire en fonction de la latitude.



L'air chaud plus léger monte alors que l'air froid plus dense descend. Cela génère des mouvements atmosphériques qui décrivent des cellules de convection (= zone de circulation des vents) autour de la Terre (Fig. 47).

Figure 47 : modèle de circulation atmosphérique : 2 **cellules équatoriales** (= cellules de Hadley) dans le sens direct, 2 **cellules de Ferrel** à circulation inverse des précédentes et 2 **cellules polaires** à circulation directe. (d'après www.alloprof.qc.ca)

(1b.) La **rotation de la Terre** induit l'effet de Coriolis<sup>27</sup>. C'est en raison de cette force de Coriolis que l'air tourne dans le sens horaire dans l'hémisphère Nord et dans le sens anti-horaire dans l'hémisphère Sud.

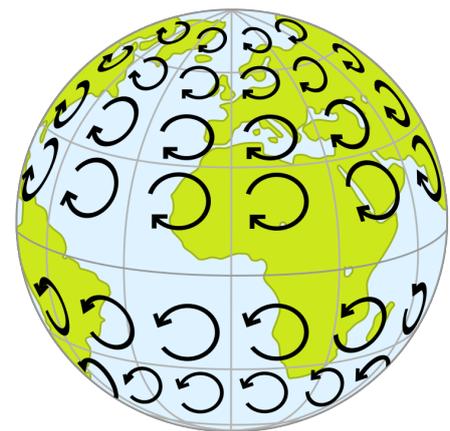
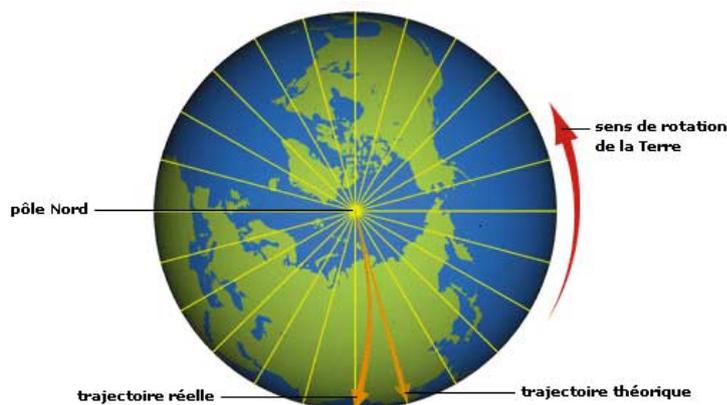


Figure 48 : influence de la force de Coriolis sur une trajectoire

Figure 49 : sens horaire des vents dans l'hémisphère Nord et sens anti-horaire des vents dans l'hémisphère Sud.

<sup>27</sup>La **force de Coriolis** est une force inertielle agissant perpendiculairement à la direction du mouvement d'un corps en déplacement dans un référentiel lui-même en rotation uniforme, tel que vu par un observateur partageant le même référentiel. Ce n'est pas une force au sens strict (action d'un corps sur un autre) mais une force fictive résultant du mouvement non linéaire du référentiel. C'est l'observateur qui change de position par l'action de l'accélération centripète du référentiel et qui interprète tout changement de direction de ce qui l'entoure comme une force inverse.

L'association du mouvement de convection et de la force de Coriolis génère les **vents dominants** (ex.: Alizés, vents d'Ouest...).

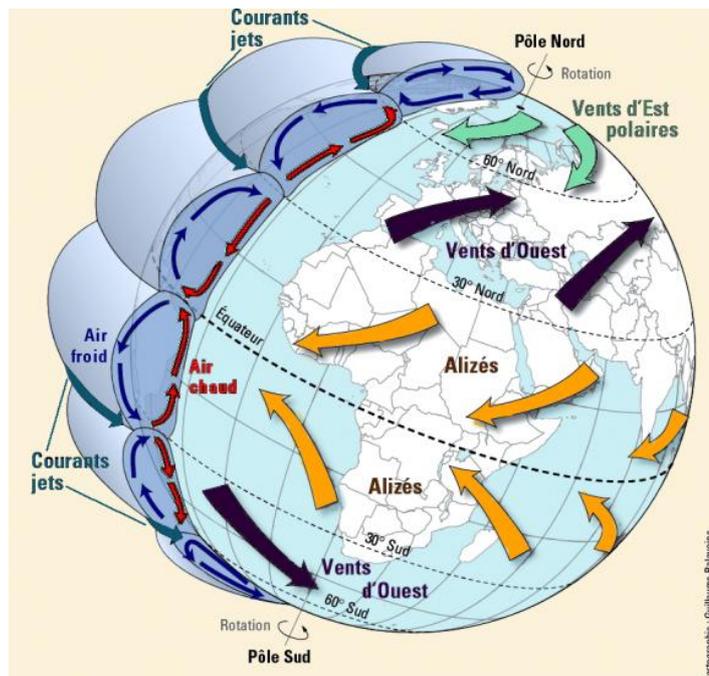


Figure 50 : modèle de circulation atmosphérique

(1c.) Le **relief terrestre**, c'est à dire les montagnes, les mers, les constructions... trouble le mouvement régulier de l'air. Chaque fois que l'air rencontre quelque chose, son mouvement s'en trouve perturbé.

Les vents qui soufflent à la surface des océans entraînent les eaux de surface dans leur direction. L'effet direct du vent se fait ressentir jusqu'à une profondeur de +/- 100m.

Tout comme les vents, les courants sont orientés dans le sens horaire dans l'hémisphère Nord et dans le sens anti-horaire dans l'hémisphère Sud. Ici aussi, on trouve l'effet Coriolis (Fig. 51).

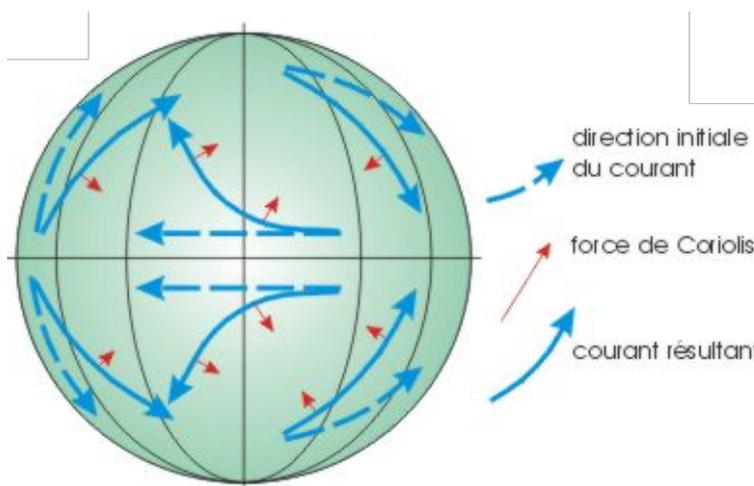


Figure 51 : influence de la rotation de la Terre sur les courants de surface.

Les courants chauds partent de l'Equateur et les courants froids partent des pôles (Fig. 52).

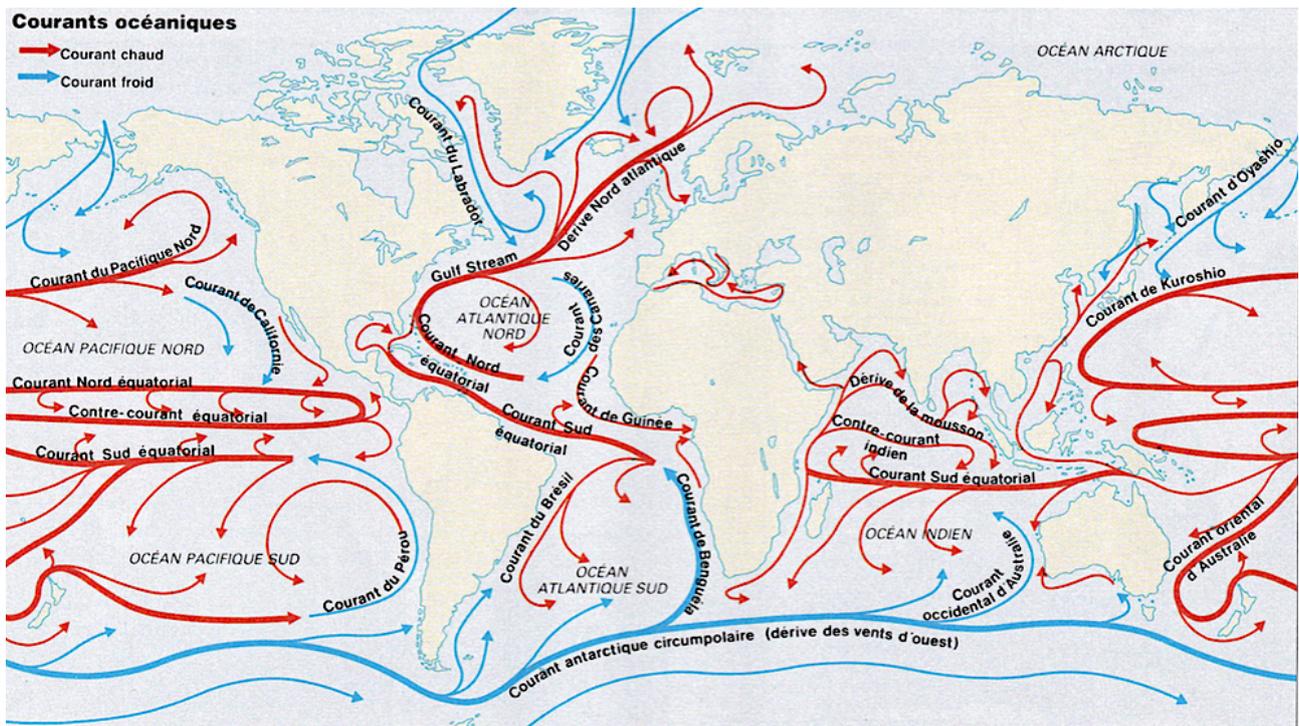


Figure 52 : courants océaniques de surface (d'après Smith, 1987)

(2) Les courants de profondeur sont dus à des **plongées convectives** d'eau. Leur principal moteur réside dans le gradient de densité généré par la température et par la salinité. C'est pourquoi on parle de **courants thermohalins**. Les eaux denses plongent au fond des océans alors que les eaux moins denses remontent en surface.

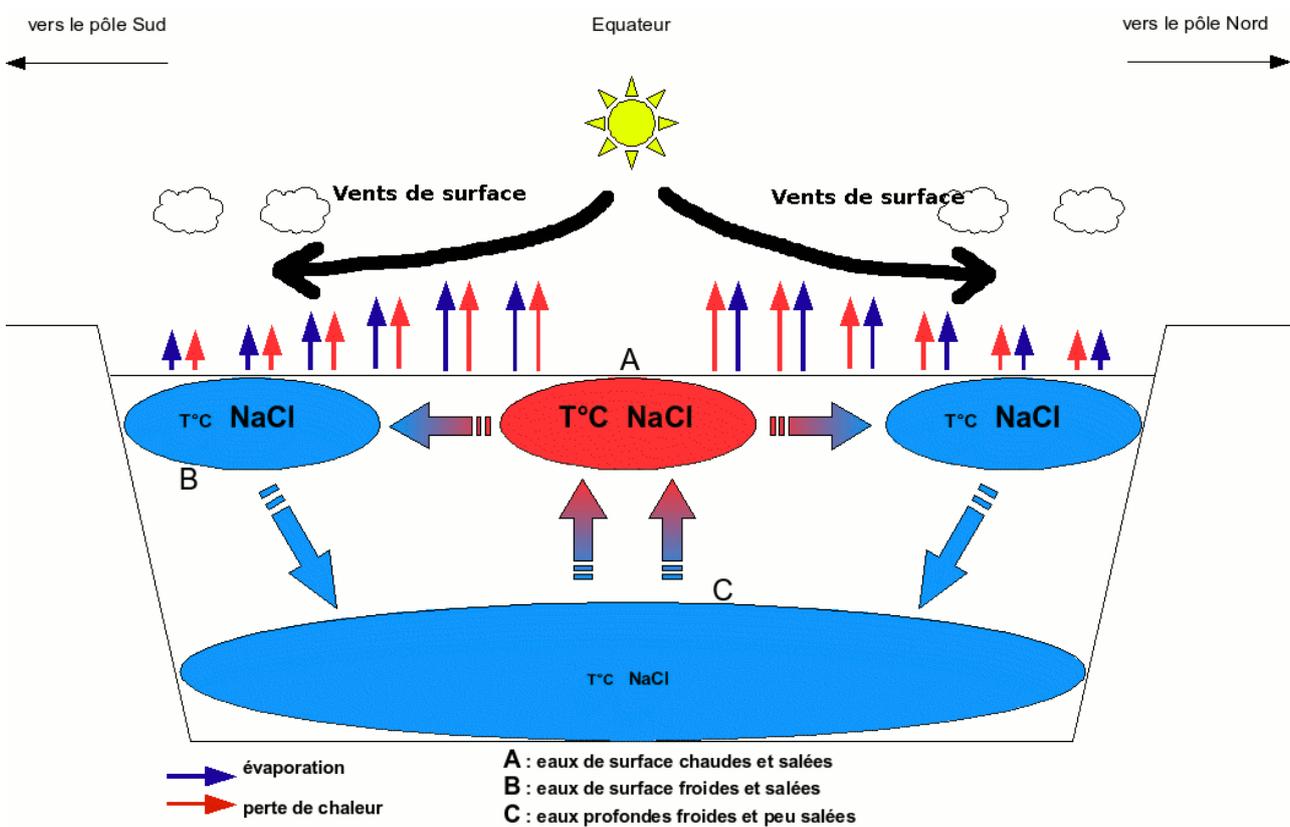


Figure 53 : principe schématique de la circulation thermohaline et de sa relation avec les vents de surface (d'après Genoux, 2010)

Comme le montre la figure 53, le mouvement de convection océanique s'initie par les eaux froides de surface des pôles (B). En se refroidissant, leur température n'est plus suffisante pour contrer les effets de la salinité : la densité augmente alors et les eaux plongent vers le fond : c'est la **plongée convective**.

