



**Université Hassiba Benbouali de Chlef**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département Eau, Environnement et**  
**Développement durable**



**Licence: Aquaculture et pisciculture**



# HYDROGÉOLOGIE



**Mr. HAFSAOUI Imed**

**Email: imedhafsaoui@yahoo.fr**



# **PROGRAMME**

**Introduction à limnologie**

**Physico-chimie des eaux naturelles**

**Hydrodynamisme**

**Géologie des milieux marin et  
continental**

**Aménagements des systèmes  
aquatiques**

# **Chapitre 1: Introduction à limnologie**

L'hydrogéologie (de hydro-, eau et géologie, étude de la terre), également nommée hydrologie souterraine et plus rarement géohydrologie, est la science qui étudie l'eau souterraine.

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

La limnologie comme l'étude des eaux superficielles continentales. La limnologie est la « science des eaux continentales », ce qui la différencie de l'océanographie. La limnologie est l'écologie appliquée aux eaux continentales. Elle se subdivise en limnologie physique, limnologie chimique et limnologie biologique. À l'origine la limnologie était définie comme l'« océanographie des lacs » et parfois incorrectement comme " l'écologie des eaux douces".

# Limnologie

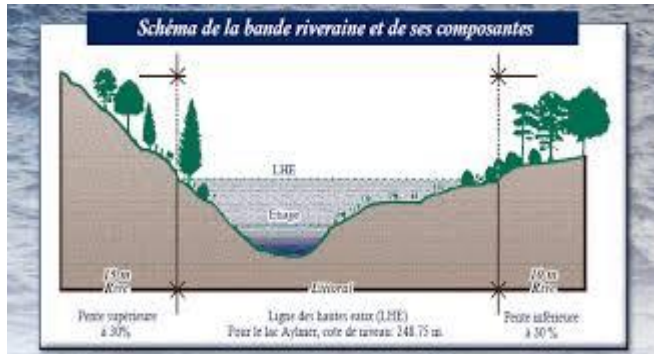
Ecosystèmes lenticques  
(lacs, marécages,  
étangs, mares, etc.)



Ecosystèmes lotiques  
fleuves, rivières,  
ruisseaux

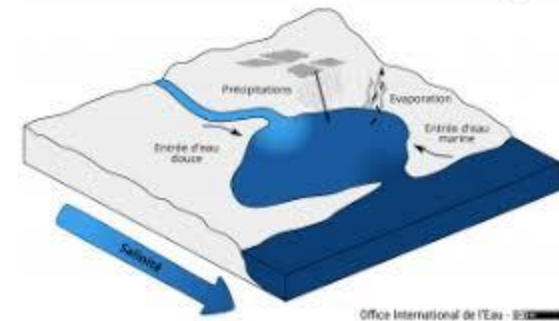


# Les lacs et lagunes



Un lac est une cuvette naturelle ou artificielle contenant de l'eau est ayant une certaine autonomie.

Fluctuations de salinité et de turbidité dans la lagune

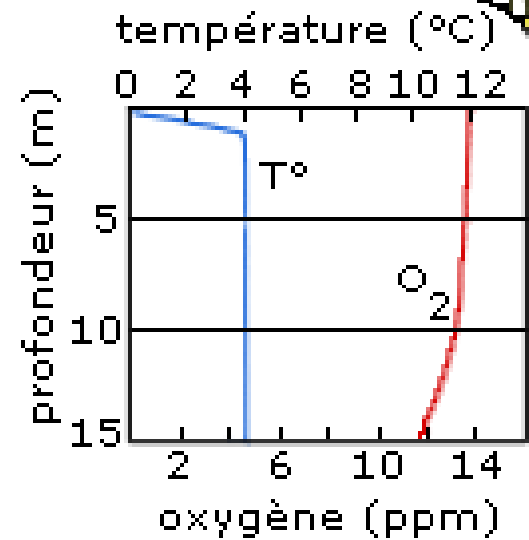


Les lagunes sont des plan d'eau littoraux dont les eaux sont partiellement salées en raison de l'influence des marées (Kienner, 1978)

