

Cours

Structure fonctionnement et production des communautés

terrestres et aquatiques. Partie II. Aquatique

▪ Section (LFSV3-SVE) ▪

AU : 2018 – 2019

SOMMAIRE

Chapitre I : Introduction, les écosystèmes

La chaîne alimentaire

Chapitre II : Écosystèmes marins

Chapitre III : Écosystèmes aquatiques continentaux

-eaux stagnantes

-eaux courantes

Chapitre IV : Écosystèmes particuliers (zones

humides)

Chapitre I : Introduction

I. Le concept d'écosystème

A. Définitions

* Un écosystème est un ensemble dynamique d'organismes vivants (plantes, animaux et micro-organismes) qui interagissent entre eux et avec le milieu (sol, climat, eau, lumière) dans lequel ils vivent.

Un écosystème est formé de deux composants: La **biocénose** et le **biotope**. La biocénose est un ensemble des facteurs biotiques (Facteurs vivants) formé par l'ensemble des êtres vivants: la faune (Les animaux) et la flore (Les végétaux) Le biotope est un ensemble des facteurs abiotiques (Facteurs non vivants) formé par les facteurs climatiques et les facteurs édaphiques.

Les dimensions des écosystèmes peuvent varier considérablement; ils peuvent être très petits, comme une mare ou un arbre mort, ou être gigantesques, comme la Terre. Un écosystème peut aussi se définir en fonction principalement de la végétation, d'une espèce animale ou du relief, par exemple.

*** La population et le peuplement**

- La population: Est un ensemble des êtres vivants qui appartiennent à la même espèce et qui occupent le même écosystème:
- Le peuplement: C'est l'ensemble des populations animales et végétales qui occupent le même écosystème

B. Le fonctionnement des écosystèmes

À l'image d'un organisme vivant, un écosystème, la planète dans sa globalité (écosphère) « fonctionne » dans un certain équilibre ou **homéostasie**. L'interdépendance entre les différents organismes qui composent la biocénose avec le biotope peut être illustrée dans la figure 1 représentant un modèle d'écosystème avec ses différents compartiments et cycles schématisés.

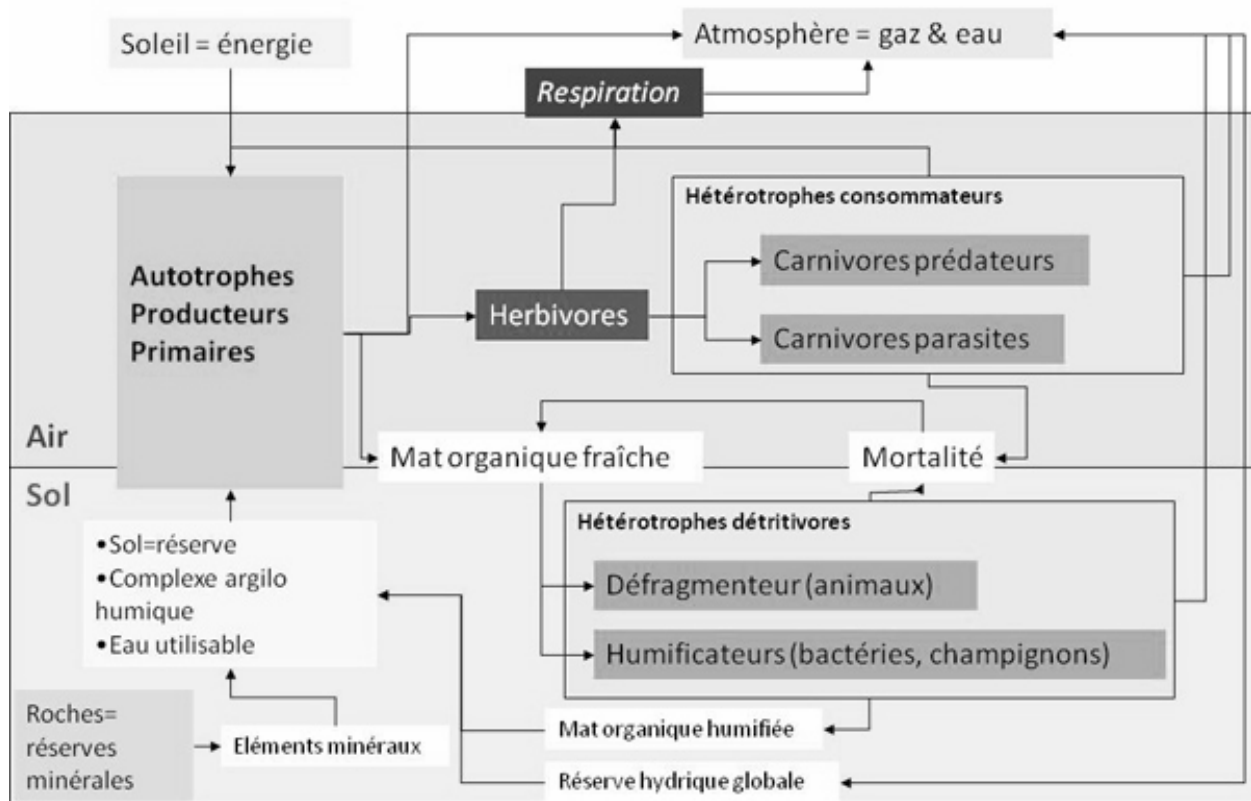


Figure 1 . Les différents compartiments d'un écosystème

B. 1. Chaîne alimentaire

Dans un écosystème, une chaîne alimentaire classique a pour point de départ l'énergie lumineuse fournie par les rayons du soleil. La lumière est absorbée par des pigments qui se trouvent aux niveaux des producteurs primaires. Ces derniers synthétisent de la matière organique par l'intermédiaire des réactions chimiques qui sera disponible par la suite pour les consommateurs. Les premiers consommateurs sont les herbivores et dépendent des producteurs primaires. Puis les consommateurs de second ordre qui occupent le 3^{ème} maillon de la pyramide d'Elton, surmonté par les consommateurs de troisième ordre (Fig. 2). Cette matière organique d'origine animale ou végétale est plus ou moins décomposée par des microorganismes qui attaquent les cadavres et les excréments pour donner de la matière minérale. Ce sont les décomposeurs qui assurent cette fonction.

On parle de **pyramide alimentaire** car chaque « étage » mange l'étage du dessous (Fig. 2). On parle de pyramide des nombres car plus on monte dans la pyramide, plus le nombre d'animaux diminue. Les consommateurs sont de plus en plus gros et de moins en moins nombreux.

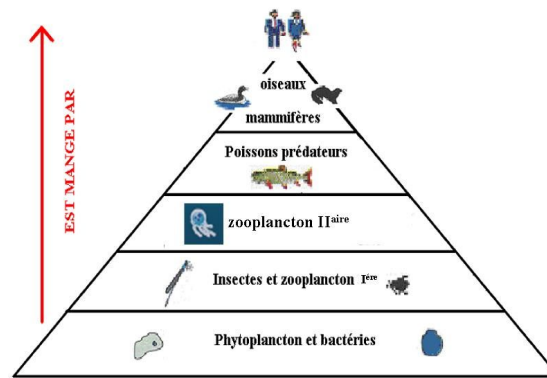


Figure 2. La chaîne alimentaire classique « Pyramide d'Elton »

Les pyramides sont des diagrammes qui représentent la productivité de chaque niveau trophique d'un écosystème et qui prennent plusieurs formes :

1) Pyramide de nombre : Nombre d'individus qui occupent chaque niveau trophique et disponible pour le niveau suivant.

2) Pyramide de biomasse : Masse des organismes présents aux divers niveaux trophiques et disponible pour le niveau suivant.

3) Pyramide de la productivité (d'énergie) : Quantité d'énergie disponible de chaque niveau trophique et disponible pour le niveau suivant.

Au sein d'un écosystème existe deux types de chaînes trophiques étroitement liées :

- Les chaînes basées sur la production primaire et les herbivores
- Les chaînes de décomposition, basées sur la matière organique morte et les organismes saprophytes. En effet, dans une chaîne alimentaire on distingue :

1. Les producteurs: Les organismes autotrophes constituent toujours le premier maillon d'une chaîne alimentaire. On peut dire que les **autotrophes** sont à l'origine de toute la matière organique dans un écosystème. L'autotrophie (du grec ancien : *auto*, seul et *trophos*, nutrition), désigne tout être vivant qui n'a pas besoin d'autre être vivant, pour se nourrir. Dans les écosystèmes aquatiques, les producteurs sont les macroalgues, les phanérogames plante à fleur exemple posidonies et les microalgues « phytoplancton ». La **production primaire** est le développement de la matière organique végétale (phytoplancton) à partir de la matière minérale par le processus de la photosynthèse. Cette dernière nécessite du gaz carbonique, de l'eau et de la lumière.



2. Les consommateurs: il y a les consommateurs de premier ordre (C1) herbivores ou phytophages pour le premier maillon. Il y a une *relation de broutage* « Grazing en anglais ». C1 représente la **production secondaire**. Il y a les consommateurs de 2^{ème} ordre, se sont les animaux qui se nourrissent des animaux (Zoophages ou carnivores), représentant la **production tertiaire**. Il y a une *relation de prédation*. Exemple : le renard (le prédateur) mange le lapin (la proie). Les consommateurs sont des **hétérotrophes**. L'hétérotrophie (du grec *heteros* (autre) et *trophos* (nourriture)) est la nécessité pour un organisme vivant de se nourrir de constituants organiques préexistants, d'origine animale ou végétale. Les hétérotrophes sont contraints de se procurer leur matière organique en la prélevant sur d'autres organismes, soit vivants (cas des prédateurs, des parasites et des commensaux), soit morts (nécrophage), ou encore sur les restes d'autres êtres vivants (saprophytes): feuilles mortes, anciens téguments éliminés, excréments... Dans la prédation, les premiers animaux éliminés sont le plus souvent les faibles ou les malades. **C'est la sélection naturelle**. Cela permet dans certains cas d'enrayer des épidémies.