Cette plongée convective est un véritable moteur de la circulation thermohaline. Elle va "aspirer" des masses d'eau de surface chaudes provenant des zones équatoriales et tropicales (A). La distance étant trop importante, cette aspiration n'est pas suffisante pour entraîner à elle seule l'eau provenant de l'Equateur mais ce mouvement est soutenu par les vents de surface.

Au cours de leur périple, ces courants chauds vont céder une grande partie de leur chaleur à l'atmosphère : c'est le **déstockage**. Ce phénomène se fait par transfert direct de chaleur (conduction et convection) mais surtout par évaporation (consommation d'énergie due au changement d'état). De plus, l'évaporation entraîne une augmentation graduelle de la salinité. L'eau chaude et moyennement salée de l'Equateur arrive aux pôles plus froide et plus salée. Un autre facteur joue sur l'augmentation de salinité aux pôles : il s'agit du gel de la surface océanique en hiver. Comme le réseau cristallin de la glace n'incorpore pas le sel celui-ci est rejeté dans l'eau liquide, ce qui en augmente la salinité.

La salinité à elle seule ne permettrait pas d'expliquer l'augmentation de densité suffisante pour que l'eau de surface plonge. C'est bien le couplage avec des températures faibles qui sera déterminant. En-dessous d'une température "seuil" (2°C), les masses d'eau refroidies et salées descendent vers le fond.

En se déplaçant vers les pôles, les masses chaudes et moyennement salées de surface, vont au niveau de l'Equateur, «aspirer» des eaux froides et très peu salées des profondeurs (C). C'est la **remontée convective (= upwelling)**.

En générant, des modifications locales de la pression atmosphérique, les vents peuvent provoquer des remontées et des descentes d'eau. Un **vent anticyclonique** (tournant dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord) génère une augmentation de la pression. Cela aura pour effet de «pousser» l'eau de surface vers les profondeurs. Un **vent cyclonique** (tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord) provoque un mouvement ascendant de l'eau.

**Le mouvement océanique global est donc la résultante d'un couplage océans-atmosphère (vents) et du déséquilibre thermohalin (densité de l'eau) aux hautes latitudes.**

Les courants océaniques ont une grande importance climatique et écologique.

- Les courants océaniques sont de grands régulateurs du climat. Les courants chauds réchauffent le climat d'une région. À l'inverse, les courants froids qui remontent en surface diminuent la température des eaux des régions équatoriales. Cela diminue les écarts de température qui devraient exister en ne tenant compte que de l'ensoleillement (latitude).
- Les courants océaniques transportent la nourriture et les minéraux. Les eaux de profondeur sont généralement plus riches en nutriments (sédimentation des cadavres et des déjections), la remontée de celle-ci permet d'engraisser les eaux de surface.

La vitesse des courants océaniques atteint plusieurs noeuds à la surface. Avec l'action des vagues, ils provoquent le brassage de l'eau superficielle et on estime que la zone peu profonde est entièrement brassée en 50 ans. Par contre, en profondeur, ces courants sont beaucoup plus lents et les eaux profondes ont une période de renouvellement de 500 ans. L'eau qui remonte le Pacifique Nord est la même que celle qui est descendue de l'Atlantique Nord il y a quelques centaines ou milliers d'années.

## 9. Le climat de la côte Belge

Le **climat** est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. Il se distingue de la **météo** qui désigne l'étude du temps<sup>28</sup>. Les caractéristiques du climat sont déterminées par des moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. La Belgique, donc son littoral, bénéficie d'un **climat tempéré océanique** (Fig. 50). Celui-ci est caractérisé par une faible amplitude thermique (5 à 15°C), des hivers frais et humides et des étés doux et relativement humides, sachant que le maximum de précipitations se produit durant la saison froide.

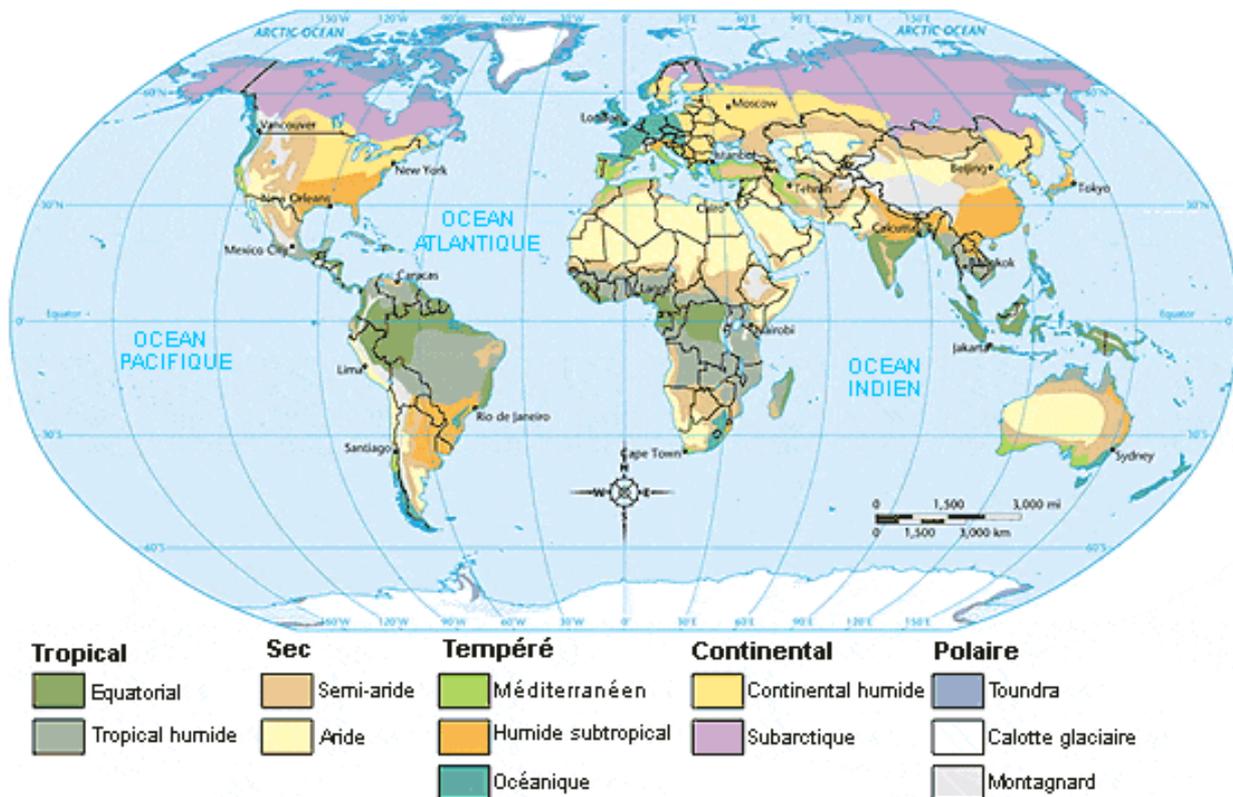


Figure 54 : répartition des grands climats mondiaux (d'après <http://la.climatologie.free.fr>)

Le **climat de la côte belge** est caractérisé par une température plus élevée en hiver et plus basse en été, par rapport au reste du pays. Ce phénomène est plus marqué en début de saison. La température de l'eau de la Mer du Nord, au large, oscille entre 9 et 10°C en début décembre et se situe généralement entre 5 et 6°C à la fin du mois de février. Le radoucissement du climat hivernal est donc plus marqué en décembre qu'en février. La même chose vaut, en sens inverse,

<sup>28</sup> Le temps est l'ensemble des conditions physiques des basses couches de l'atmosphère à un moment précis et en un point précis.

pour les mois de juin et d'août. La variation diurne de la température est quasi nulle au large. Ainsi, si l'on mesure la température sur un bateau à 50 km au large et qu'il fait 10°C le matin, il fera 10°C l'après-midi aussi, si la masse d'air n'a pas changé entre-temps. Ceci est lié au fait qu'une journée de soleil ne suffit pas pour réchauffer significativement la surface de l'eau. Plus près des côtes, l'amplitude diurne de la température réapparaît. Ceci est lié à la moindre profondeur de l'eau et à l'influence des brises de mer et de terre.

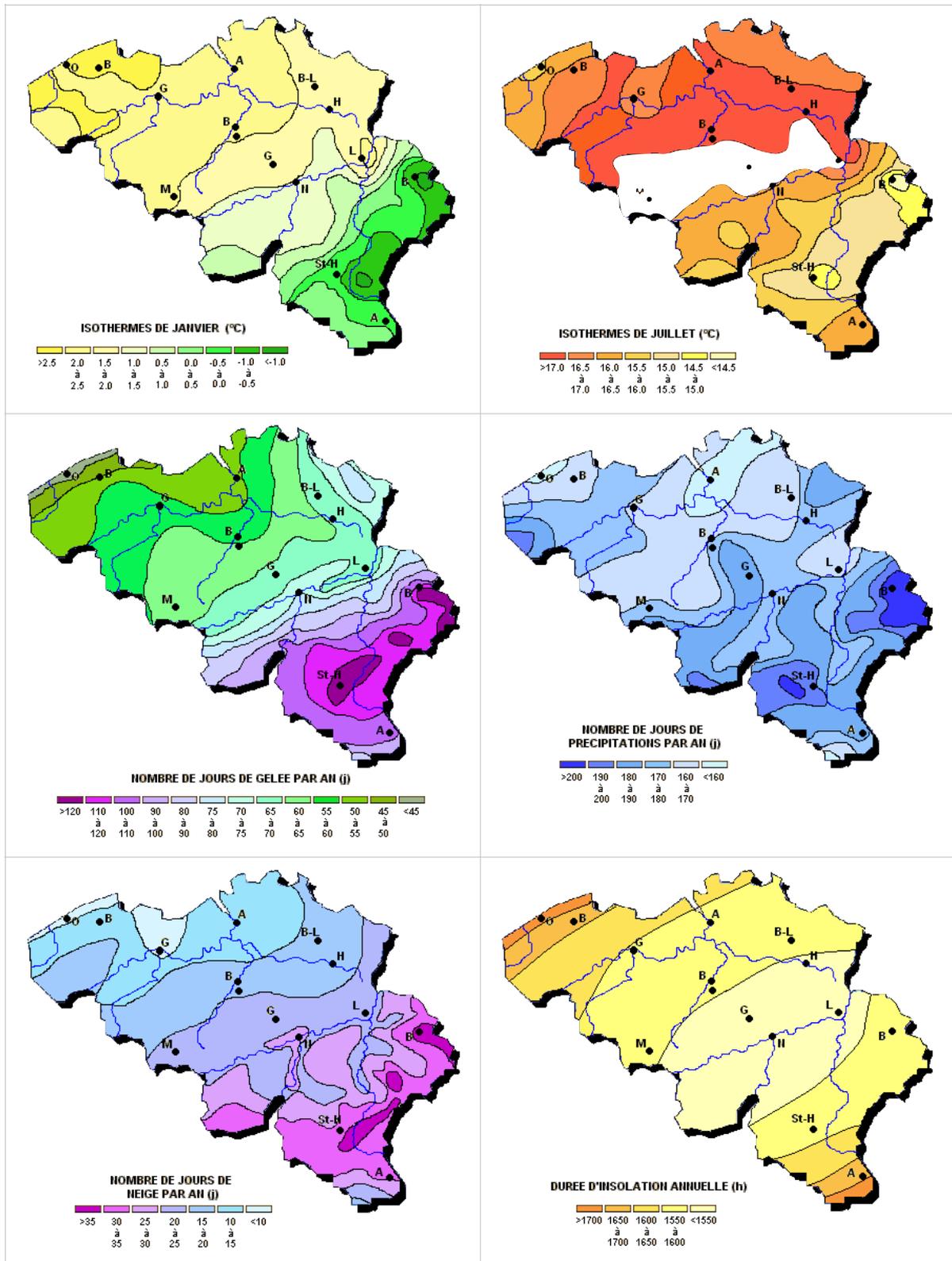


Figure 55 : cartes climatiques de Belgique (d'après www.meteonature.com)

Dans les régions côtières, la météo peut rapidement changer. Un des indicateurs prévisionnels de cette météo sont les nuages<sup>29</sup>. Apprenons donc à les reconnaître (Figures 56 et 57).