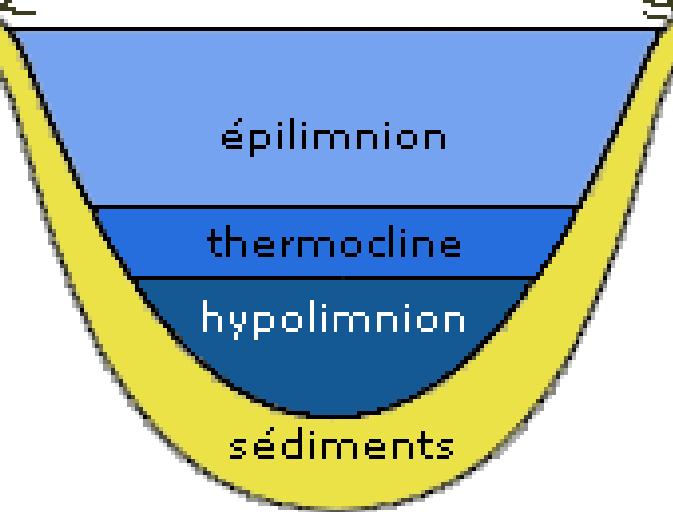
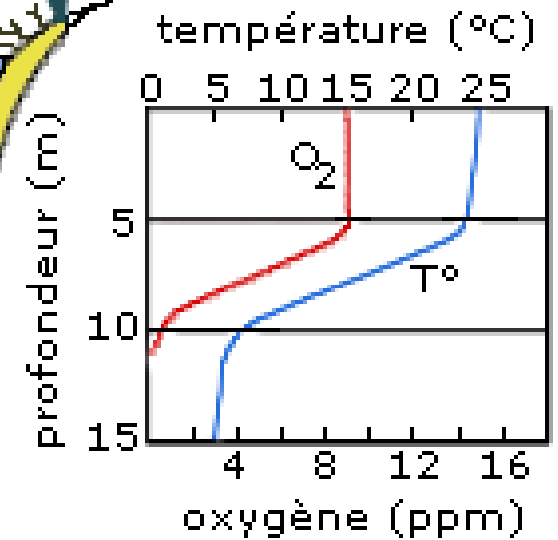
La surface approximative des lacs, sur notre planète, est de 20000 km<sup>2</sup>. Leurs origines sont variées: tectonique, volcanique, glaciaire, artificielle.

# Température

## STRATIFICATION HIVERNALE



## STRATIFICATION ESTIVALE





## Température

**L'hypolimnion** : c'est la couche thermique la plus profonde et de température stable ; elle apparaît, selon la saison, entre 15 et 30 m de profondeur.

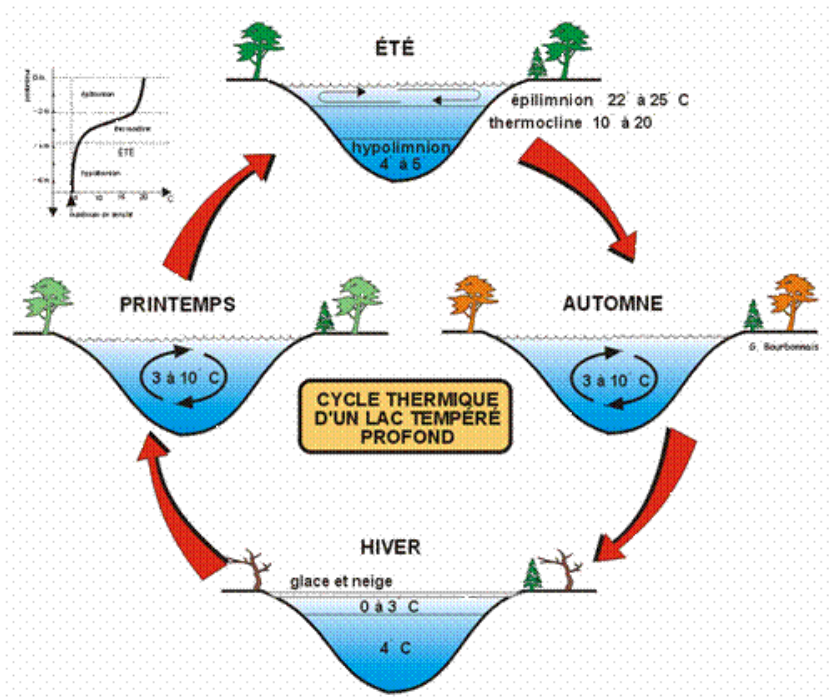
**L'épilimnion** : C'est la couche d'eau située au-dessus du métalimnion, c'est-à-dire de la thermocline. C'est la couche thermique la plus bioproductive ; son épaisseur varie généralement entre 15 et 30 m, selon la saison et la profondeur du lac.