3. Les décomposeurs: Ils permettent de recycler les organismes morts en transformant la matière organique en matière minérale réutilisable de nouveau pour le sol ou l'eau et pour le développement des végétaux. Ils représentent le dernier maillon de la chaîne alimentaire. Le cycle de la matière est bouclé permettant un éternel recommencement (Fig. 3).

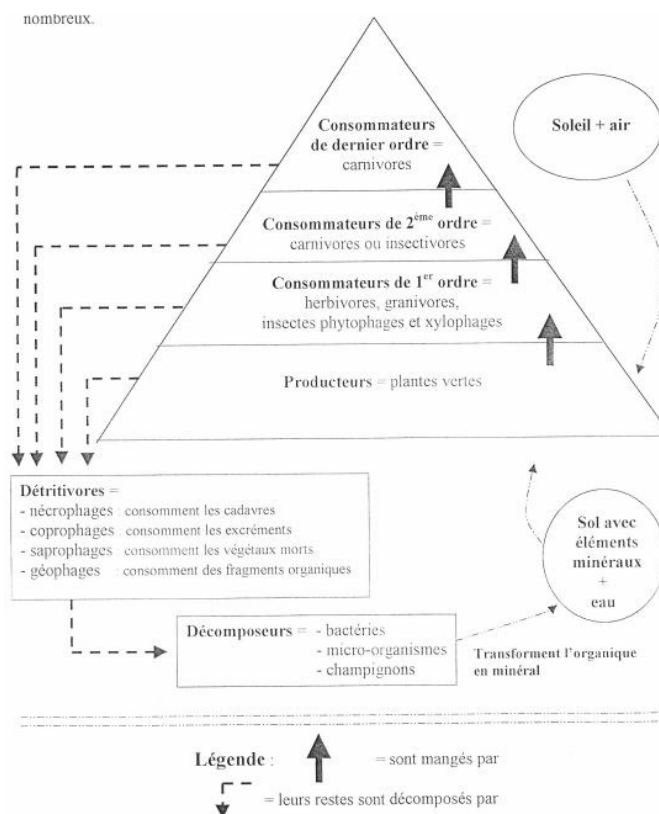


Figure. 3. La pyramide alimentaire ou pyramide des nombres

* les chaînes alimentaires convergent pour former un réseau dense et complexe : **le réseau trophique** (Fig. 4). Les représentants des derniers maillons de chaque chaîne (c'est-à-dire les consommateurs du dernier ordre) sont toujours moins nombreux que ceux des premiers maillons

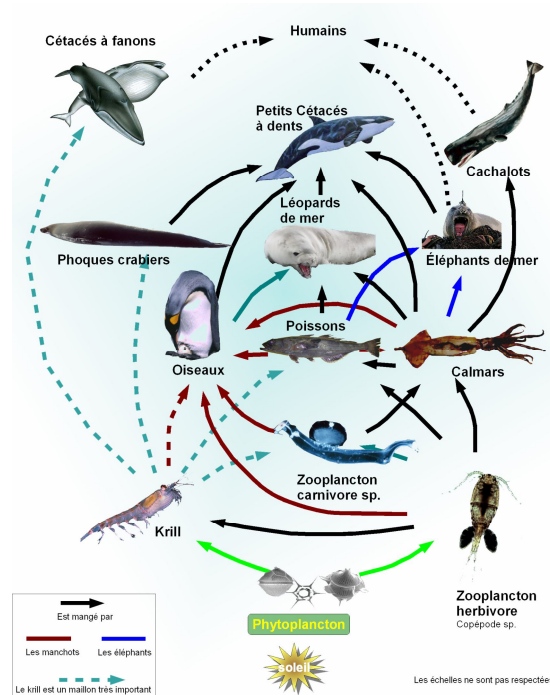


Figure.4. Réseau trophique antarctique

*Les chaînes alimentaires sont fragiles et peuvent être perturbées par plusieurs facteurs : maladies, interventions humaines, variations climatiques ...

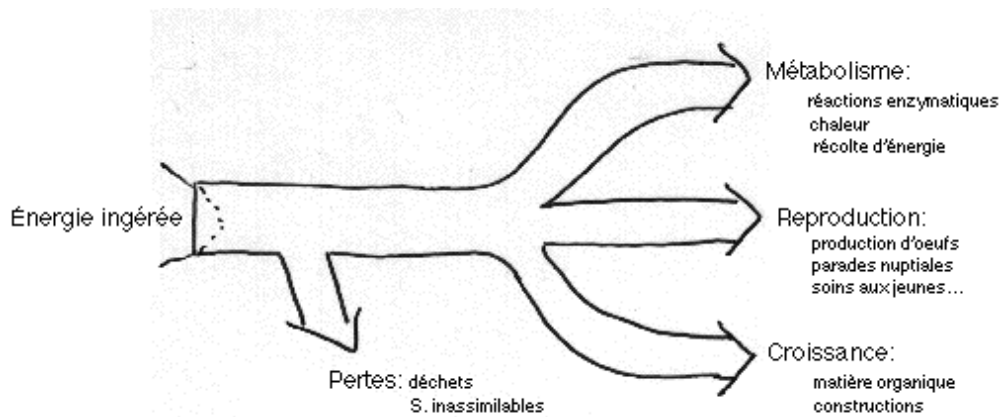
L'écosystème est considéré comme unité fonctionnelle de relations complémentaires et **de transfert et de circulation de la matière et de l'énergie**. Ainsi, l'écosystème doit aussi comprendre deux catégories fondamentales de processus:

❖ **flux de la matière dans les écosystèmes**

- Circulation cyclique de la matière dans chaque écosystème résultant de la complémentarité écophysiological entre les autotrophes et les hétérotrophes.
- Ceci par l'intermédiaire des chaînes alimentaire
- Les éléments indispensables à la cellule vivante (C, H, O, N, P, S...) sont transformés en matière biochimique (Glucide, Lipide, Protéine).

❖ Un flux d'énergie :

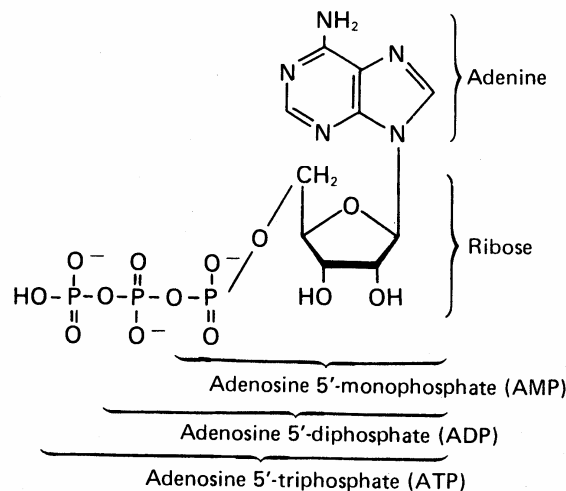
Les principales voies de circulation de l'énergie au sein des organismes vivants animales sont schématisées selon le schéma ci-dessus:



Représentation schématique du partage de l'énergie dans l'économie des êtres vivants

Le flux d'énergie entrant (nourriture ingérée) se subdivise en énergie non utilisée (déchets) et en énergie assimilée, laquelle se subdivise à son tour en dépenses de maintenance (Respiration) et dépenses de production (production de croissance et production de reproduction).

On peut considérer l'ATP (adénosine triphosphate) comme la "monnaie énergétique" du vivant : cette molécule stocke une partie importante de l'énergie dans des liaisons entre groupes phosphates de la molécule:



Le flux d'énergie transite d'un niveau trophique au suivant au sein de **chaînes trophiques**.

Une partie importante de l'énergie disponible à un niveau trophique donné sert à la respiration et à l'entretien, et le reste, consacré à la production de biomasse, n'est généralement pas utilisé au complet au niveau suivant.

On comprend donc pourquoi une pyramide trophique ne peut comporter qu'un nombre réduit de niveaux: *on dépasse rarement le niveau du consommateur tertiaire*. Il arrive toujours un stade où l'énergie résiduelle disponible ne suffirait plus à entretenir un autre niveau trophique.

En conclusion, le maintien de la permanence de la vie sur terre est une caractéristique des écosystèmes et non des individus ou des populations.

B.2. Rendement ou efficacité écologique

Productivité nette d'un niveau trophique donné et celle du niveau inférieur.

Sous les conditions climatiques, l'état le plus stable dans les conditions abiotiques existantes, Sur le 100% d'énergie disponible d'un niveau trophique, 10%, en moyenne, est effectivement converti en biomasse dans le niveau suivant. Le rendement vari entre 1 et 20%.