Le nom donné à un nuage est fonction de sa forme et de son altitude.

- *cirrus, cirro-* (touffe, rameau),
- *stratus, strato-* (couverture, tapis, couche),
- *cumulus, cumulo-* (amas),
- *alto-* (haut, élevé),
- *-nimbus, nimbo-* (nuage de pluie).

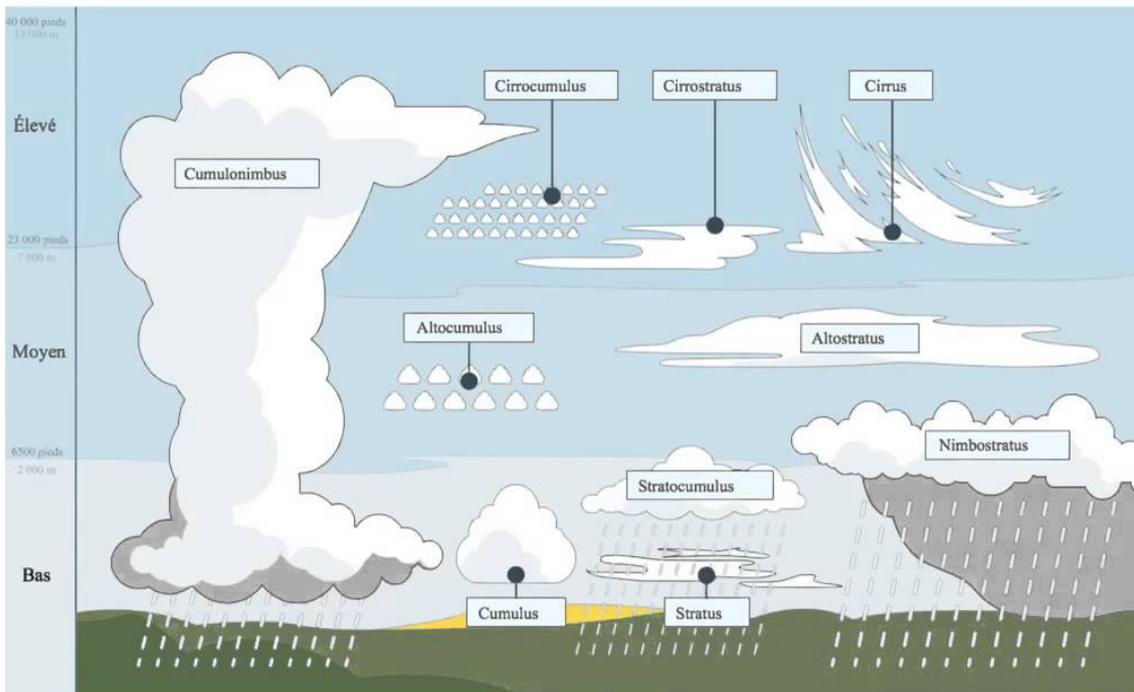


Figure 56 : types de nuages rencontrés à la cote Belge (d'après Wikipedia)

### Les nuages d'altitude

Ils se forment au-dessus de 5000 m. A cette altitude, l'eau gèle quasiment toujours : ces nuages sont donc composés de cristaux de glace.

#### Cirrus



Nuages séparés, en forme de filaments blancs et délicats ou de bancs ou de bandes étroites, blancs ou en majeure partie blancs. Ces nuages ont un aspect fibreux ou un éclat soyeux, ou les deux.

#### Cirrocumulus



Banc, nappe ou couche mince de nuages blancs, sans ombres propres, composés de très petits éléments en forme de granules, de rides..., soudés ou non, et disposés +/- régulièrement.

#### Cirrostratus



Voile nuageux transparent et blanchâtre, d'aspect fibreux ou lisse, couvrant entièrement ou partiellement le ciel, et donnant généralement lieu à des phénomènes de halo.

<sup>29</sup> Un **nuage** est un groupement visible de minuscules particules d'eau ou de glace dans l'atmosphère.

### Nuages intermédiaires

Ils se développent entre 2 000 et 5 000 m. Ils sont formés de gouttelettes d'eau.

#### Altostratus



Couche nuageuse grise ou bleue, d'aspect strié, fibreux ou uniforme laissant entrevoir le Soleil comme au travers d'un verre dépoli. Il ne présente pas de phénomènes de halo et peut être accompagné de pluie ou de neige.

#### Altostratus



Banc, nappe ou couche de nuages blancs ou gris, ou à la fois blancs et gris, ayant généralement des ombres propres, composés de lamelles, galets, rouleaux, ..., d'aspect parfois partiellement fibreux ou diffus, soudés ou non.

#### Nimbostratus



Couche nuageuse grise dont l'aspect est rendu flou par des chutes +/- continues de pluie ou de neige qui, dans la plupart des cas, atteignent le sol. L'épaisseur de cette couche masque complètement le soleil.

### Nuages bas

Ce sont des nuages de basses altitudes (jusqu'à 2 000 m). Lorsque ces derniers rencontrent la terre, on les appelle **brouillard**.

#### Stratocumulus



Banc, nappe ou couche de nuages gris ou blanchâtres, ayant presque toujours des parties sombres, composés de dalles, galets, rouleaux, etc., d'aspect non fibreux, soudés ou non.

#### Stratus



Couche nuageuse grise pouvant donner lieu à de la bruine ou à de la neige en grains. Lorsque le soleil est visible son contour est nettement discernable. Pas de halo sauf à de très basses températures.

### Nuages verticaux

Ces nuages peuvent avoir de forts courants verticaux. Ils se forment à différentes altitudes.

#### Cumulus



Nuages séparés, denses et à contours blancs bien délimités, se développant verticalement en forme de mamelons, de dômes ou de tours, dont la région supérieure ressemble souvent à un chou-fleur. Les parties de ces nuages éclairées par le soleil sont d'un blanc éclatant, leur base est +/- horizontale.

#### Cumulonimbus



Nuage dense et puissant, à extension verticale considérable, en forme de montagne ou d'énormes tours. Une partie au moins de sa région supérieure est généralement lisse, fibreuse ou striée, et presque toujours visible; cette partie s'étale en forme d'enclume ou de vaste panache. Au dessous de la base de ce nuage, souvent très sombre, il existe fréquemment des nuages bas déchiquetés, soudés ou non avec elle, et des précipitations de tous genres.

Figure 57: aspect des nuages rencontrés à la cote Belge (d'après <http://www.meteo45.com>)

## 10. La faune

La **Faune** est l'ensemble des communautés animales habitant une aire donnée. Une **communauté** animale, ou **zoocénose**, est un ensemble de populations de différentes espèces. Une **population** est un groupe localisé d'individus de la même espèce.

Ainsi par exemple (Fig. 58), les lapins vivant dans les dunes d'Oostduinkerke forment une population distincte des lapins de la même espèce mais vivant en Ardenne. Cette population de lapins appartient à la zoocénose des dunes, tout comme les populations d'oiseaux, d'insectes, de batraciens... vivant dans ces mêmes dunes. Et ces espèces appartiennent toutes, ainsi que d'autres, à la faune de Belgique.

Zoocénose, phytocénose<sup>30</sup>, mycocénose<sup>31</sup>... vivant sur un même **biotope** (les dunes d'Oostduinkerke dans notre exemple) forment ensemble un **écosystème**. Le biotope se définit par ses facteurs abiotiques (sol, éclairage, précipitations, vents dominants...), et ses caractéristiques physiques, chimiques, topographiques explicités dans les chapitres précédents.

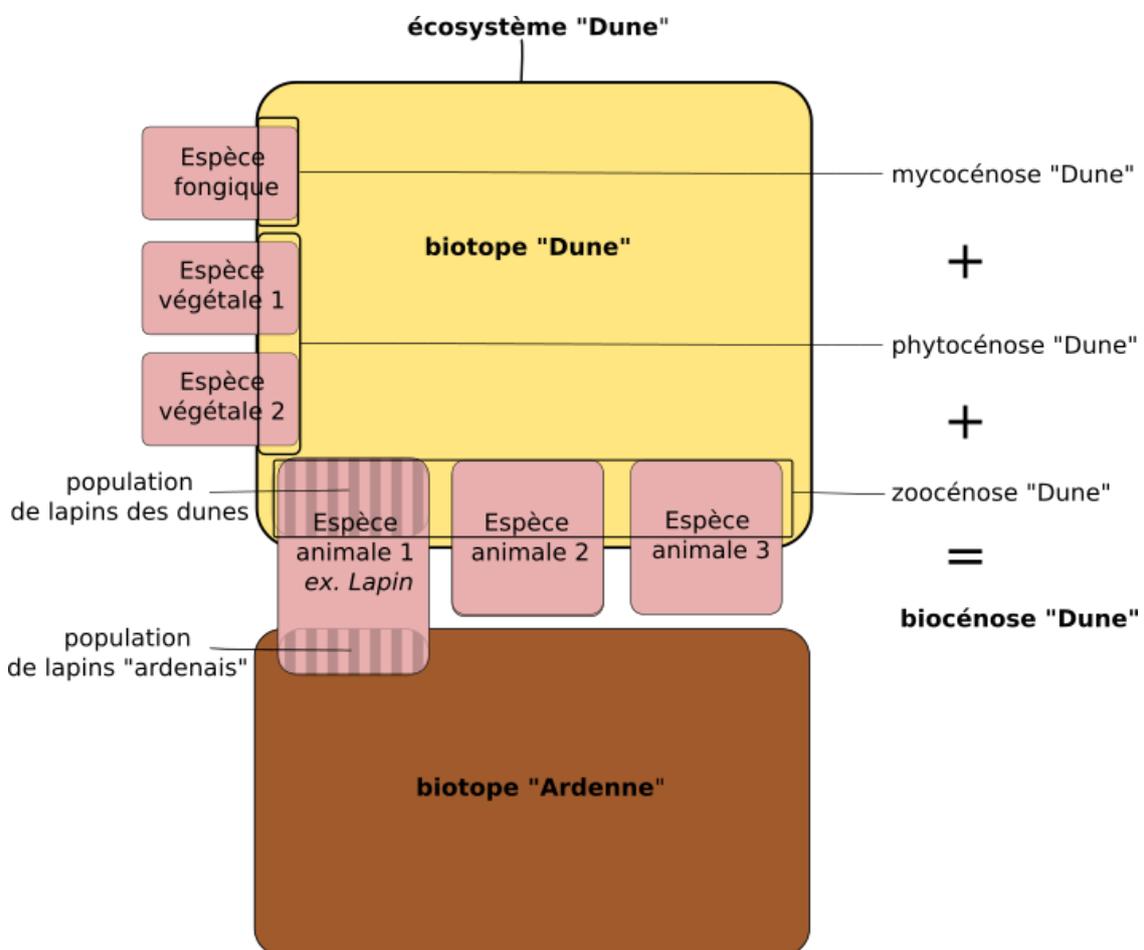


Figure 58 : représentation schématique des niveaux d'organisation écologique

<sup>30</sup> Une **phytocénose** est une communauté de végétaux.

<sup>31</sup> Une **mycocénose** est une communauté de mycètes.