**La thermocline** : C'est la zone de transition thermique rapide entre les eaux superficielles (généralement plus chaudes et oxygénées) et les eaux profondes (généralement plus froides et anoxiques et parfois plus salées).

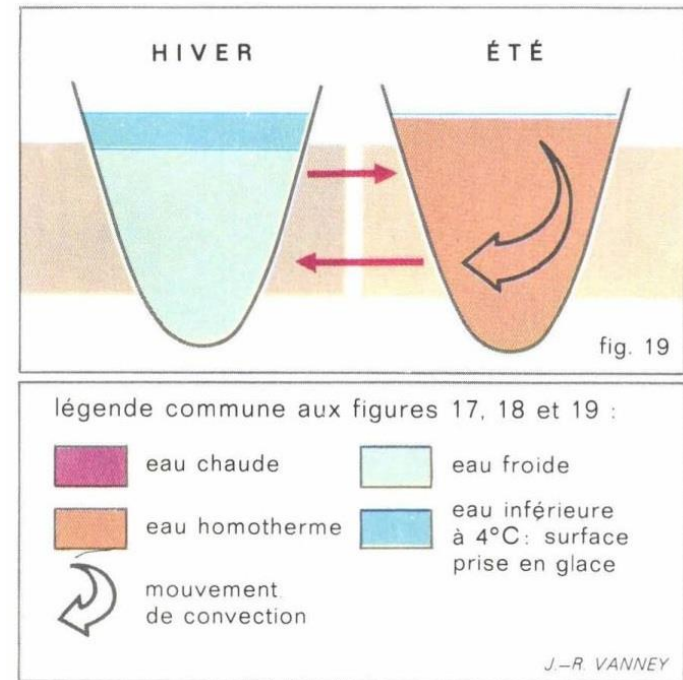


# Température

## Lac dimictique



## Lac monomictique



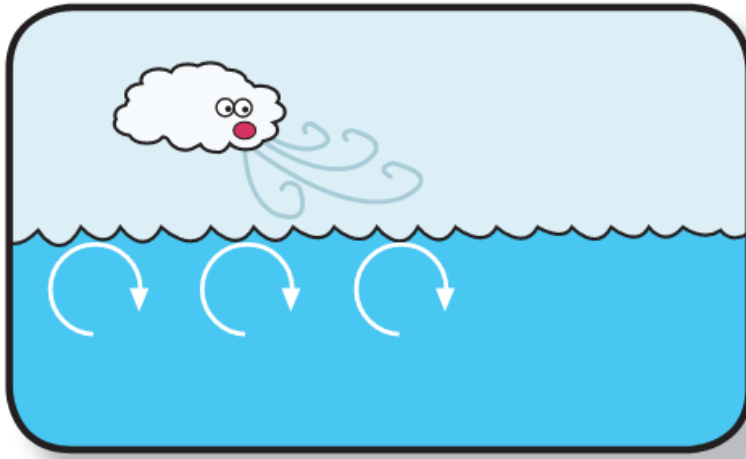
## Température

Les lacs dimictiques appartiennent à un type largement répandu dans les régions tempérées à saisons contrastées, avec des hivers relativement froids. Ce sont des lacs dont les eaux profondes sont à une température constante de  $+ 4^{\circ}\text{C}$  (C'est à cette température que l'eau atteint son maximum de densité) et dont les eaux de surface se réchauffent et se refroidissent alternativement.