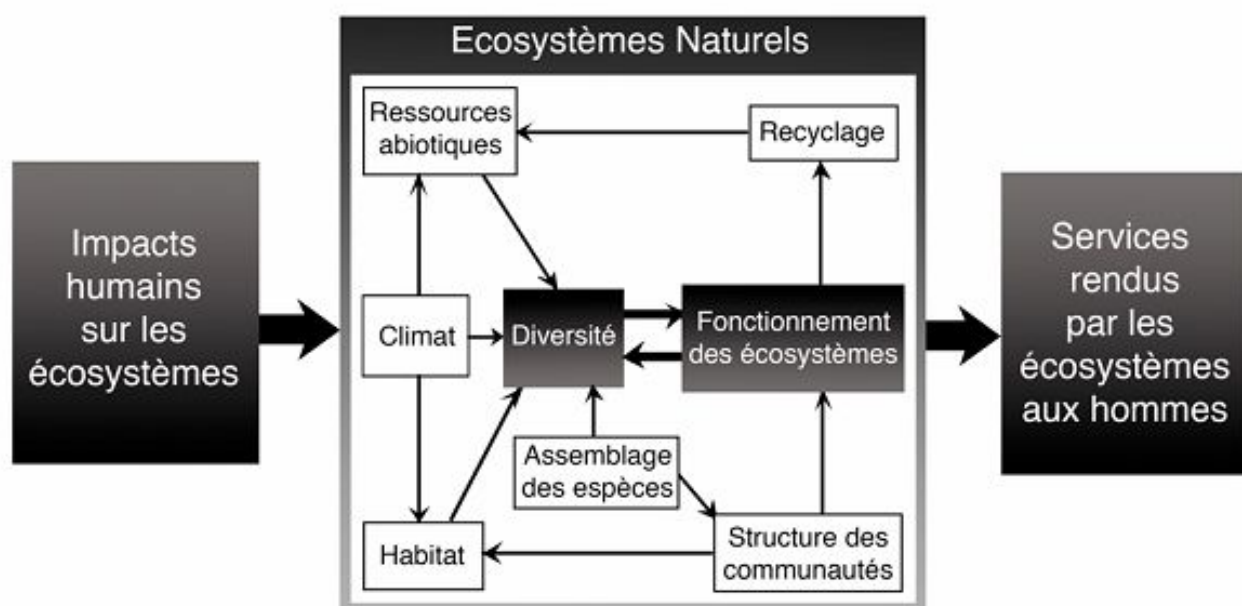
Le Rendement énergétique (ou efficacité énergétique) :

$$R = \frac{\text{Énergie d'un niveau trophique (KJ)}}{\text{Énergie du niveau trophique précédent (KJ)}} \times 100$$

La **productivité** est la biomasse produite par unité de temps et par unité de surface. La productivité du niveau n+1 ne représente en moyenne que 10% de la productivité du niveau n.

B.3. Le dysfonctionnement des écosystèmes

Le fonctionnement des écosystèmes naturels est affecté par l'action de l'homme, qui impacte notamment la diversité des communautés. Ceci de façon directe (extinctions par surexploitation ou perte d'habitat par exemple); mais aussi indirecte, en agissant sur les facteurs écologiques qui la détermine, aussi bien les facteurs physiques (climat, pollutions, etc.) que biologiques (introduction de nouvelles espèces, pêche commerciale, etc.). Le fonctionnement de l'écosystème affecte en retour toute une gamme de services dont l'Homme bénéficie.



II. Les différents types d'écosystèmes

La diversité des écosystèmes désigne la variété et l'abondance relative de ces derniers et de leur biocénose; ce qui contribue à la richesse du vivant. La biodiversité caractérise la richesse de la biocénose, la variété des espèces ou leur abondance relative.

Les grands écosystèmes sont généralement décrits comme :

- des écosystèmes aquatiques - en eau salée ; en eau douce; ou en eaux saumâtres
- des écosystèmes terrestres - les forêts, les prairies, les déserts, etc.

II.1 Ecosystèmes aquatiques

. Les écosystèmes aquatiques ont été définis par plusieurs composantes (i) la nature des organismes dominants: **organismes planctoniques**, (ii) les caractéristiques physiques, (iii) les lieux géographiques (exemple: la mer Méditerranée); (iv) ou bien une/ou des combinaisons de ces composantes. Ainsi, la classification des écosystèmes aquatiques a été développée pour décrire de telles limites.

Les écosystèmes aquatiques sont classés de deux types :

- Lentique: **eaux stagnantes**
- Lotique: **eaux courantes**

Les écosystèmes aquatiques (marins, estuariens, eaux douces : lacs et rivières, eaux salées : les salines, eaux saumâtres, ...)



Quelques exemples d'écosystèmes aquatiques

Chapitre. II. Ecosystèmes aquatiques marins

A. Les paramètres abiotiques ou physico-chimiques

En écologie, on étudie les relations des êtres vivants avec leur milieu, donc il faut savoir les paramètres abiotiques tels que la température, le pH, la salinité, la transparence, la turbidité et la teneur en oxygène dissous et les éléments nutritifs.

- La température (exprimé en °C) est un facteur très important dans les écosystèmes aquatiques. En effet, les écosystèmes peu profonds (lacs, barrage, lagune) sont caractérisés par une faible profondeur de la tranche d'eau, ce qui explique l'absence d'une stratification thermique. Cette dernière caractérise mieux les océans.

- La salinité (exprimé en ‰ ou en p.s.u) d'une eau correspond à la masse en grammes de substances dissoutes dans un Kg d'eau.

- L'oxygénation (exprimé en mg.l⁻¹) dans les milieux aquatiques, sera l'œuvre d'une dissolution directe de l'oxygène atmosphérique, de la photosynthèse des produits autotrophes et les végétaux aquatiques, et de l'influence des mouvements de l'eau. En fait, la pourcentage d'oxygène dissout peut attendre un pic de l'ordre de 170%, lorsque il y a un bloom de phytoplancton.

- Le pH (exprimé en unité pH)

Le **Potentiel Hydrogène**, mesure l'acidité et la basicité de l'eau. Dans les écosystèmes aquatiques, le pH dépend de la quantité de CO₂ dissous, et **il est un indicateur partiel de l'activité photosynthétique**. En effet, une eau de mer normale a un pH de 8.1 à 8.3 environ. En effet, les valeurs maximales de pH coïncident avec le développement du phytoplancton, de l'activité photosynthétique de la flore algale (marée verte).

- La transparence et la turbidité

La transparence (exprimé en m) et la turbidité de l'eau sont estimées à l'aide d'un disque de Secchi et par la mesure de la concentration des matières en suspensions.

Le disque de Secchi est un dispositif permettant de mesurer la transparence de l'eau. Il s'agit d'un disque blanc de 30 cm de diamètre (Fig. 5). Ce cylindre est fixé au bout d'une corde, qu'on laisse descendre jusqu'à sa disparition, puis on note la profondeur de disparition du disque. C'est cette mesure qui reflète la transparence de l'eau. Il nous limite la zone euphotique permettant la diffusion des rayons solaires essentiels pour l'activité photosynthétique et le développement des algues.



Figure 5. Disque de Secchi

- Matières en suspensions (MES) (exprimé en mg.l^{-1})

Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire (vivant ou détritique, minéral ou organique) entraîné passivement dans l'eau.

- Les sels nutritifs (exprimé en mg.l^{-1})

*Rôle de l'azote et du phosphore sur le milieu marin

B. Structure

B-1- Zonation des milieux marins

On distingue **un domaine pélagique** (domaine de pleine eau) et **un domaine benthique**. Chacun de ces deux domaines est subdivisé dans le sens vertical suivant la profondeur en diverses zones (Fig. 6). En ce qui concerne le relief du fond des mers, on observe:

- Plateau continental (0-200 m): Province néritique
- Talus continental (200-2000 m)
- Plaine abyssale (2000-6000 m): Province océanique
- Zone hadale (plus de 6000 m)

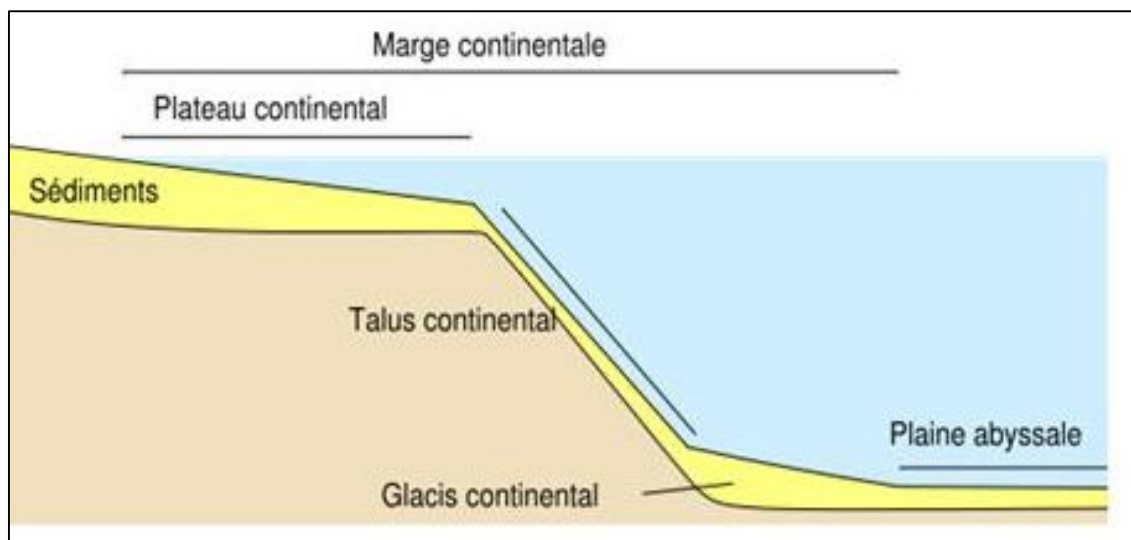


Figure 6. Les différentes zones des écosystèmes marins

1. Le domaine benthique

a) Le système phytal: est constitué par 4 étages (supra-littoral, eulittoral ou médio-littoral, infra-littoral et circa-littoral) et caractérisé par des végétaux benthiques chlorophylliens. Il correspond au plateau continental (Fig. 7).