## B. Les cténares (cténophores)

Les cténares sont animaux marins planctoniques à symétrie radiaire, globuleux et gélatineux (d'où leur nom de groseilles de mer) bordés de 8 rangées de cils vibratiles (peignes) qui leur permettent de nager. Ils sont traversés par un tube digestif qui s'ouvre par une bouche au pôle inférieur et un anus au pôle supérieur. Carnivores, ils capturent leurs proies à l'aide de cellules collantes (colloblastes) parfois portées par des tentacules. Ils sont hermaphrodites.



Groseille de mer - *Pleurobrachia pileus* (Wikipedia)

## C. Les cnidaires (coelentérés)

Les cnidaires sont des animaux aquatiques à symétrie radiaire et armés de tentacules garnis de cellules urticantes (cnidocytes) qui leur permettent de capturer leurs proies. Ils sont carnivores ou planctonophages. Ils alternent une phase de reproduction sexuée gonochorique<sup>32</sup> avec fécondation externe et une phase de reproduction asexuée par scissiparité ou bourgeonnement. Leur cycle de vie alterne un stade fixé (**stade polype**) avec un stade libre (**stade méduse**). Leur tube digestif est un cul de sac (cavité gastrique) : ils n'ont pas d'anus.

On rencontre 3 classes en Mer du Nord :

### Les anthozoaires (= anémones)

Animaux marins solitaires (anémones de mer) ou coloniaux (corail). Le principal stade de vie est le stade polype, fixé sur un substrat rocheux.



Tomate de mer - *Actinia equina*

### Les scyphozoaires (= méduses)

Animaux marins et solitaires. Le stade adulte est de type méduse, libre et planctonique. Le principal stade de vie est le stade méduse, libre, pélagique et planctonique.



Aurélie - *Aurelia aurita*

### Les hydrozoaires (= hydres)

Animaux marins ou dulçaquicoles (eau douce), solitaires (hydres) ou coloniaux (corail, draps marin). Le principal stade de vie est le stade polype, fixé sur un substrat rocheux.



*Sertularia cupressina*

<sup>32</sup> Le **gonochorisme** est un mode de reproduction où un même individu n'est pas porteur de plus d'un sexe (soit mâle, soit femelle).

## D. Les bryozoaires (ectoproctes)

Les bryozoaires (animaux mousses) sont des animaux coloniaux essentiellement marins et fixés sur les fonds rocheux ou sur d'autres animaux benthiques. Chaque individu ou zoécie (Fig. 60) vit dans une petite loge chitineuse. Les colonies ont une forme propre à chaque espèce.

Animaux filtreurs, leur bouche est entourée d'une couronne de tentacules (le lophophore) rétractable qui crée un courant d'eau afin de capturer le microplancton. Leur tube digestif forme un U et l'anus s'ouvre juste à côté du lophophore.

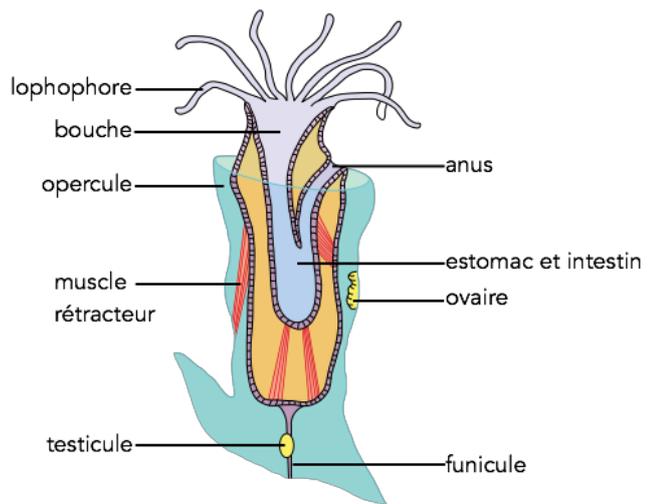


Figure 60 : schéma d'une zoécie

Ils sont hermaphrodites protandres<sup>33</sup> et la colonie est constituée de clones issus d'une reproduction asexuée par bourgeonnement qui restent en contact par un funicule.



Flustre – *Flustra foliacea*  
© Malcolm Storey 2011-2115



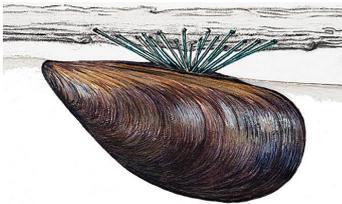
Conopeum réticulé - *Conopeum reticulum*

<sup>33</sup> L'**hermaphrodisme protandre** désigne un phénomène dans lequel l'individu est morphologiquement mâle puis femelle.

## E. Les mollusques

Les mollusques sont des animaux qui disposent d'un pied musculueux et d'un manteau qui sécrète une coquille (communément appelée coquillage<sup>34</sup>) et qui délimite une cavité palléale. Leur bouche renferme une structure chitineuse appelée radula.

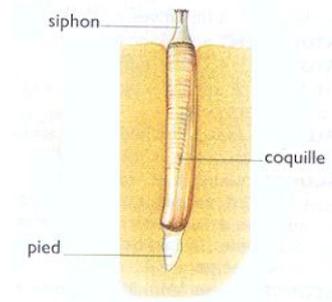
Les **bivalves** ont une coquille formée de 2 valves articulées. Ils sont tous aquatiques et peuvent vivre posés sur le fond (coquille Saint-Jacques), accrochés aux rochers (moules) ou enfouis dans le sable (coqueaux). Ce sont des animaux filtreurs et gonochoriques. Leur pied ressemble à une langue. Ils n'ont ni tête ni radula.



Moule - *Mytilus edulis*  
(www.larousse.fr)

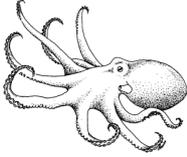
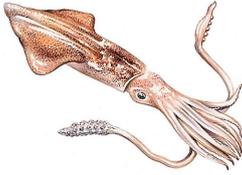
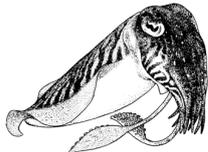


Coquille Saint-Jacques - *Pecten maximus*  
(Legranche)

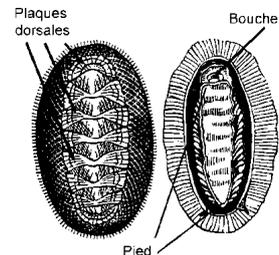


Coqueau - *Solen* sp.  
(http://gourmetpedia.org)

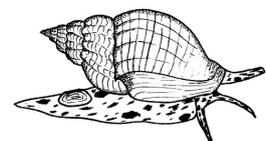
Les **céphalopodes** ont des tentacules autour de la bouche (c'est le pied) et cette bouche porte un bec (la radula). Ils sont gonochoriques, tous carnivores et se nourrissent principalement de crustacés et de poissons.

Pieuvres	Calmars	Seiches
<p>pas de coquille ; 8 tentacules de même longueur.</p> 	<p>10 tentacules dont 2 plus longs qui servent à capturer les proies.</p> <p>La coquille est réduite à une plume interne et la nageoire ne fait pas le tour du manteau.</p> 	<p>La coquille est plus épaisse (os de seiche) et la nageoire fait le tour du manteau.</p> 

Les **polyplacophores** (chitons) sont des animaux marins qui rampent sur les rochers près des côtes. Leur corps est recouvert par une coquille dorsale composée de 8 plaques. Ils se nourrissent d'algues qu'ils broutent sur les rochers. La radula est une râpe.



Les **gastéropodes** (escargots et limaces) se déplacent sur un long pied. Ils portent une coquille plus ou moins enroulée. Cette coquille est réduite et interne chez les limaces. Certains sont terrestres, beaucoup sont aquatiques. Ils sont phytophages ou zoophages. La radula est toujours bien développée, parfois en forme harpon chez certains prédateurs. Ils sont hermaphrodites, parfois protandres.

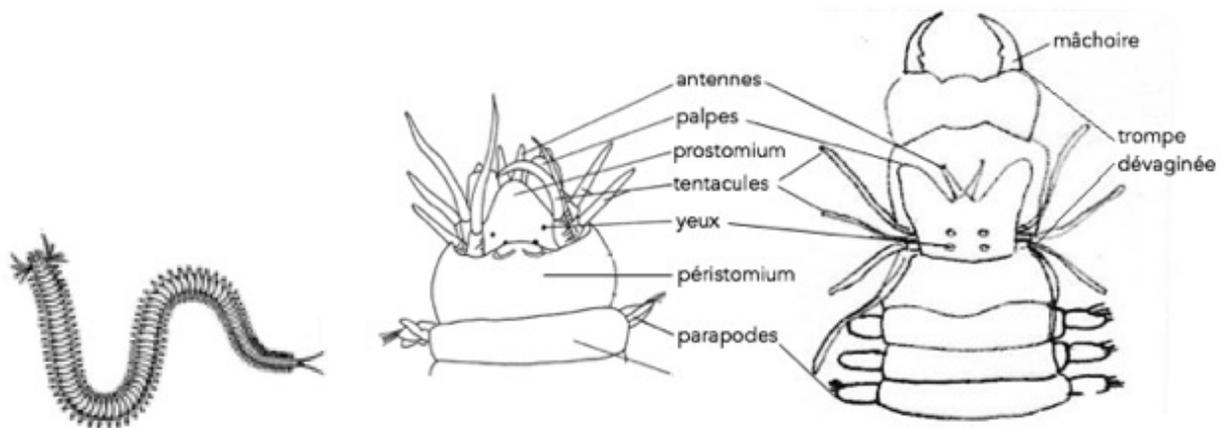


<sup>34</sup> Selon le contexte, le mot « **coquillage** » désigne soit des mollusques pourvus d'une coquille, soit la coquille elle-même vidée de l'organisme (ex. coquillages ramassés sur la plage).

## F. Les annélides

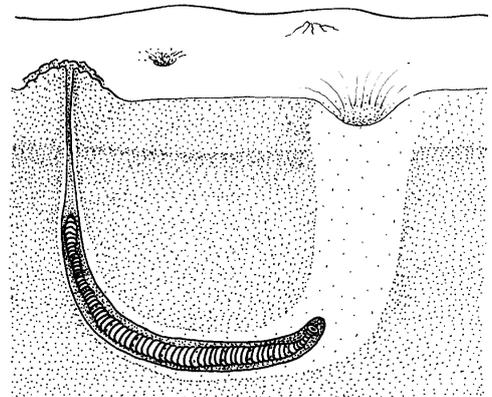
Les annélides sont des animaux au corps mou et formé de nombreux segments (anneaux) pratiquement tous identiques. Ils sont dépourvus de pattes, sont terrestres ou aquatiques, erratiques (qui se promènent) ou sédentaires, vivant alors dans un tube (tubicoles) qu'ils creusent (fouisseurs) ou qu'ils sécrètent. Ils sont filtreurs, détritivores, carnivores, herbivores ou hématophages (suceur de sang).

Les **polychètes** ont une tête avec des yeux, des mâchoires, des palpes, des antennes. Chaque segment porte une paire d'appendices locomoteurs (parapodes) terminés par de nombreuses soies rigides (d'où leur nom *poly* : beaucoup et *chetos* : soies). Ils sont tous marins, fixés ou errants, tous carnivores ou nécrophages. Ils sont gonochoriques.



Néréis verte - *Alitta virens*

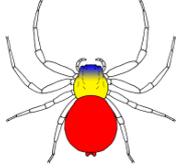
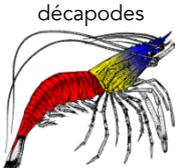
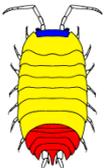
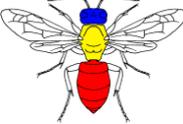
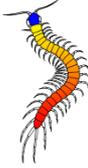
détail de la tête avec trompe rétractée à gauche, dévaginée à droite



Arénicole (*Arenicola marina*) entre les deux extrémités de son terrier. © Biodidac

Les **oligochètes** (peu de soies) n'ont ni tête bien individualisée ni organes sensoriels saillants, ni appendices locomoteurs. Par contre, ils portent quelques petites soies le long du corps qui les aident dans leur reptation. La plupart sont détritivores et hermaphrodites. Ils peuvent être terrestres (ver de terre ou lombric) ou dulçaquicole (tubifex).