En été, les eaux de surface sont chaudes et légères et flottent sur les eaux profondes. En automne, elles se refroidissent progressivement et s'enfoncent lorsqu'elles atteignent  $+4^{\circ}\text{C}$  : ce brassage se poursuit jusqu'à la réalisation de l'homothermie, à  $+ 4^{\circ}\text{C}$ . Après quoi la température des eaux de surface s'abaisse de nouveau, et ce refroidissement réalise une stratification stable. Une couche de glace peut même se former en surface. Au printemps, les eaux de surface se réchauffent et un second brassage se produit lorsqu'elles franchissent le seuil de  $+ 4^{\circ}\text{C}$ . Après quoi se met en place la stratification estivale. Les brassages ont aussi pour résultat de faire descendre des eaux de surface riches en oxygène. Il s'agit là d'un processus essentiel d'oxygénation des eaux profondes.

## L'oxygène dissous

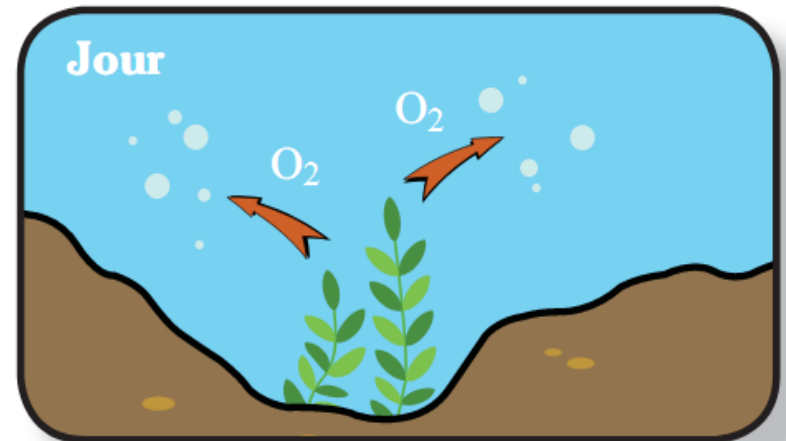
### 1. Les échanges avec l'atmosphère (absorption - évaporation)



Le phénomène de la diffusion de l'oxygène entre le lac et l'atmosphère est relativement lent. Toutefois, l'agitation de l'eau par le vent facilite les échanges en augmentant la surface de contact par la création de vagues et de remous. L'eau à la surface du lac peut donc se recharger facilement en oxygène.

Ce processus complexe, qu'on appelle photosynthèse, libère de l'oxygène dans l'eau. Durant la nuit, la photosynthèse s'interrompt et la production d'oxygène s'arrête, mais les organismes continuent de respirer. Cette différence explique en grande partie les variations journalières en oxygène dissous..