Le système phytal est :

(i) médio-littoral: zone de balancement des marées. Les organismes sont soumis à des alternances régulières d'émersion et d'immersion). (eulittoral)

(ii) Limite inférieure= la région suffisamment éclairée pour permettre la vie des Zostéracées et des algues photophiles. (infralittoral)

(iii) Il s'étend jusqu'à la limite extrême compatible avec la vie des algues les moins exigeantes vis-à-vis de l'éclairement. (circa-littoral)

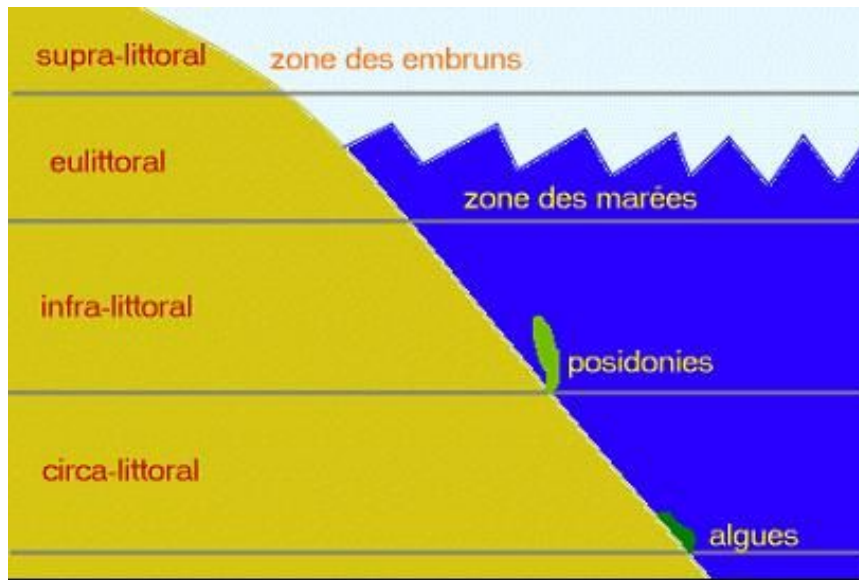


Figure 7. Le système phytal

b) Le système aphytal : est constitué par 3 étages:

- ✓ L'étage bathyal: occupe le talus continental (200-2000m)
- ✓ L'étage abyssal: correspond à la grande plaine abyssale (2000-6000m) avec une faune assez appauvrie avec disparition totale des espèces eurybathes du plateau continental.
- ✓ L'étage hadal: caractérisé par la pauvreté de sa faune, par quelques groupes endémiques et par les bactéries barophiles adaptées aux hautes pressions.

2. Le domaine pélagique: Il est réparti en (Figure 8) :

- ✓ Zone épipélagique ou euphotique (0-50/100m) limitée par la zone de compensation où la photosynthèse apparente est nulle : photosynthèse = respiration.
- ✓ Zone mésopélagique (50/100-200m) légèrement éclairée mais le phytoplancton ne peut pas y survivre.
- ✓ Zone infrapélagique (200-500/600m), riche en espèce car elle comprend à la fois des espèces qui descendent le jour de la zone supérieure et d'autres qui remontent la nuit de la zone inférieure. (dominance des copépodes)
- ✓ Zone bathypélagique (500-2000m) renferme des copépodes, des méduses, des décapodes... limite inférieure correspond à peu près à l'isotherme de 4°C.

- ✓ Zone abyssopélagique (2000-6000m) dominée par les Chétognathes, des crustacés Mysidacés et décapodes.
- ✓ Zone hadopélagique (au-delà de -6000 m) très pauvre a comme formes dominantes des amphipodes, des ostracodes et des copépodes

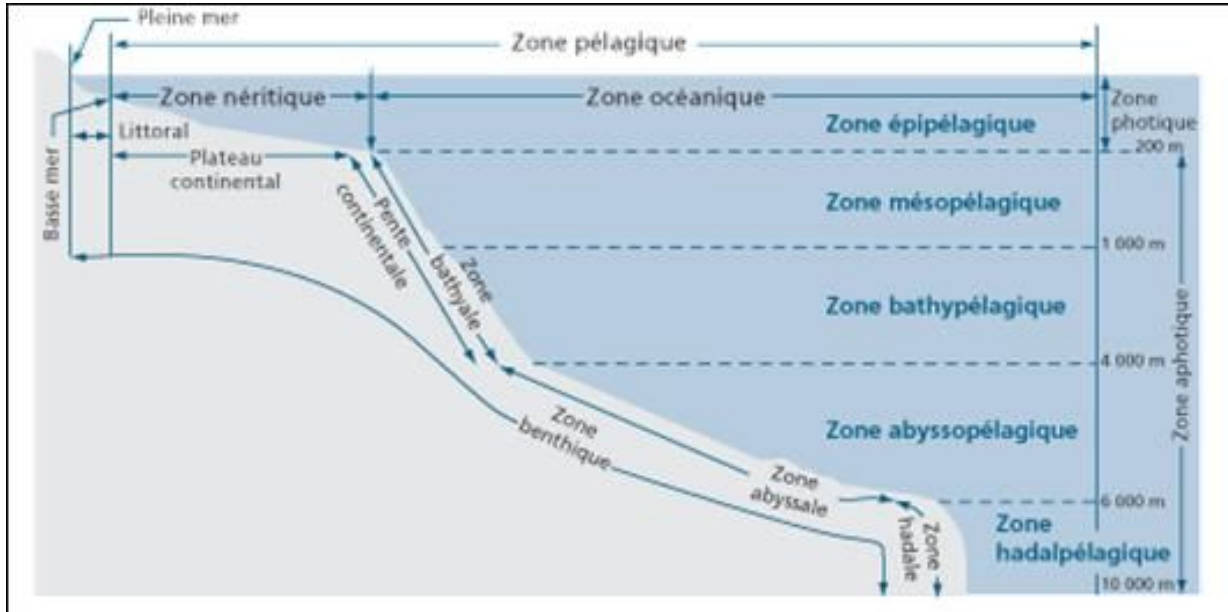


Figure 8. Le système pélagique

B-2- Composition biocénétique

En plus des paramètres abiotiques, il y a les paramètres biotiques c'est-à-dire les êtres vivants selon leur densité et leur biomasse : le phytoplancton, le zooplancton. Chaque écosystème aquatique est caractérisé par une succession, une richesse et une diversité écologique bien déterminées.

1. Les différentes catégories des organismes d'un écosystème aquatique

*Définition du plancton, necton, benthos

Dans un écosystème, plusieurs catégories d'organismes peuvent exister à la fois à savoir le plancton, le necton et le benthos (Fig. 9).

-Le plancton: C'est l'ensemble des organismes qui sont entraînés par le courant d'eau. Le plancton est composé d'organismes eucaryotes unicellulaires, (phytoplancton et ciliés) et d'organisme pluricellulaire (zooplancton.)

-Le benthos: Il regroupe l'ensemble des organismes vivant dans ou à la surface du sédiment.

-Le necton: Ce sont les organismes qui nagent, dont les mouvements sont suffisamment puissants pour surmonter le mouvement des eaux.

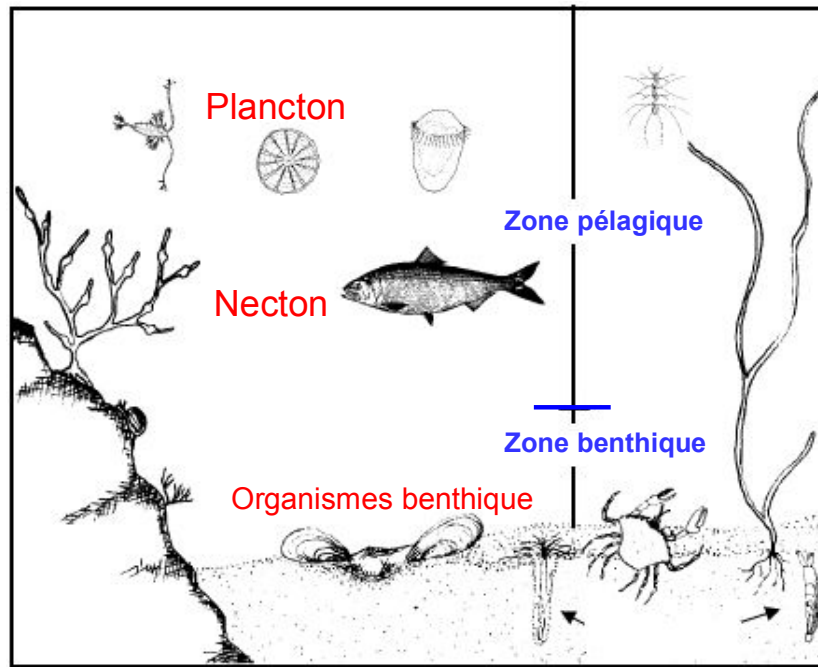


Figure 9. Catégories des organismes d'un écosystème aquatique

Le plancton peut être classé selon :

- MODE DE NUTRITION

- Phytoplancton: plancton végétal autotrophe, capable de synthétiser la matière organique
- Zooplancton: plancton animal hétérotrophe. Se nourrissant le plus souvent de phytoplancton.

- RÉPARTITION DANS LA COLONNE D'EAU

- Epipelancton: couches superficielles
- Mésoplancton: couches intermédiaires
- Bathyplancton: couches profondes

- RÉPARTITION PAR RAPPORT A LA CÔTE

- Plancton néritique: près des côtes ou au dessus du plateau continental > zone néritique.
- Plancton océanique: au large, au delà du plateau continental > zone océanique.

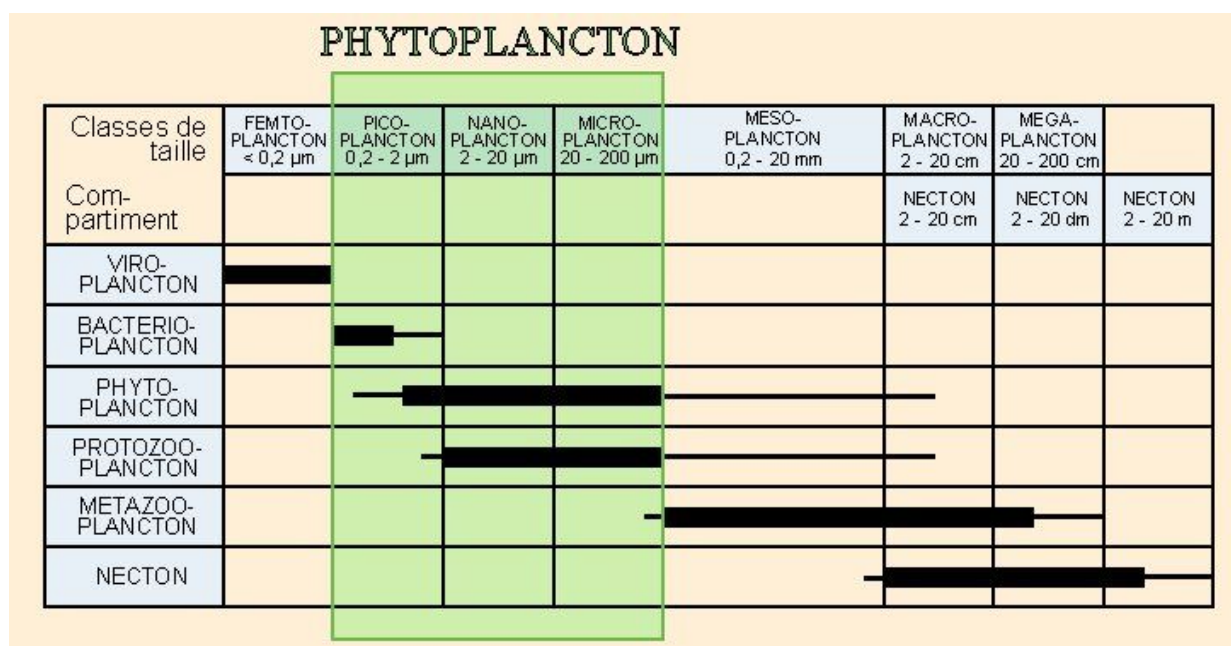
- RÉPARTITION SELON LE CYCLE BIOLOGIQUE

- Holoplancton: organismes planctoniques durant toute leur vie

- Méroplancton: organismes qui passent une partie de leur vie parmi le plancton, puis basculent sur une phase benthique ou nectonique. C'est généralement le cas des larves.