## G. Les arthropodes

Classe	Arachnides	Crustacés		Insectes	Myriapodes
		décapodes 	autres 		
Nom commun	Araignées, scorpions, acariens, tiques, opilions	Crevette, écrevisse, crabe, homard, langouste	Cloporte, puce de mer, gammare, balane, cyclops	Papillon, guêpe, mouche, coléoptère, puce, punaise	lule, scolopendre, glomérus, scutigère
Segmentation	Tête et thorax fusionnés (céphalothorax) Abdomen segmenté ou pas	Tête et thorax fusionnés (céphalothorax) Abdomen segmenté	Tête mobile Thorax segmenté ou pas Abdomen segmenté	Tête mobile Thorax avec 3 segments Abdomen avec 4 à 11 segments	Tête mobile Thorax segmenté Abdomen segmenté
Anatomie					
Antennes	Absentes (ne pas confondre avec les palpes)	Deux paires d'antennes	Une ou deux paires d'antennes	Une seule paire d'antennes	
Pièces buccales	Chélicères et pédipalpes (parfois transformées en pinces)	Mandibules et palpes (parfois fortement transformés chez les insectes)			
Yeux	2 à 8 ocelles, souvent séparées	De très nombreuses ommatidies sont regroupées et forment deux yeux à facettes, il existe toutefois des espèces aveugles ou aux yeux très réduits.			
Pattes locomotrices (thoraciques)	4 paires de pattes	5 paires de pattes 1 battant natatoire	3-7 paires de pattes	3 paires de pattes	1 ou 2 paires sur chaque segment
Pattes abdominales	Aucune	1 paire sur chaque segment	0 ou 1 paire sur chaque segment	Aucune	1 ou 2 paires sur chaque segment
Ailes	Jamais			Souvent	Jamais
Squelette	Exosquelette (carapace) fait de plaques de chitine articulées entre-elles. La chitine est souvent durcie par des inclusions de calcium chez les crustacés.				
Respiration	Poumons et/ou trachées	Branchies		Trachées (parfois branchies chez les larves aquatiques)	
Locomotion	Marche	Nage et marche	Marche	Marche, saut et vol	Marche
Milieu de vie	Terrestres	Aquatiques	Aquatiques, rarement terrestres	Terrestres ou dulçaquicoles	Terrestres (sol, litière)
Mode de vie	Libres		Libres ou fixés	Libres	
Nutrition	Carnivores ou détritivores	Carnivores, détritivores, ou nécrophages	Tous types		Carnivores ou détritivores
Reproduction	Gonochoriques - Fécondation interne – Ovipares (rarement ovovivipares) – parfois parthénogénétiques				

Les **crustacés** forment un groupe paraphylétique car il réunit tous les descendants d'un même ancêtre commun à l'exception des insectes. Les insectes sont donc des crustacés !

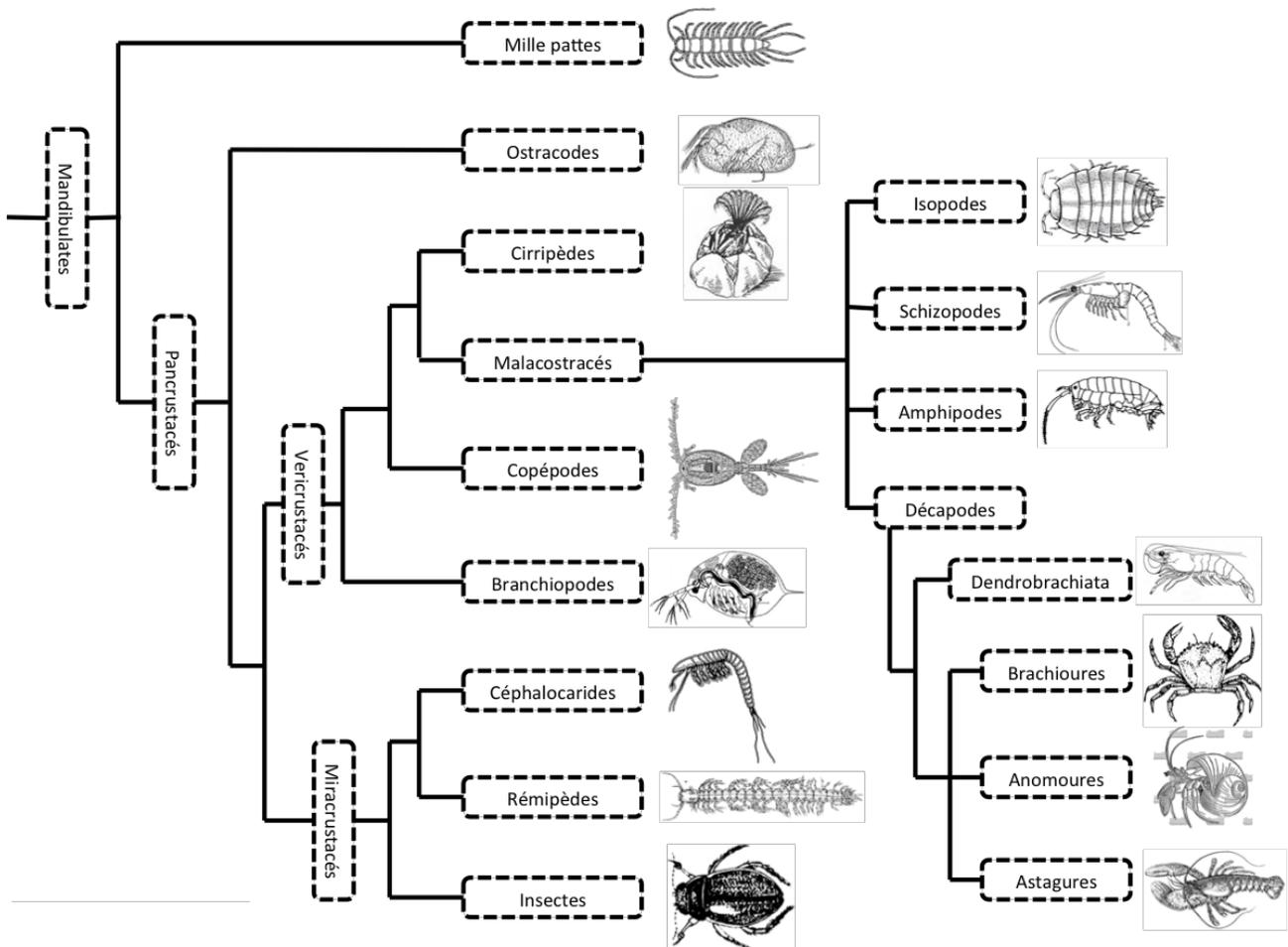


Figure 61: classification phylogénétique des mandibulates (d'après Regier et al. 2010)



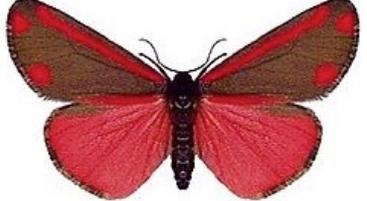
La crevette bouquet (*Palaemon seratus*) se reconnaît à son long rostre et ses zébrures. Elle n'est rose qu'une fois cuite, sinon elle est presque transparente.



La crevette grise (*Crangon crangon*) est plus petite, grise, sans zébrure ni rostre. Elle est plus commune et sa pêche à cheval se pratique encore à Coxyde.

Les **insectes** (Hexapodia) sont des crustacés terrestres. Ils ont un corps subdivisé en 3 parties (tête, thorax, abdomen). La tête porte 2 yeux à facettes, 2 antennes, 0 à 3 ocelles sur le front, des pièces buccales adaptées à leur régime alimentaire (broyeur, piqueur, lécheur, suceur). Le thorax porte 6 pattes et 4 ailes sauf chez les diptères qui n'ont que 2 ailes et les insectes aptères qui n'en ont pas (puces, fourmis...).

Les insectes sont très certainement les animaux les plus nombreux et les plus divers sur terre. En Belgique, certains insectes ne se rencontrent qu'à la côte car ils sont inféodés aux lisses de mer (*Orygma luctuosum*), à certaines plantes du littoral (Ecaïlle du séneçon, sphinx de l'euphorbe, Criocères de l'asperge, Hanneton foulon) ou qui nichent dans le sable (Bembex à rostre, cicindèles).

 <p><i>Orygma luctuosum</i></p>	  <p>Ecaïlle du séneçon <i>Tyria jacobaeae</i></p>	  <p>Sphinx de l'euphorbe <i>Hyles euphorbiae</i></p>
<p>Ce diptère pond ses œufs dans les algues en décomposition des lisses de mer.</p>	<p>Le papillon comme la chenille de ces deux espèces présentent des couleurs aposématiques qui avertissent les prédateurs de leur toxicité.</p>	
 <p>Hanneton foulon (♂, ♀) - <i>Polyphylla fullo</i></p> <p>Ses larves se nourrissent des racines de l'Oyat. Il est protégé.</p>	 <p>Bembex à rostre - <i>Bembix rostrata</i></p> <p>Cette guêpe solitaire chasse des mouches qu'elle enterre dans une galerie qu'elle creuse dans le sable.</p>	 <p>Cicindèle hybride - <i>Cicindela hybrida</i></p> <p>L'adulte comme la larve (qui vit enfouie dans le sable) sont de redoutables prédateurs.</p>

## H. Les échinodermes

Les échinodermes sont des animaux à symétrie pseudo radiaire (d'apparence externe seulement) pentamère (multiple de 5) qui présentent un squelette interne (= test) immédiatement sous la peau et qui sont plus ou moins couverts de piquants (*echinos* = épine ; *derma* = peau).

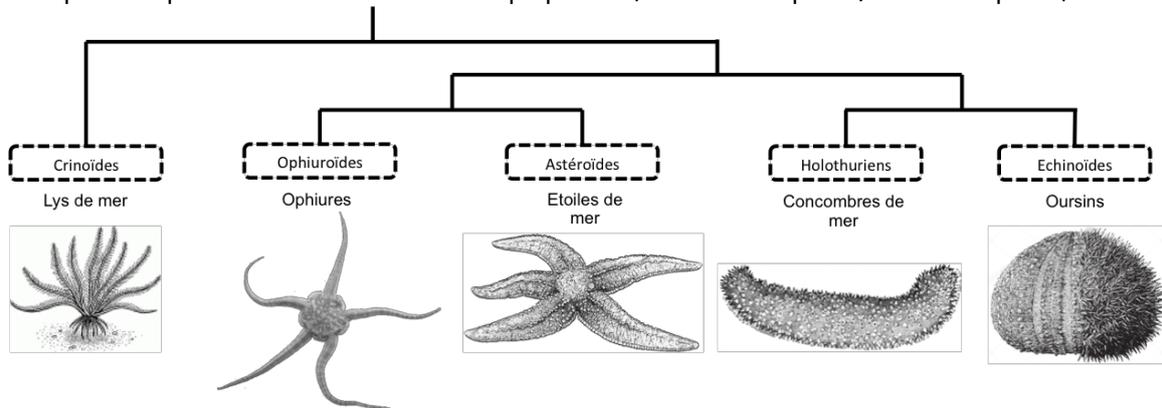


Figure 62: classification phylogénétique des échinodermes

Classe	Astéroïdes	Echinoïdes	Holothuriens	Crinoïdes	Ophiuroïdes
Symétrie	D'apparence radiaire (généralement pentamère) sauf les holothurides.				
Segmentation	Aucune au niveau du corps, les bras des ophiures et des lys de mer paraissent métamérisés.				
Anatomie	La bouche est ventrale, l'anus est dorsal, sauf chez les crinoïdes et certains oursins irréguliers (à symétrie bilatérale).				
Squelette	Endosquelette plus ou moins rigide : des plaques calcaires se trouvent juste sous la peau. Elles sont soudées chez les oursins (pour former le « test ») et articulées chez les autres.				
Respiration	L'O <sub>2</sub> de l'eau diffuse à travers la peau, notamment celle des podia. Certaines holothuries ont des poumons associés au rectum.				
Locomotion	Ils rampent grâce à une multitude de petits pieds (podia) qui ressemblent à des tubes creux terminés par une ventouse. Un réseau de canaux aquifères, à l'intérieur du corps, véhicule de l'eau de mer et communique vers l'extérieur par une plaque appelée madréporite. C'est par le jeu de pression d'eau à l'intérieur de ces canaux que l'animal déploie ou rétracte ses podia.		Ils rampent en contractant leur corps comme un ver de terre.	Ils vivent fixés au substrat comme les coraux.	Ils rampent au sol en tortillant leurs longs bras coraux.
Milieu de vie	Benthiques, à toutes les profondeurs. Certains s'enfouissent dans le sable.				
Mode de vie	Libre			Fixés	Libres
Nutrition	Carnivores ou nécrophages. Elles se nourrissent surtout de bivalves dont elles écartent les valves avec leur bras puis elles dévagent leur estomac à l'intérieur du coquillage.	La plupart broutent les algues. Certains sont détritivores ou nécrophages.	Détritivores ou filtreurs	Planctonophages : ils brassent l'eau de mer avec leurs bras pour capturer le plancton.	Nécrophages
Reproduction	Gonochoriques (parfois hermaphrodites) - Fécondation externe				

## I. Les chondrichthyens

Les chondrichthyens, ou **poissons cartilagineux**, sont des vertébrés marins au squelette cartilagineux. On y trouve les raies, les requins, les chimères. Tous sont carnivores. Ils sont gonochoriques, à fécondation interne, et ovipares ou ovovivipares. Leurs nageoires sont recouvertes de la même peau que le reste du corps. Les rayons qui les soutiennent ne sont donc pas visibles. On trouve fréquemment sur la plage des œufs vides (capsules) de raie ou de petite roussette (petit requin), et parfois même des dents de requins.

## J. Les actinoptérygiens

Les actinoptérygiens, ou **poissons à nageoires rayonnées**, sont des vertébrés marins ou dulçaquicoles dont les nageoires sont membraneuses et soutenues par des rayons dermiques visibles. La figure 63 représente la classification traditionnelle simplifiée des principaux actinoptérygiens rencontrés en Belgique, en Mer du Nord ou dans les rivières. Cette classification est largement remise en question.

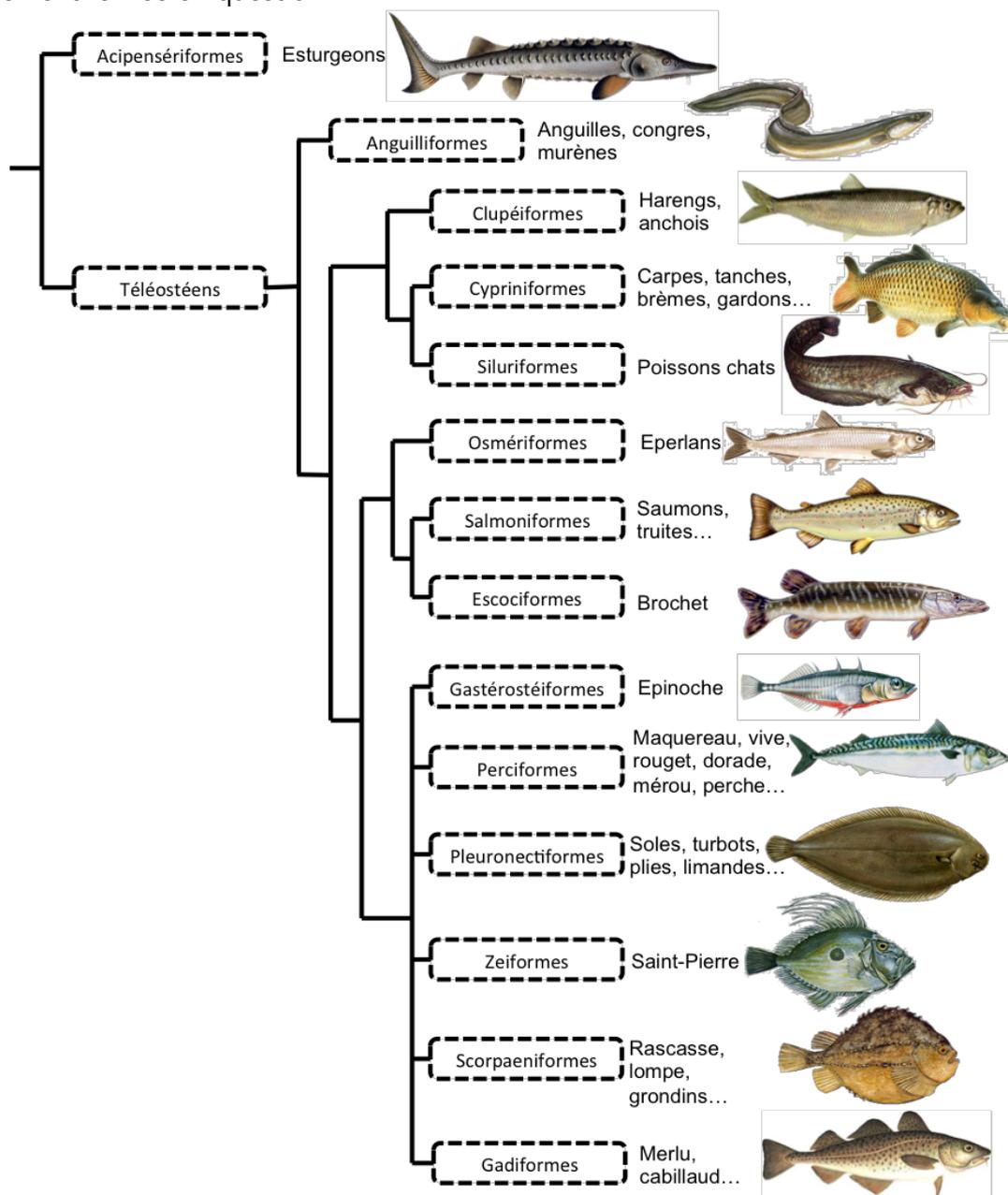


Figure 63 : classification phylogénétique des Actinoptérygiens (d'après Lecointre et al., 2010)

## K. Les amphibiens

Les amphibiens sont des tétrapodes qui n'ont que 4 doigts à la patte antérieure. Ils sont terrestres ou dulçaquicoles à peau nue et leurs larves (têtards) sont dulçaquicoles. L'accouplement et la ponte se font donc toujours dans l'eau (ou à proximité immédiate). Leur peau nue sécrète un mucus qui peut-être toxique. Il faut donc les manipuler avec prudence et se laver les mains. Ils sont tous protégés en Europe et ne peuvent donc être manipulés que pour des raisons pédagogiques et à condition de les relâcher aussitôt. Ils ne supportent pas l'eau de mer, aussi les trouvera-t-on uniquement dans les dunes, les bois, les rivières et les mares. Tous sont carnivores (vers, insectes, petits vertébrés).

Les espèces que nous avons le plus de chance de rencontrer sont : le triton ponctué (*Triturus vulgaris*), la grenouille rousse (*Rana temporaria*), les grenouilles vertes (*Rana lessonae* et *Rana esculenta*), le crapaud commun (*Bufo bufo*), le crapaud calamite (*Bufo calamita*).

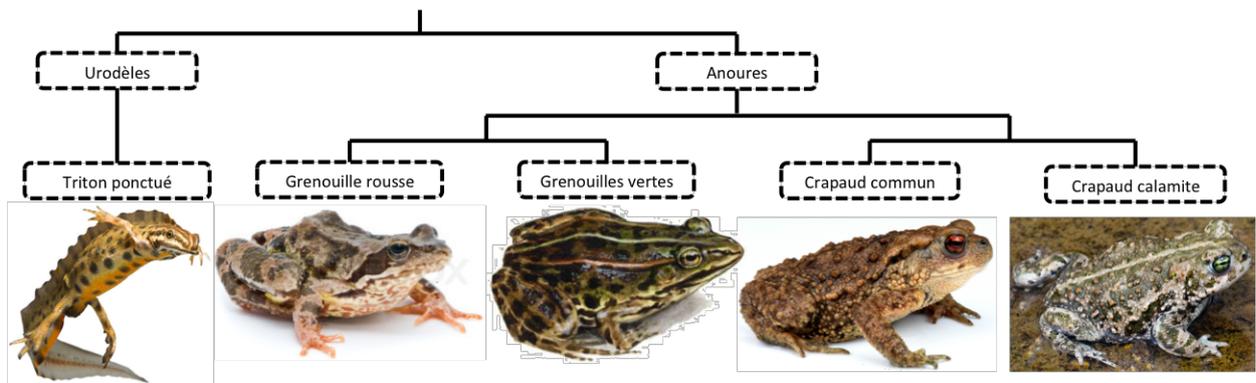


Figure 64 : classification phylogénétique des amphibiens les plus courants de la côte belge (d'après Decocq & Monnom, 2009).

Les **Urodèles** (tritons et salamandres) ont quatre pattes de même taille, une longue queue et un corps allongé. Leurs têtards ont la même morphologie mais disposent de branchies latérales derrière la tête.

Les **Anoures** ont perdu leur queue. Leur corps est plus trapu et leurs pattes postérieures sont adaptées au saut. Leurs tympanes sont bien visibles. Leurs têtards sont très différents : ils n'ont pas de pattes mais une longue queue qui leur sert à nager.

Les grenouilles (*Rana* sp.) ont la peau lisse et de très grandes pattes postérieures. Les grenouilles rousses ont un masque sombre depuis les épaules jusqu'aux yeux. On les trouve la plupart du temps dans les forêts et les prairies humides. Les grenouilles vertes se trouvent dans ou au bord d'un point d'eau. Toutes se déplacent sur terre en sautant.

Les crapauds ont la peau sèche et verruqueuse. Ils ne se déplacent pas en sautant mais en marchant ou en courant. Deux grosses glandes parotoïdes font saillie derrière leurs yeux. Elles sécrètent un liquide toxique. Le crapaud calamite se distingue facilement du crapaud commun par une longue ligne jaune le dos.

## L. Les mammifères

Les mammifères sont des tétrapodes endothermes<sup>35</sup>, vivipares et qui allaitent leurs petits. Les mammifères terrestres sont généralement recouverts de poils. Certains mammifères marins ont perdu ce pelage (cétacés).

Dans les dunes, le mammifère le plus commun est le lapin (*Oryctolagus cuniculus*). Cette espèce appartient à l'ordre des Lagomorphes, proche de celui des rongeurs. Sa présence permet de maintenir des dunes blanches et ses terriers servent d'habitat à d'autres animaux tels que les tadornes de belon.

De nombreux mammifères brouteurs sont utilisés par l'Homme pour maintenir des espaces ouverts dans les dunes et empêcher leur colonisation par la forêt : chevaux (Konik), poneys (Island, Shetland, Exmoor, New Forest), ânes, bœufs écossais, moutons. Toutes ces races domestiques ont été choisies pour leur rusticité<sup>36</sup>.



Cheval Konik



Poney Shetland



Bœuf écossais

Sur les plages, les brise-lames et dans les estuaires, on rencontre parfois le **phoque** commun ou veau-marin (*Phoca vitulina*), très rarement le phoque gris. Comme le renard, le chien et le chat, il appartient à l'ordre des Carnivores mais sont exclusivement piscivores.



Phoque veau marin



De nombreux cétacés nagent au large de notre côte : baleines, rorqual, dauphins, orques, marsouins, bélugas... et même cachalot. Le plus abondant reste le marsouin commun (*Phocoena phocoena*). Il est piscivore.

Marsouin commun

<sup>35</sup> Les animaux **endothermes** produisent leur température corporelle grâce à leur métabolisme interne. Anciennement dénommés à tort, animaux « à sang chaud ».

<sup>36</sup> La **rusticité** est l'aptitude d'une plante ou d'un animal à supporter des conditions de vie difficiles.

## M. Les squamates (ou lépidosauriens)

Les squamates regroupent tous les **lézards** et les **serpents**. Ce sont des tétrapodes couverts d'écaillés et qui muent régulièrement par grands lambeaux de peau chez les lézards et par la peau toute entière chez les serpents. Ils sont ectothermes<sup>37</sup> et ovipares ou ovovivipares. La fécondation est interne. Les femelles pondent leurs œufs dans des tas de pierres ou dans l'humus. Tous les squamates de Belgique sont carnivores mais en région tropicale, certains sont frugivores ou herbivores (iguanes).

Il n'y a pas de lézards ou de serpents marins en Belgique, ils sont tous terrestres. Dans les dunes, on ne rencontre que le lézard vivipare (*Zootoca vivipara*) qui est ovovivipare.



Lézard vivipare

## N. Les oiseaux (archosauriens)

Les archosauriens réunissent les **crocodiliens** et les **dinosauriens**. Les premiers ne vivent que sous les climats chauds, les seconds ont tous disparus à l'exception des oiseaux. Ils ont en commun quatre doigts à la patte postérieure et un système digestif particulier comprenant un gésier.

Les oiseaux sont des animaux bipèdes capable de voler (sauf exception), endothermes, ovipares, couverts de plumes et portant un bec corné. La forme de leur bec (Fig. 65), celle de leurs ailes (Fig. 68) et celle de leurs pattes (Fig. 67) sont révélatrices de leur régime alimentaire, de leur capacité et mode de vol, de leur habitat.