- RÉPARTITION SELON LA TAILLE

- Ultraplancton: taille inférieure à 5 microns (bactéries)
- Nanoplancton: taille comprise entre 5 et 50 μm
- Microplancton: taille comprise entre 50 μm et 1 mm
- Mésoplancton: taille comprise entre 1 et 5 mm
- Macroplancton: taille supérieure à 5 mm.



* Etude du phytoplancton : composition floristique

Les prélèvements de l'eau brute pour l'analyse du phytoplancton peut être accompli par plusieurs techniques d'échantillonnage : le filet à plancton et la bouteille fermante.

Pour étudier le phytoplancton on doit réaliser : (Fig. 10)

- 1-Prélèvement (filet, bouteille fermante)
- 2-Fixation (lugol)
- 3-Observation (microscope inversé)
- 4-Détermination (clés de détermination) (Figure 11)

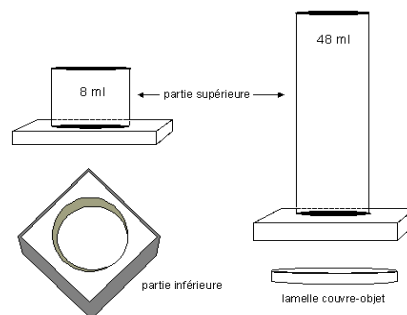
Bouteille fermante



Filet à plancton



Récolte de l'eau de mer et fixation par le lugol et le formol (3%)



Sédimentation des échantillons dans des cuves de sédimentation

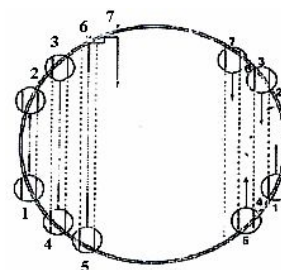
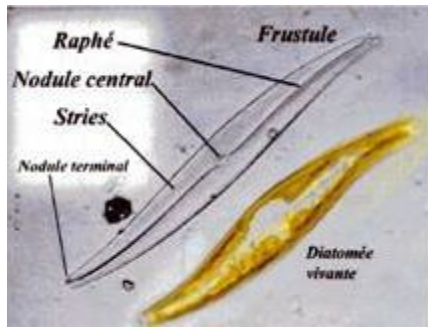
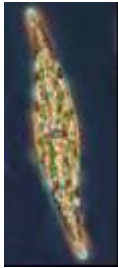


Figure 10. Moyens d'échantillonnage et d'identification du phytoplancton selon la méthode d'Utermöhl (1958)



L'organisation d'une diatomée



Pleurosigma angulatum



Nitzschia sp.



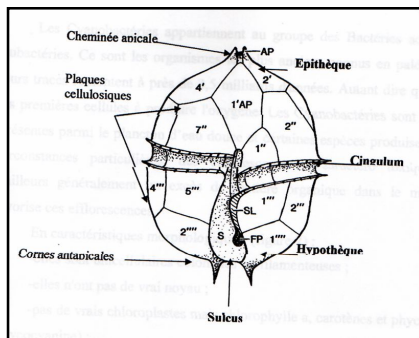
Hemiaulus sp.



Guinardia delicatula



Pinnularia viridis



L'organisation d'un dinoflagellé



Prorocentrum micans



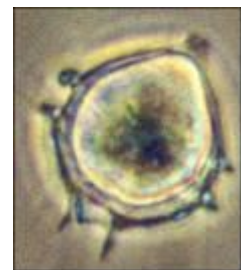
Alexandrium sp.



Gonayaulax sp.



Gymnodinium catenatum



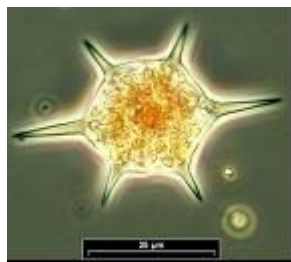
Protoperidinium pellucidum

Cyanobactérie



Anabena circinalis

Dictyochophycées



Dictyocha sp.

Chlorarachniophycées



Lotharella globosa

Chrysophycées

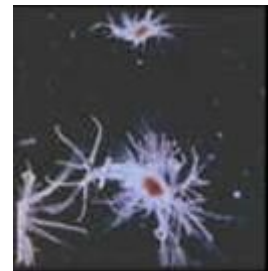


Figure 11. Exemple de quelques espèces phytoplanctonique

* Etude du zooplancton : composition faunistique

Le zooplancton, maillon essentiel dans les réseaux trophiques aquatiques joue un rôle clé dans le transfert de la matière et d'énergie entre les petits producteurs primaires et les niveaux trophiques supérieurs comme les poissons planctonophages. Dans les écosystèmes marins, l'abondance et la distribution de ces organismes sont essentiellement influencées par les facteurs physicochimiques, hydrodynamiques, ainsi que la distribution des prédateurs. Ce maillon est largement dominé dans la plupart des écosystèmes marins par les copépodes planctoniques. Pour étudier le zooplancton, on doit réaliser (Figure 12):

- Prélèvement (filet)
- Fixation (formol)
- Observation (loupe)
- Détermination (clés de détermination) (Fig. 13...Fig. 25)



Récolte des échantillons par un filet à plancton



Filtration du contenu récolté par un tamis de 100 μm de porosité



Sédimentation du zooplancton au niveau du cuve de dolfus



Fixation du zooplancton par le formol (5 - 10%) et coloration par le rose



Observation, identification et comptage des différentes espèces zooplanctoniques sous loupe binoculaire

Figure 12. Stratégie d'analyse et d'identification de la communauté zooplanctonique

-Quelques exemples du monde zooplanctonique rencontrés dans les écosystèmes marins

- **Les copépodes**

Les copépodes sont des acteurs essentiels du milieu aquatique, caractérisés par une abondance de l'ordre de 55 à 95 % du zooplancton et surtout par une omniprésence dans différents types du milieu aquatique. En effet, ils peuvent être marins, pélagiques ou même benthiques. Ils sont les producteurs secondaires majeurs dans les océans et jouent un rôle crucial dans le transfert d'énergie et de la matière organique primaire, depuis les producteurs primaires jusqu'aux niveaux trophiques supérieurs. Les copépodes sont divisés en trois ordres selon la morphologie. En effet, on distingue les Calanoïdes, les Cyclopoïdes et les Harpacticoïdes.

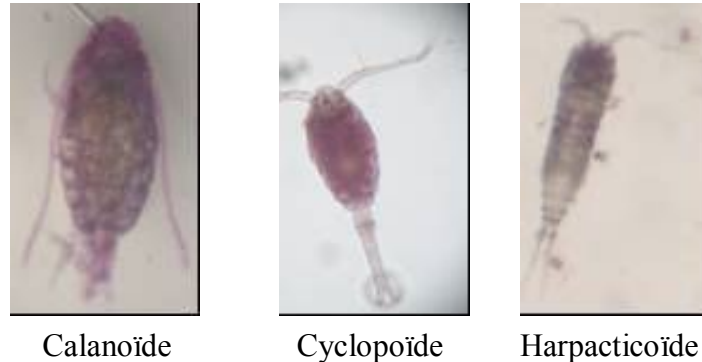


Figure 13. Les principaux ordres de la faune copépodique caractérisant les écosystèmes marins

- **Les annélides polychètes**

Les polychètes, tous identiques entre eux, possèdent un corps cylindrique segmenté, constitué d'anneaux. L'embranchement des annélides est divisé en trois classes :

- Les Oligochètes
- Les Achètes
- Les Polychètes sont présentés par quelques 5000 espèces essentiellement marines, ce sont les annélides les plus fréquents. Ils portent de nombreuses soies de chitines implantées sur des parapodes des métamères. Ils possèdent deux appendices avec deux touffes de soies sur chaque segment. Ils présentent un stade larvaire appelé trochophore qui est en forme de toupie. Il existe différentes espèces de polychètes, telles que les polychètes errantes comme les Néréides et des polychètes sédentaires.



Figure 14. Les annélides polychètes

- **Les bivalves et les lamellibranches**

Pour se nourrir, les coquillages filtreurs pompent de l'eau de mer qui les environne afin de capturer les particules nécessaires à leur alimentation. Ces particules sont : des particules

organiques vivantes, des particules organiques mortes, des particules minérales, des matières organiques dissoutes. Un coquillage bivalve pompe environ 15 à 20 litres d'eau par heure, la quantité d'eau varie suivant l'espèce, la température et la turbidité de l'eau du site.