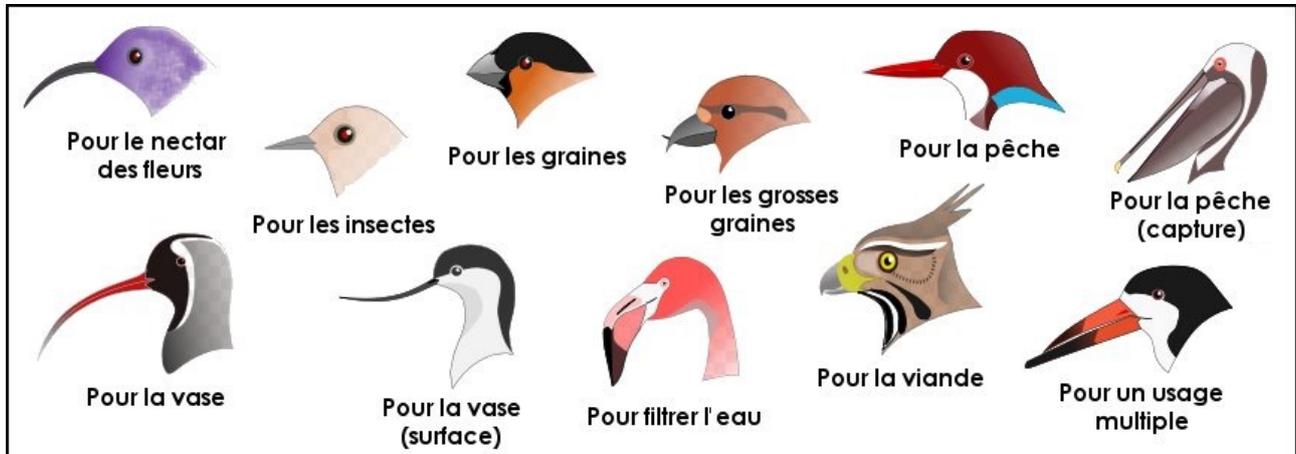


Figure 65 : forme du bec et régime alimentaire

Pour un même régime alimentaire, la longueur du bec (Fig. 66) permet une répartition des ressources. Chez les oiseaux limicoles<sup>38</sup>, les becs les plus longs permettent d'attraper les vers les plus profondément enfouis.

<sup>37</sup>Les animaux **ectothermes** ne peuvent contrôler eux-mêmes leur température interne. Anciennement dénommés, à tort, animaux « à sang froid ».

<sup>38</sup> Les **limicoles** sont de petits échassiers appartenant à l'ordre des Charadriiformes. Leur régime alimentaire est constitué de petits invertébrés vivant dans la vase (limus = boue).

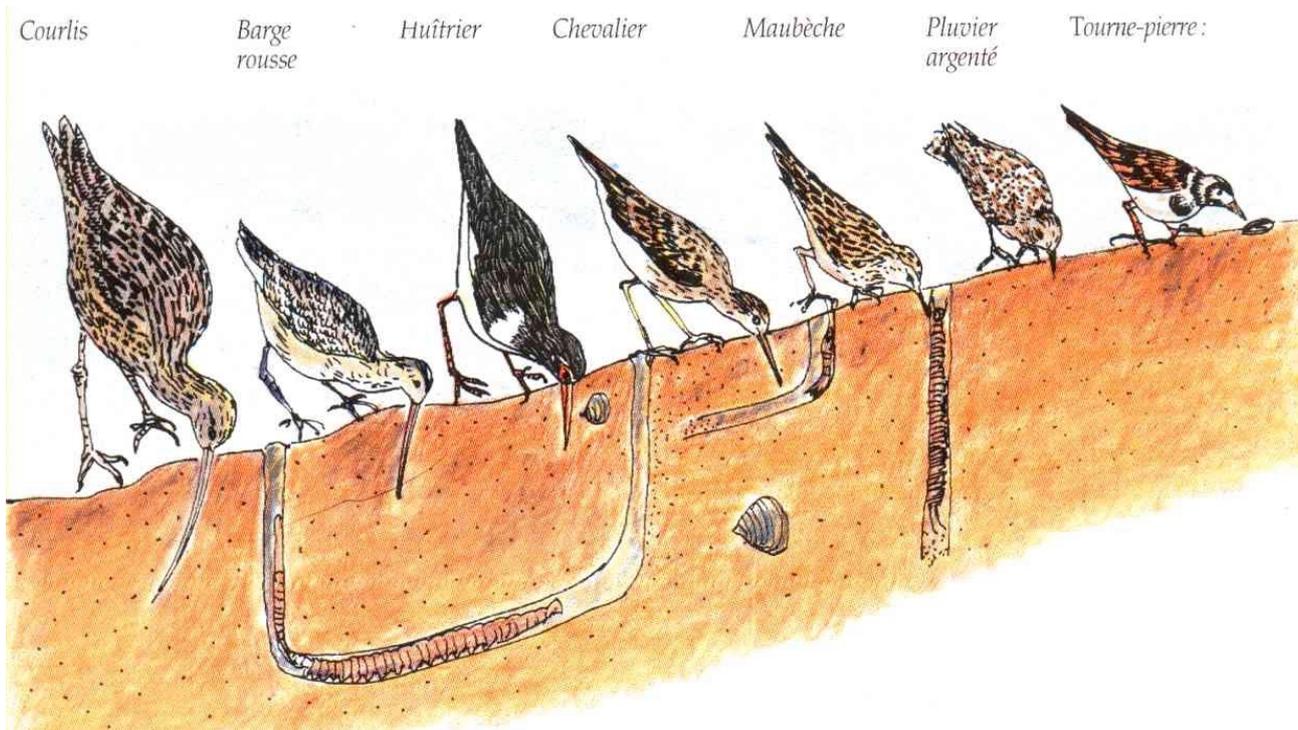


Figure 66: la longueur du bec des oiseaux limicoles permet une répartition des ressources alimentaires.

A marée haute, ces mêmes oiseaux limicoles se répartissent les différentes profondeurs d'eau en fonction de la longueur de leurs pattes (d'où leur nom d'échassiers<sup>39</sup>) (Fig. 67). Les pattes palmées des palmipèdes<sup>40</sup> permettent la nage (canards).



Figure 67: la longueur des pattes chez les échassiers permet l'accès à différentes hauteurs d'eau.

<sup>39</sup> Les **échassiers** sont un groupe polyphylétique d'oiseaux caractérisés par de longues pattes leur permettant de marcher dans les eaux peu profondes ou dans la vase sans se mouiller ou se salir les plumes. Ils se nourrissent des animaux qu'ils débusquent ou pêchent : crustacés, insectes, poissons, amphibiens, bivalves, vers, plancton...

<sup>40</sup> Les **palmipèdes** sont un groupe polyphylétique d'oiseaux caractérisés par leurs pattes palmées qui leur permettent de nager lorsqu'ils flottent sur l'eau ou qu'ils plongent. On y trouve des phytophages (oies, canards), des piscivores (cormoran, sternes), des molluscivores (tadorne), des omnivores (goélands)...

Les ailes peuvent se classer en 4 grandes catégories :

- **les ailes élliptiques** donnent un vol lent mais très manoeuvrable. Ex. : corbeau, passereaux, caille...
- **les ailes à grande vitesse** sont effilées et modérément longues. L'oiseau doit battre des ailes en continu mais peut fondre à grande vitesse sur sa proie (faucon, sternes, martinet) ou migrer sur de longue distance (limicoles et canards).
- **les ailes à grand allongement** sont étroites et très longues. Elles permettent un vol plané sur de longues distances, surtout en mer où il n'est pas possible de se poser (albatros, fou de Bassan, goéland).
- **les ailes larges et digitées** sont moyennement longues et les plumes des extrémités sont écartées comme les doigts de la main. Ces ailes sont bien adaptées au vol lent et plané comme celui des rapaces qui doivent porter de lourdes proies.

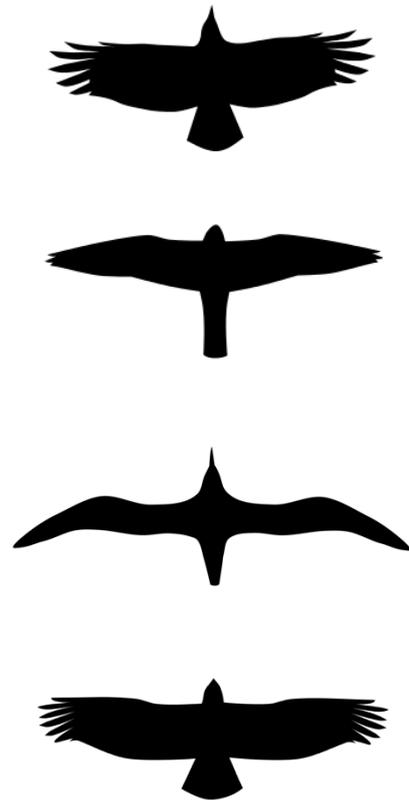


Figure 68 : forme des ailes

Les oiseaux les plus fréquents sur les bords de la mer du Nord.

Ordre des Ciconiiformes		
Famille des Ardeidae		Famille des Threskiornithidae
<p>Le héron cendré <i>Ardea cinerea</i></p>	<p>Aigrette garzette <i>Egretta garzetta</i></p>	<p>Spatule blanche <i>Platalea leucorodia</i></p>
<p>Zoophages (poissons, vers, mollusques, insectes, crustacés). Nichent en groupe dans les arbres (héronières). Volent le cou replié</p>		<p>Planctonophage. Niche au sol. Vol le cou tendu</p>

## Ordre des Charadriiformes

### Famille des Scolopacidae



Tournepierre à collier  
*Arenaria interpres*

Se nourrit des petits invertébrés qu'il trouve en retournant les pierres. Niche au sol.



Chevalier gambette  
*Tringa totanus*

Limicole. Niche au sol.



Chevalier guignette  
*Actitis hypoleucos*

Limicole. Niche au sol.



Courlis cendré  
*Numenius arquata*  
Limicole. Niche au sol dans les prairies



Avocette élégante  
*Recurvirostra avosetta*  
Limicole. Niche au sol dans une cuvette remplie de débris végétaux.



Pluvier argenté  
*Pluvialis squatarola*  
Limicole. Niche dans un creux du sol, avec des brindilles, du foin et des feuilles.

### Famille des Laridae

Tous plus ou moins piscivores. Nichent sur les falaises ou sur le sable.



Goéland argenté  
*Larus argentatus*  
Pattes roses – tache rouge sur le bec – dos gris clair



Goéland cendré  
*Larus canus*  
Pattes jaunes – pas de rouge sur le bec – dos gris clair

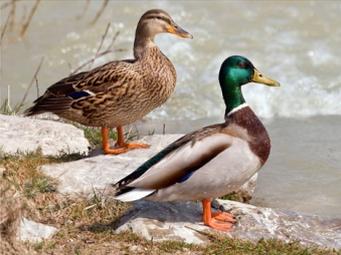


Goéland brun  
*Larus fuscus*  
Pattes jaunes – tache rouge sur le bec – dos gros ardoise



Mouette rieuse  
*Chroicocephalus ridibundus*

	Famille des Haematopodidae	Famille des Charadriidae
<p>Sterne caugek <i>Thalasseus sandvicensis</i></p>		
	<p>Huîtrier pie <i>Haematopus ostralegus</i> Essentiellement molluscivore. Niche dans un creux dans le sable ou dans les galets.</p>	<p>Vanneau huppé <i>Vanellus vanellus</i> Insectivore. Niche au sol dans les prairies humides.</p>
<p>Sterne Pierregarin <i>Sterna hirundo</i></p>		

Ordre des Anseriformes		
		
<p>Tadorne de Belon <i>Tadorna tadorna</i> Se nourrit d'hydrobie. Niche dans les terriers de lapin.</p>	<p>Canard colvert <i>Anas platyrhynchos</i> Omnivore, barboteur. Niche sur la berge.</p>	<p>Oie cendrée <i>Anser anser</i> Herbivore. Niche sur la berge.</p>

Ordre des Suliformes	Ordre des Podicipediformes	Ordre des Coraciiformes
Famille des Phalacrocoracidae	Famille des Podicipedidae	Famille des Alcedinidae
		
<p>Grand Cormoran <i>Phalacrocorax carbo</i> Piscivore plongeur. Nid en branchage en hauteur sur des rochers</p>	<p>Grèbe huppé <i>Podiceps cristatus</i> Piscivore plongeur. Nid en radeau végétal flottant.</p>	<p>Martin pêcheur <i>Alcedo atthis</i> Piscivore plongeur. Niche dans un terrier creusé sur une berge escarpée.</p>

## 11. La flore

La Flore est l'ensemble des communautés végétales habitant une aire donnée. Une communauté végétale, ou phytocénose est un ensemble de populations de différentes espèces. Ces phytocénoses constituent des **associations végétales**, groupes d'espèces que l'on trouve ensemble sur un même lieu. Nous n'envisagerons ici que les associations végétales **halophiles** (qui aiment le sel) et **paraliennes** (intermédiaire entre la zone halophile et l'intérieur des terres) (Hocquette, 1927).