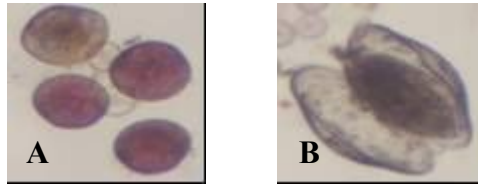


Figure 15. Les lamellibranches (A) et les bivalves (B)

- **Les zoés**

Ils possèdent une carapace. L'abdomen présente des somites munis d'épines abdominales médianes.

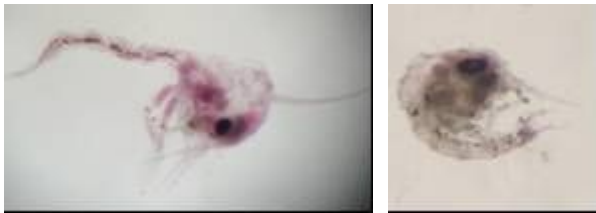


Figure 16. Les zoés

- **Les larves de cirripède**

Ces larves aboutissent par une mue rapide à une larve caractéristique. Elles possèdent une carapace à deux valves soudées.



Figure 17. Les larves de cirripède

- **Les cladocères**



Le corps protégé par une carapace bivalve, laisse apparaître la tête avec des yeux composés. Il présente 4 à 6 paires d'appendices, se terminant par des rames furcales en forme de griffes

Figure 18. Les cladocères

- **Les ostracodes**

Ils sont caractérisés par une carapace chitino-calcaire.

Le corps est non segmenté, et l'abdomen se termine par une furca

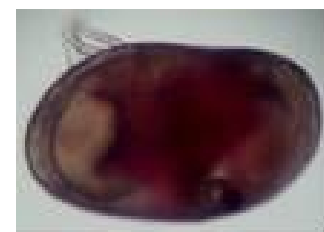


Figure 19. Les ostracodes

- **Les nématodes**

Des animaux vivant dans les sédiments et de taille comprise entre 1 et 0,1 mm.



Figure 20. Les nématodes

- **Les méduses**

On donne le nom méduse aux formes libres de l'embranchement des Cnidaires. Presque toutes les méduses sont marines ; seules de très rares espèces vivent en eau douce. Ce sont des cnidaires gélatineux en forme de cloche, d'où s'échappent des tentacules urticants et qui nagent librement dans la mer. Une méduse est formée d'une calotte, appelée ombrelle, et d'un axe vertical appelé manubrium, fixé au centre de la face inférieure. Elles se nourrissent de microorganismes et elles appartiennent toutes à la Super classe des Hydrozoaires. En certaines saisons, elles vivent en banc sur les côtes.

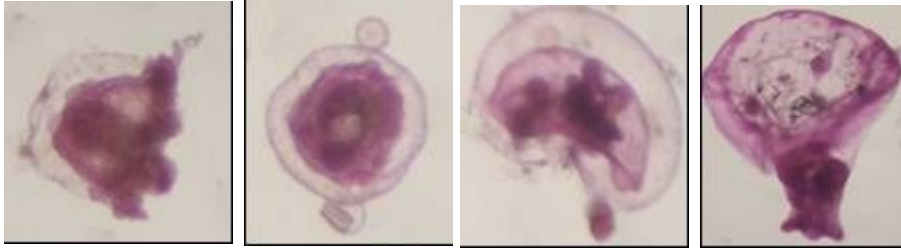


Figure 21. Les méduses

- **Les polypes**

C'est la forme sessile des cnidaires, constituée d'un corps cylindrique à double paroi, le plus souvent couronné de tentacules, et d'une cavité gastrique en cul de sac.



Figure 22. Polype

- **Les amphipodes**

Ce sont de petits crustacés au corps comprimé latéralement. Ils s'enfoncent dans le sable durant la journée. Ils sont capables de faire des bancs assez importants. C'est un détritivore hôte habituel de la laisse d'eau.

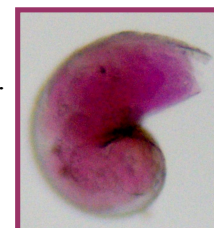


Figure 23. Les amphipodes

- **Larve véligère de gastéropode**

La forme adulte est benthique, mais possèdent des larves planctoniques.

Figure 24. Larve véligère de gastéropode



- **Les euphausiacés**

Ce sont des crevettes pélagiques, transparentes et parfois tachées de pigments. Ils sont phytophages et se nourrissent de plancton végétal surtout ou de débris dérivés de cadavres. Ils vivent en essaims surtout à la surface de la mer, et présentent des migrations journalières verticales.



Figure 25. Les euphausiacés

2. Chaîne alimentaire marine

Une chaîne alimentaire est un cycle dans lequel toute matière organique doit en principe être utilisée.

a) Le concept de la boucle microbienne

a-1) Historique

- Il a été formalisé au début des années 1980
- Schématiquement, dans les milieux aquatiques pélagiques, une partie des flux d'énergie et de matière suit la voie de la boucle microbienne (matière organique dissoute - bactéries hétérotrophes - protistes hétérotrophes) qui est ensuite connectée à la voie trophique linéaire basée sur l'assimilation photosynthétique via le zooplancton.
- Ultérieurement, différents travaux ont montré que la boucle microbienne constituait aussi, et parfois surtout, un moyen pour les microorganismes de se procurer certains éléments limitant tels que l'azote ou le fer.
- De plus, d'autres études ont largement remis en cause la séparation entre microorganismes auto- et hétérotrophes
- Enfin, le concept de la boucle microbienne en milieu pélagique a plus récemment été enrichi par l'adjonction des groupes des virus et des champignons aquatiques.

a-2) principe et mécanisme de la boucle microbienne

Les transferts trophiques entre les organismes marins sont complexes et non linéaires formant un réseau alimentaire (et non une chaîne alimentaire). Selon les modèles descriptifs des communautés marines, il est nécessaire de considérer deux types de transfert : les flux trophiques directs associés à la prédation de proies vivantes/complètes (*grazing pathway*) et les flux de matière organique détritique particulaire ou dissoute (*detrital pathway*) (Fig. 26).

Au niveau du processus de prédation, il est important de noter que seul le phytoplancton de dimension supérieure à 5 μm , ce qui représente une fraction peu significative en terme global, peut être consommé directement par les organismes métazoaires (planctoniques ou benthiques). Par conséquent, la plus grande partie de la production phytoplanctonique est consommée initialement par les protistes phagotrophes (bactérovores et herbivores) puis ceux-ci sont consommés par les métazoaires. Tous les niveaux trophiques transforment une portion variable de sa production en matière organique détritique (dissoute et particulaire), en la canalisant directement vers l'environnement marin. Cet important réservoir de matière organique est utilisé directement par le bactérioplancton hétérotrophe puis consommé par les protistes phagotrophes bactérovores. Ainsi, la production de métazoaires peut être soutenue directement par le phytoplancton (via la prédation) mais aussi indirectement par l'intermédiaire

des débris, en traitant les composés organiques autochtones (ex : macroalgues, herbes et plantes marines, microphytoplancton) ou allochtones, d'origine naturelle ou anthropique. Ce mode de fonctionnement est particulièrement intéressant pour des périodes de temps et/ou des écosystèmes marins pour lesquels la production primaire se trouve limitée par la disponibilité des ressources (ex : lumière et nutriments inorganiques dissous).

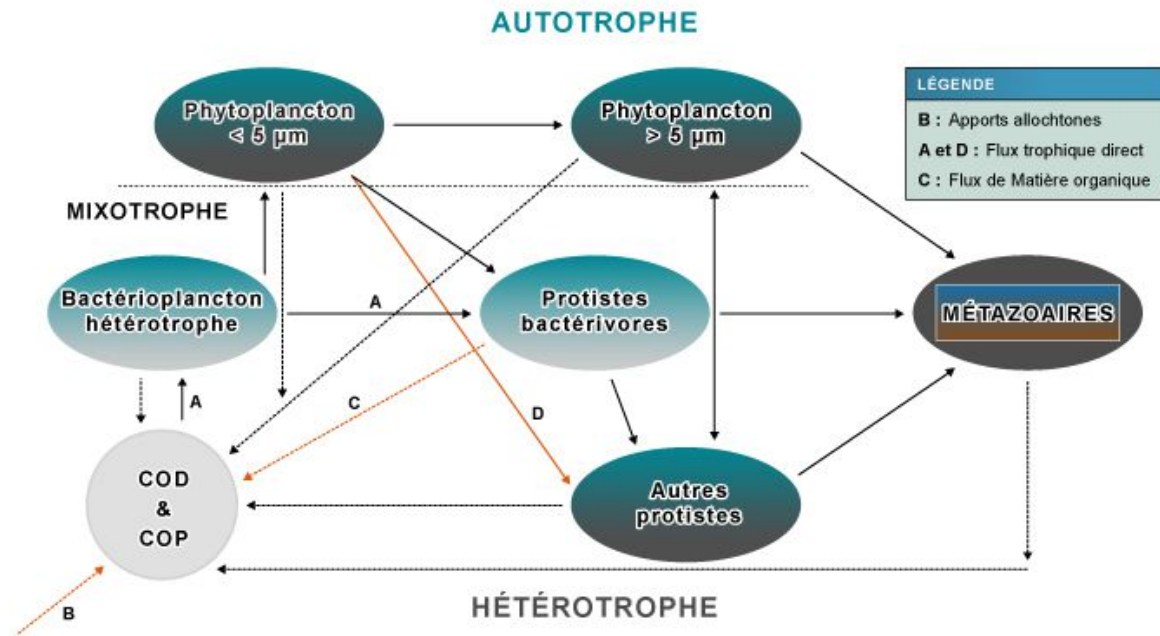
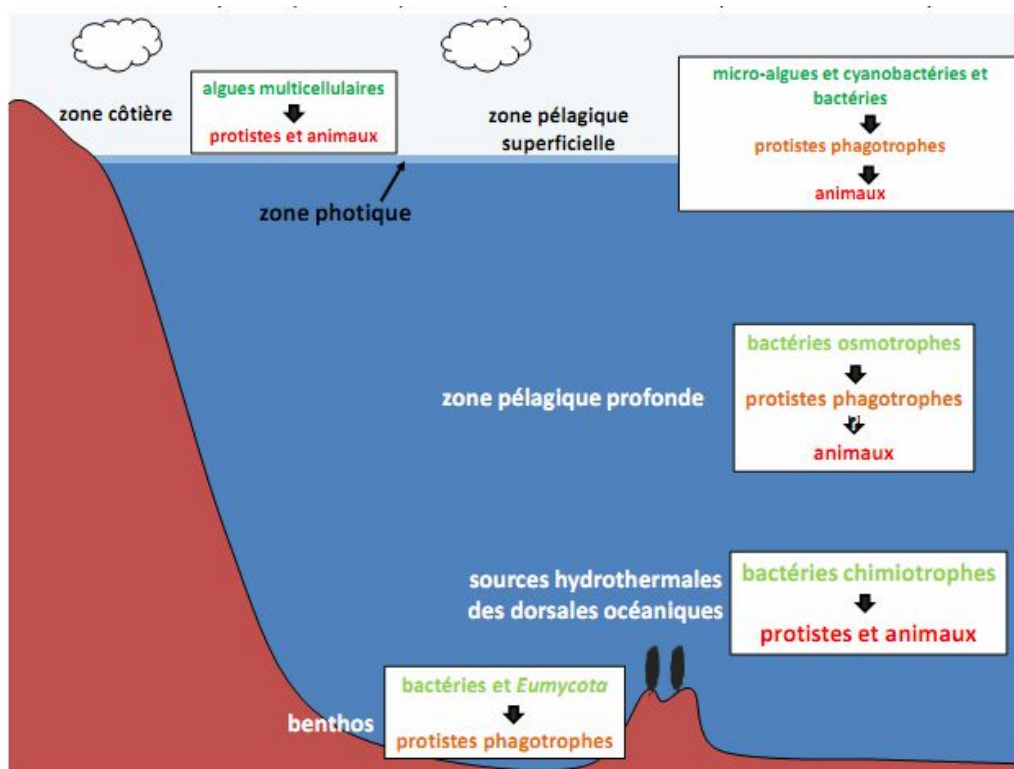


Figure 26. Les réseaux trophiques marins (Sherr & Sherr, 2000)

b) Principaux écosystèmes marins et leur chaîne alimentaire majeure :



3. Etude de la structure des peuplements planctoniques

- **Indice de diversité de Shannon Weaver (H')**

L'évaluation de la diversité spécifique nous permet de caractériser la structure d'un écosystème et indiquer l'état de maturité d'un peuplement. En effet, plus cet indice est élevé, plus que le peuplement est stable, c'est-à-dire qu'il n'est pas soumis à l'action des facteurs abiotiques ou un facteur de pollution. La diversité spécifique est connue comme la mesure de la composition en espèces d'un écosystème, en tenant compte de la distribution de leurs abondances relatives. L'indice de diversité (H') est faible lorsque les individus rencontrés appartiennent tous à une seule espèce ou bien quand toutes les espèces sont représentées par un seul individu ; donc H' est plus sensible aux espèces rares. Cependant, H' est maximum quand les individus trouvés sont répartis sur plusieurs espèces. Il est l'indice le plus utilisé car on a considéré à la fois l'abondance et la richesse spécifique. Néanmoins, plus les espèces sont nombreuses, plus l'indice de diversité spécifique est élevé et plus le système écologique est stable. Cet indice est exprimé en bits individu⁻¹. Plusieurs formules ont été proposées pour évaluer cet indice; celle qui est la plus utilisée est celle de Shannon et Weaver (1963) et qui est défini par l'équation suivante:

$$H' = - \sum_{ni} \frac{ni}{N} \log_2 \frac{ni}{N} \quad \text{Avec } ni/N: \text{ la fréquence de l'espèce } i \text{ dans l'échantillon}$$

N: somme des individus de l'ensemble des espèces

- **Indice d'équitabilité (E)**

L'indice d'équitabilité (E) correspond au rapport de la diversité atteinte (H') et la diversité maximale (H'max) pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons. En fait, l'indice d'équitabilité permet de comparer la diversité mesurée à la diversité théorique maximale. L'indice d'équitabilité E dérive de l'indice de diversité spécifique et consiste à comparer la diversité H' à sa valeur maximale (log₂N). Il varie de 0 (quand une espèce domine tout le peuplement et il s'agit d'un milieu pollué) à 1 (quand les espèces sont équi-fréquentes dont leur abondance est identique et il s'agit d'un milieu sain). Le calcul de l'indice d'équitabilité E a été réalisé suivant cette formule:

$$E = H' / \log_2 S, \quad \text{Avec } H': \text{ l'indice de diversité spécifique; } \log_2 S = H_{\max};$$

S: Nombre des espèces dans l'échantillon.

- **Indice de dominance (Id)**

L'indice de dominance (Id) a été calculé en appliquant la formule suivante

$Id = \frac{(n1 + n2)}{n}$, avec $(n1+n2)$ expriment la contribution relative de deux espèces les plus abondantes; n l'abondance totale de espèce.

C. Perturbations écologiques

1. Eutrophisation

a. Définition

L'eutrophisation est la modification et la dégradation d'un milieu aquatique, lié en général à un apport exagéré de substances nutritives, qui augmentent la production d'algues et de plantes aquatiques.

b. Les étapes de l'eutrophisation

L'eutrophisation peut se décomposer en quelques étapes (Fig. 27)

1. Des éléments nutritifs, notamment les phosphates d'origines diverses et les nitrates issus de l'agriculture, sont déversés en grande quantité dans le milieu aquatique les eaux ainsi enrichies permettent la multiplication rapide des végétaux aquatiques, en particulier la prolifération d'algues, (efflorescence algale, ou bloom).
2. Le stock d'oxygène devient très limité dans l'eau.
3. Le développement éventuel de plantes flottantes, empêche le passage de la lumière donc la photosynthèse dans les couches d'eau inférieures, et gêne également les échanges avec l'atmosphère. Le milieu devient alors facilement hypoxique puis anoxique. Il peut en résulter la mort d'organismes aquatiques, crustacés, poissons, mais aussi végétaux, dont la décomposition, consommatrice d'oxygène, amplifie le déséquilibre.

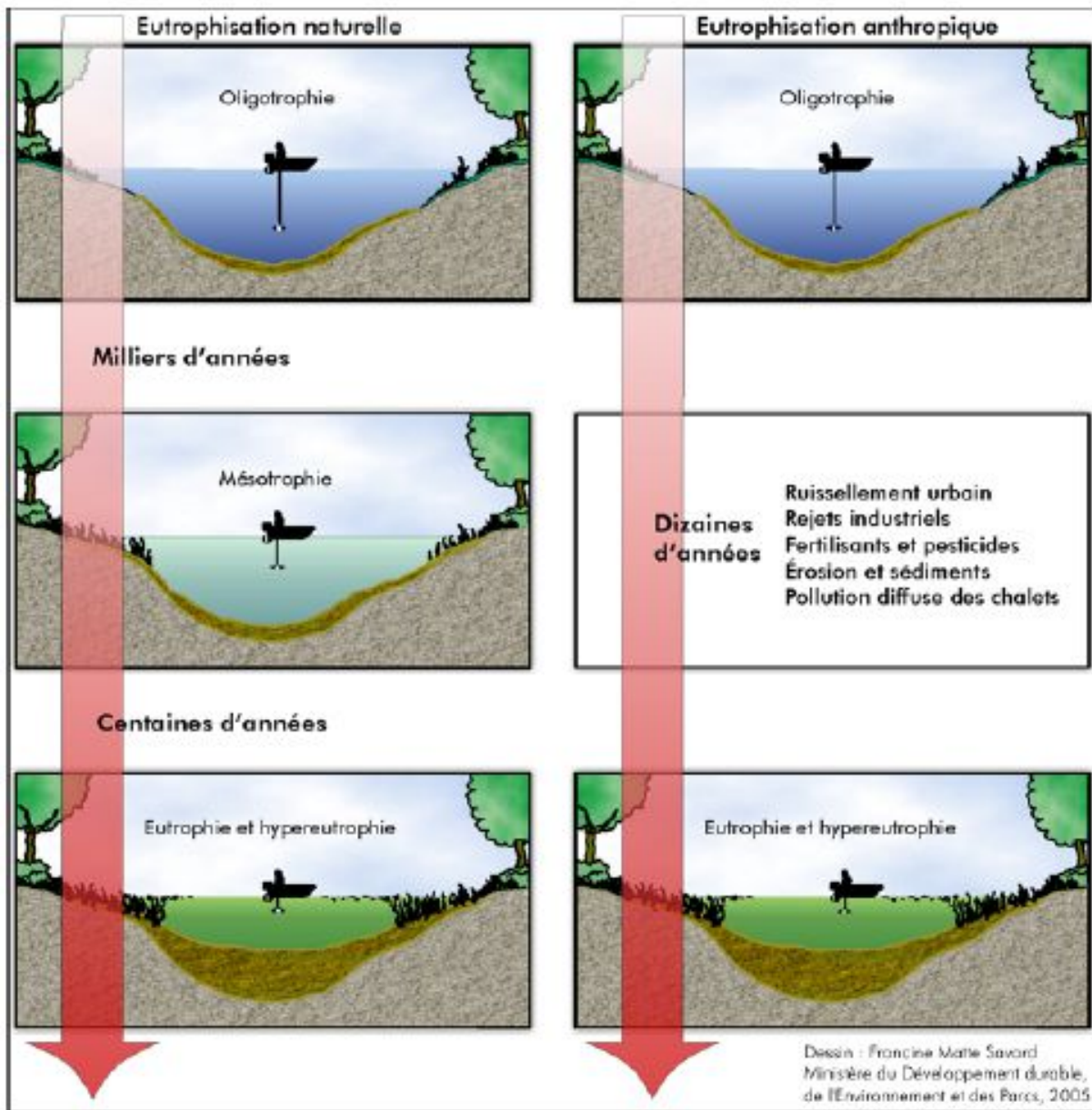


Figure 27. Le processus d'eutrophisation

c. Les niveaux trophiques (Figure 28)

On peut classer les écosystèmes marins en trois catégories trophiques, et ceci selon leur stade d'eutrophisation :

- **Oligotrophe**: Un milieu aquatique pauvre en éléments nutritifs est dit oligotrophe; dans le cas intermédiaire, on qualifie le milieu de mésotrophe. Étant donné que les facteurs naturels produisent des milieux plus ou moins chargés en nutriments en dehors de toute intervention humaine, l'état d'eutrophisation d'un milieu aquatique doit être apprécié en fonction de sa nature et ne peut pas se baser sur des indicateurs absolus (Fig. 28).