Cette zone paralienne comporte des associations **xérophiles** (de milieu sec) et **psammophiles** (sur sol sableux) dans les dunes et des associations **mésophiles** (de milieu ni trop sec, ni trop humide) et **hydrophiles** (de milieu très humide, voire aquatique) dans les pannes et slikkes.

Nous ne présentons ici que les espèces végétales les plus caractéristiques des milieux rencontrés. La présence de ces espèces permet d'identifier leur association et donc leur écosystème. Il y a bien d'autres espèces que nous découvrirons sur place et que vous pouvez facilement identifier grâce au guide des « Fleurs des dunes » (Becker et al., 2007).

### A. La série psammophile (séries des dunes)

#### - L'Agropyretum

Cette association se trouve en haut de la plage au pied de la dune. Elle supporte très bien les embruns mais ne peut pas vivre dans un sol trop salé. Elle est typique des sables meubles, en perpétuel déplacement. Les petits monticules de sable qu'elles aident à former constituent les dunes embryonnaires.

La plante indicatrice de cette association est le chiendent à feuilles de jonc (*Agropyron junceiforme*). Elle s'associe à la roquette de mer (*Cakile maritima*) et à la soude de mer (*Salsola kali*).



Chiendent à feuilles de jonc



Roquette de mer



Soude de mer

## - L'Ammophiletum

Les plantes de cette association forment des réseaux souterrains de tiges (rhizomes) qui contribuent à fixer les dunes mobiles ou dunes blanches.

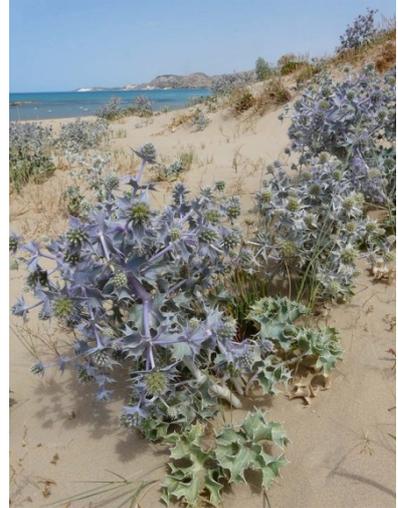
La plante indicatrice de cette association est l'oyat (*Ammophila arenaria*) souvent associée à l'euphorbe des dunes (*Euphorbia paralias*) et au panicaut des dunes (*Eryngium maritimum*).



Oyat



Euphorbe des dunes



Panicaut des dunes

Autres espèces fréquemment rencontrées dans ce milieu : chou marin (*Crambe maritima*), élyme des sable (*Elymus arenarius*), laïche des sables (*Carex arenaria*), salsifis des prés (*Tragopogon pratensis*).

## - L'association à *Tortula ruraliformis*

Entre les dunes fixées, là où le vent et le soleil évaporent l'humidité du sol moins rapidement, s'installe un tapis de mousse (*Tortula ruraliformis*). Cette bryophyte (mousse) se dessèche au soleil et prend une couleur brune mais à la moindre brume, elle se réhydrate et prend une belle couleur verte. Le sable n'étant plus visible, ces dunes portent le nom de dunes grises.

A coté d'elle, poussent le gaillet jaune (*Galium verum*) et la pensée des dunes (*Viola curtisii*).



*Tortula ruraliformis*



Gaillet jaune



Pensée des dunes

Autres espèces fréquemment rencontrées dans ce milieu : orpin âcre (*Sedum acre*), bec de cigogne (*Erodium cicutarium dunense*), buglosse officinale (*Anchusa officinalis*), cynoglosse

officinale (*Cynoglossum officinalis*), vipérine (*Echium vulgare*), asperge (*Asparagus officinalis*), séneçon de Jacob (*Senecio jacobea*), claytonie perfoliée (*Claytonia perfoliata*), morelle douce-amère (*Solanum dulcamara*), carline (*Carlina vulgaris*), rose pimprenelle (*Rosa pimpinellifolia*), bugrane épineuse (*Ononis spinosa*), héliantheme jaune (*Helianthemum nummularium*), plantaincorne-de-cerf (*Plantago coronopus*), thym serpolet (*Thymus pulegioides*), bryone (*Bryonia dioica*), onagre à grandes fleurs (*Enothera erythrocephala*).

#### - Les broussailles à argousier et saule rampant

Une fois la dune fixée et les mousses installées, les graines de nombreuses autres plantes peuvent alors arriver et trouver l'humidité nécessaire pour germer. Les broussailles commencent alors à envahir la dune. Deux plantes pionnières sont typiques des broussailles de nos dunes : l'argousier (*Hypophae rhamnoides*) et le saule rampant (*Salix repens*).



Argousier



Saule rampant

L'argousier est une plante de climat plutôt frais qui supporte mal les fortes chaleurs. C'est pourquoi il se plaît bien sur notre côte où l'influence de la mer adoucit les chaleurs estivales. Il apprécie aussi tout particulièrement les sables riches en calcaire. Ses fruits sont comestibles et très riches en vitamine C.

Autres espèces fréquemment rencontrées dans ce milieu : troène (*Ligustrum vulgaris*), sureau noir (*Sambucus nigra*), peuplier blanc (*Populus alba*).

#### **B. La série hydrophile halophile (séries des vasières et des prés salés)**

Les plantes de cette série apprécient les milieux très humides, régulièrement inondés par de l'eau de mer ou saumâtre tels que les prés salés et les vasières.

##### - Le **Salicornietum**

Cette association se trouve dans les zones horizontales envahies deux fois par jour par les marées de mortes eaux, les Slikkes, où les sables sont constamment humides et fortement salés.

Deux espèces végétales sont caractéristiques de cette association : la salicorne (*Salicornia europaea*) et la suédée maritime (*Suaeda maritima*).



Salicorne



Suédée maritime



Spartine anglaise

Ces deux plantes grasses résistent à l'eau salée en étant elles-mêmes plus salées que l'eau de mer, ce qui inverse la pression osmotique et leur permet de capter de l'eau au lieu d'en perdre. La salicorne (ou haricot de mer) est une plante comestible très appréciée des gourmets. La suédée n'est pas comestible.

Autre espèce fréquemment rencontrée dans ce milieu : spartine anglaise (*Spartina townsendii*) importée d'Amérique du Sud par les Anglais pour sa capacité à fixer le sable afin de gagner des terres sur la mer. Elle envahit depuis lors les vasières de Belgique qu'elle contribue à faire disparaître (espèce exotique envahissante).

#### - L'association à *Aster maritime*

Cette association se trouve dans les zones horizontales qui ne sont envahies que par les marées de vives eaux : les Schorres ou prés salés.

Trois espèces végétales sont caractéristiques de cette association : l'*Aster maritime* (*Aster tripolium*), la spergulaire marginée (*Spergularia marginata*) et le plantain maritime (*Plantago maritima*).



Aster maritime

Les feuilles de cette espèce, appelée « oreille de cochon », sont comestibles.



Spergulaire marginée

Les fleurs sont toutes petites et se referment lorsque la marée monte pour garder les étamines au sec.



Plantain maritime

On distingue facilement cette espèce du plantain commun par ses feuilles très étroites.

Autres espèces fréquemment rencontrées dans ce milieu : obione faux pourpier (*Halimione portulacoïdes*), la spergulaire maritime (*Spergularia marina*), lavande de mer (*Limonium vulgare*), armoise maritime (*Artemisia maritima*), glaux maritime (*Glaux maritima*), trèfle porte-fraise (*Trifolium fragiferum*), betterave maritime (*Beta vulgaris maritima*).

### C. La série hydrophile non halophile

Les plantes de cette série apprécient les milieux très humides, régulièrement inondés par de l'eau douce telles que les bords de rivières, de mares et les pannes.

#### - L'association à Parnassie

Cette association se trouve dans la partie la plus basse de la panne humide, celle qui est presque toujours inondée en hiver.

Sa plante indicatrice est la parnassie des marais (*Parnassia palustris*). Elle est souvent associée à l'épipactis des marais (*Epipactis palustris*) et à la pyrole à feuille ronde (*Pyrola rotundifolia*).



Parnassie des marais

Les feuilles de cette espèce, appelée « oreille de cochon », sont comestibles.



Epipactis des marais

L'une des orchidées les plus communes de notre littoral.



Pyrole à feuille ronde

Autres espèces fréquemment rencontrées dans ce milieu : érythrée du littoral (*Centaurium littorale*), chlore perfoliée (*Blakstonia perfoliata*), sagine noueuse (*Sagina nodosa*), mouron d'eau (*Samolus valerandi*), écuelle d'eau (*Hydrocotyle vulgaris*), menthe aquatique (*Mentha aquatica*), lysimaque commune (*Lysimachia vulgaris*), salicaire (*Lythrum salicaria*), orchis musc (*Herminium monorchis*), épipactis à feuille large (*Epipactis heleborine*), bugrane rampante (*Ononis repens*), euphrasie officinale (*Euphrasia stricta*), rhinanthè crête-de-coq (*Rhinanthus alectolophus*), polygala vulgaire (*Polygala vulgaris*).

En dehors des pannes, à proximité des points d'eau, on trouvera également les espèces suivantes : épilobe hérissé (*Epilobium hirsutum*), pulicaria dysentérique (*Pulicaria dysenterica*).

## Bibliographie

- Albouy V. (2004). Guide des curieux du bord de mer, Paris : Delachaux et Niestlé, 200 p.
- Becker S. (Ed.), Willaert C. (Ed.), Rofidal A. (Dir.), 2007. Ecoguide Tijftjaf : Les laisses de mer de Gravelines à Nieuwpoort, 76 p.
- Becker S. (Ed.), Willaert C. (Ed.), Rofidal A. (Dir.), 2007. Ecoguide Tijftjaf : Les fleurs des dunes de Gravelines à Nieuwpoort, 79 p.
- Bournérias M., Pomerol C. & Turquier Y., 1992. La Manche de Dunkerke au Havre. 2<sup>nd</sup> éd. Delachaux et Niestlé Ed., 248 pp.
- Cabioc'h J., Floc'h J.-Y., Le Toquin A., Boudouresque C. F., Meinesz A., Verlaque M. (1992). Guide des algues des mers d'Europe, Paris : Delachaux et Niestlé, 231 p.
- Decocq O. & Monnom S., 2009. Les batraciens et reptiles de Belgique, avec clés d'identification. Ed. Entente nationale pour la protection de la nature, 72 p.
- De Langhe J.-E., Delvosalle L., Duvigneaud J., Lambinon J. & Vanden Berghen C., 1983. Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des Régions voisines. 3<sup>e</sup> édition. Ed. du Patrimoine du Jardin botanique national de Belgique, Meise, 1016 p.
- Denoux E. (2010). Circulation thermohaline disponible sur <http://acces.ens-lyon.fr>
- Guincher A. (1954), Morphologie littorale et sous-marine, Paris: Orbis, 215 p.
- Heinrich D. et Hergt Manfred (1996). Atlas de l'écologie. La Pochothèque. LGF - Livre de Poche, 283 p.
- Hocquette M., 1927. Etude sur la végétation et la flore du littoral de la mer du nord de Nieuport a Sangatte. Archives de botanique, I.(4), 179pp. + 9pls.
- Lamotte G., 1998. La Mer du Nord, du Zoute à La Panne. Bernard Gilson Ed., 295 p.
- Le Calvé O. Propriétés Physiques du Milieu Marin disponible sur <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/>
- Leclerc V. et Floc'h J. Y. (2010). Le secret des algues. Versailles: Quae, 166 p.
- Lecointre G. & Le Guyader H., 2001. Classification phylogénétique du vivant. 2<sup>e</sup> édition. Belin, Paris.
- Lecointre G., Gallut C., Chanet B. & Dettai A., 2010. Du rифi chez les poissons. Pour la Science, n°390, p. 53-63.
- Pirazzoli P. A. (1993). Les littoraux. Paris : Nathan Université, 1993, 191 p.
- Svensson L., Mullarney K. & Ztterström D, 2010. Le guide ornitho. Delachaux et Niestlé Ed., 448 p.