- **Mésotrophe:** Les écosystèmes marins qui se situent entre oligotrophie et eutrophisation. Par rapport aux écosystèmes aquatiques oligotrophes, on y note une augmentation de la quantité de matières organiques et des organismes aquatiques (végétaux, animaux, bactéries).
- **Eutrophe:** Un milieu aquatique eutrophe (du grec eu : « bien, vrai » et trophein : « nourrir »), tel que cours d'eau ou mares, décrit originellement sa richesse en éléments nutritifs, sans caractère négatif. À partir des années 1970, le terme eutrophisation a été employé pour qualifier la dégradation écosystèmes aquatiques par excès de nutriments. Il a aujourd'hui un sens proche de dystrophie et vient souvent comme qualificatif de sens négatif pour des milieux aquatiques d'eau douce ou marins.

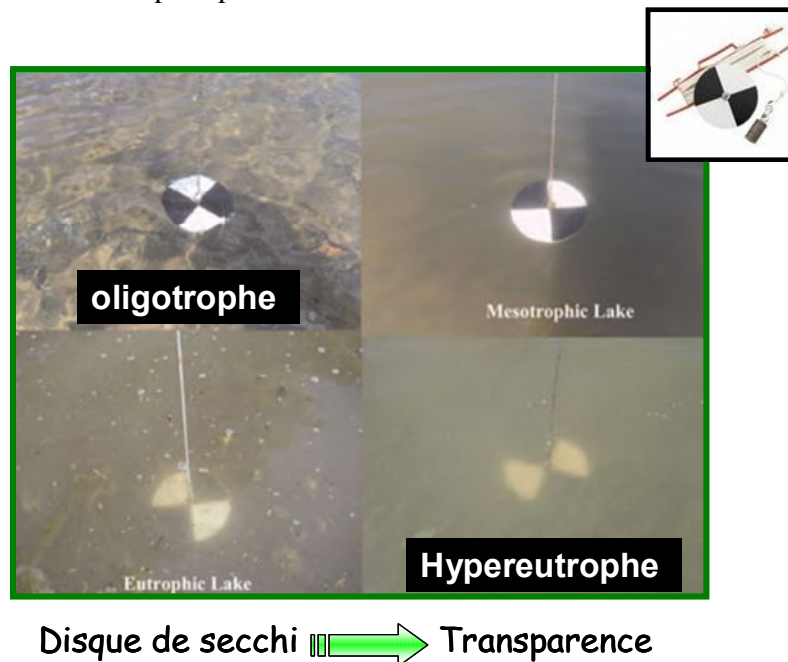


Figure 28. Les niveaux trophiques d'un écosystème marin

d. Les facteurs contribuant à l'eutrophisation

L'eutrophisation est l'expression du déséquilibre qui résulte d'un apport excessif de nutriments : azote (des nitrates par exemple), carbone (carbonates, hydrogénocarbonates, matières organiques...) et phosphore notamment. Le phosphore étant généralement le facteur limitant dans les milieux aquatiques naturels, ce sont ses composés, en particulier les phosphates (orthophosphates, polyphosphates) qui permettent l'emballement du processus. Ce milieu déséquilibré, dystrophe, devient alors hypertrophe.

Ce processus a comme principales origines :

- des épandages agricoles excessivement riches en engrais (azote et phosphore)

- des rejets industriels ou urbains riches en nitrates, ammonium, matière organique non traitée, la présence de polyphosphates dans les lessives font de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zones océaniques, pouvant provoquer l'extension de zones mortes), ou le développement d'algues toxiques.

Les mécanismes qui conduisent à l'eutrophisation, tant macroalgale que phytoplanctonique, sont :

- Un confinement de la masse d'eau, c'est le pourtour terrestre qui fournit un confinement statique, alors qu'en mer ouverte, ce sont des phénomènes hydrodynamiques qui créent un confinement dynamique.
- Un bon éclaircissement de la suspension algale, ce qui explique la restriction des marées vertes à ulves pour les écosystèmes marins peu profondes, claires et bien brassées.
- Des apports de nutriments terrigènes en excès par rapport à la capacité d'évacuation ou de dilution du site. Les apports d'azote sont rendus responsables de la prolifération des macrophytes nitrophiles (ulves, entéromorphes) et du phytoplancton.

e. Conséquences

✚ Les manifestations de l'eutrophisation marine côtière peuvent classiquement prendre deux grands types d'apparence, selon que les algues proliférantes sont planctoniques ou macrophytiques. En ce qui concerne les proliférations massives de phytoplancton (« eaux colorées »), quelques sites côtiers, sont régulièrement touchés; d'où la mortalité massive de poissons et d'invertébrés benthiques. Ce cas représente un exemple particulier du phénomène plus général de modification des flores, favorable à l'accroissement de l'abondance d'autres espèces, notamment les dinoflagellés en été. Certains dinoflagellés producteurs de toxines dangereuses pour les organismes marins (*Gymnodinium mikimotoi*) ou pour l'homme consommateur de coquillages infestés (*Dinophysis* sp., *Alexandrium* sp., *Pseudo-nitzschia* sp.), font l'objet d'une surveillance régulière en de nombreux points du littoral.

✚ Les proliférations massives de macroalgues vertes se rencontrent de façon récurrente dans certaines régions méditerranéennes. Les espèces incriminées appartiennent essentiellement au genre *Ulva* (zone sidi mansour).

-Comment surveiller l'eutrophisation?

L'évaluation de l'eutrophisation de des écosystèmes marins s'effectue en mesurant la teneur des matières nutritives et les changements dans la qualité de l'eau et les communautés biologiques. Les paramètres (descripteurs) les plus couramment utilisés sont :

- Le **phosphore total**,

- La **chlorophylle *a*** qui est un indicateur de la biomasse (quantité). Il y a un lien entre l'augmentation des teneurs en chlorophylle et le niveau trophique. Les des écosystèmes marins eutrophes sont souvent aux prises avec une production importante d'algues.
- La **transparence de l'eau** La transparence diminue avec l'augmentation de la quantité d'algues. Il y a un lien entre la transparence de l'eau et le niveau trophique.
- La **concentration d'oxygène dissous** est un indicateur de l'écosystème aquatique. Une faible concentration en oxygène dissous est souvent liée à une forte décomposition de la matière organique.
- **L'abondance des plantes aquatiques**

-Comment évaluer l'eutrophisation?

L'évaluation de l'état trophique des écosystèmes marins se fait de deux façons.

**La première* consiste à comparer les résultats du suivi effectué avec des valeurs de référence, c'est-à-dire des valeurs guides servant à interpréter les données.

**La deuxième* approche suit l'évolution de ces mesures dans le temps pour détecter des signes de vieillissement.

Concernant la qualité de l'eau, le Réseau de surveillance volontaire des écosystèmes aquatiques permet de mesurer les concentrations de phosphore, de chlorophylle *a* et le degré de transparence de l'eau et d'en faire le suivi. Le carbone organique dissous est également mesuré afin de tenir compte de l'effet de la coloration de l'eau sur la mesure de transparence. Les niveaux trophiques servent à classer les écosystèmes marins selon leur degré de productivité biologique, leur état pouvant varier de très oligotrophe à très eutrophe. L'évolution d'un écosystème aquatique sur l'échelle des niveaux trophiques ne se fait pas brusquement. Il s'agit plutôt d'un processus de vieillissement qui est graduel et dont les changements se manifestent au fur et à mesure de l'eutrophisation. Le classement est réalisé en utilisant des valeurs de référence (Tableau 1) pour la concentration du phosphore, la concentration en chlorophylle *a* et la transparence de l'eau. Les valeurs de références retenues pour les grandes classes trophiques (ultra-oligotrophe, oligotrophe, mésotrophe, eutrophe et hyper-eutrophe) correspondent aux limites les plus reconnues et utilisées.

Tableau 1. Le diagramme de classement Classes des niveaux trophiques des écosystèmes marins avec les valeurs correspondantes

Classes trophiques		Phosphore total (µg/l)	Chlorophylle <i>a</i> (µg/l)	Transparence (m)
Classe principale	Classe secondaire (transition)	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Ultra-oligotrophe		< 4	< 1	> 12
Oligotrophe		4 - 10	1 - 3	12 - 5
	Oligo- mésotrophe	7 - 13	2,5 - 3,5	6 - 4
Mésotrophe		10 - 30	3 - 8	5 - 2,5
	Méso-eutrophe	20 - 35	6,5 - 10	3 - 2
Eutrophe		30 - 100	8 - 25	2,5 - 1
Hyper-eutrophe		> 100	> 25	< 1

2. La pollution des écosystèmes marins

a. Définition

Selon plusieurs auteurs, on entend par pollution du milieu marin l'introduction, directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu récepteur lorsqu'elle a des effets nuisibles tels que le dommage aux ressources biologiques, les risques pour la santé de l'homme et l'entrave aux activités maritimes, y compris la pêche, l'altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et la dégradation de valeurs d'agrément.

b Les différents types de polluant des écosystèmes marins

On distingue trois types de pollution au niveau des écosystèmes marins à savoir :

- ◆ Les polluants conservatifs
- ◆ Les polluants chimiques non conservatifs
- ◆ Les polluants microbiens