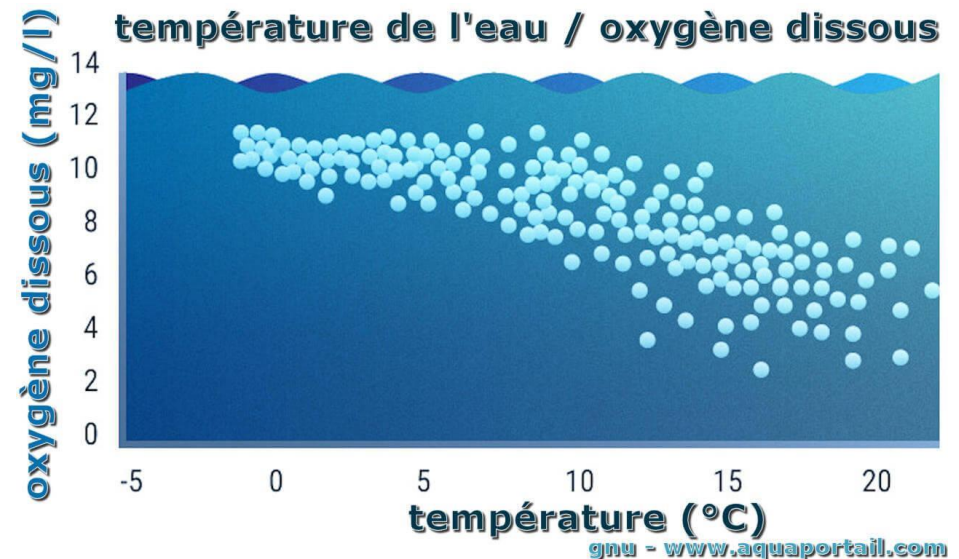
### 2. La photosynthèse



# Température/ O<sub>2</sub> dissous

Tableau 2 – Solubilité de l'oxygène atmosphérique dans l'eau ( $P = 101,3 \text{ kPa}$  ;  $P_{O_2} = (20,9 \text{ kPa})$ )

Température (°C)	C <sub>s</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )
0	14,60
10	11,27
20	9,07
30	7,54
40	6,41
50	5,54
60	4,71
70	4,02
80	2,53
90	1,01
100	0



L'atmosphère terrestre contient 21 % d'oxygène ; c'est le plus grand réservoir planétaire de ce gaz vital. À l'interface air/eau, les molécules d'oxygène peuvent diffuser de l'air vers l'eau ou de l'eau vers l'air, selon le degré de saturation de l'eau en oxygène.

## Température/ O<sub>2</sub> dissous



L'Ombles-chevaliers

### Sténotherme

Un organisme qui ne tolère que des variations de température de faible amplitude autour des valeurs moyennes, à l'opposé d'eurytherme.

On peut classer les organismes sténothermes en trois catégories:

- Les sténothermes "chauds" pour des températures comprises entre 43 °C et 18 °C ;
- Les sténothermes "Froids" pour des températures inférieures à 14 °C ;
- Les sténothermes "tempérés" pour des températures comprises entre 18 °C et 14 °C.

## Température/ O<sub>2</sub> dissous



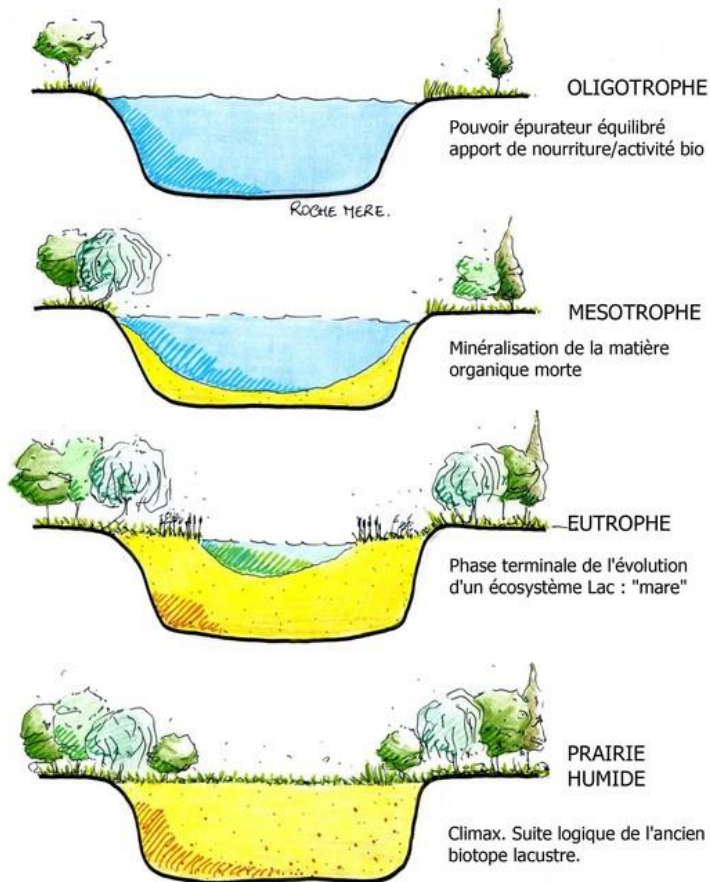
L'Ombles-chevaliers

L'Ombles-chevaliers circule en été dans les eaux profondes (à plus de 100 mètres dans le Lac Léman [se situe entre la France et la Suisse avec une forme d'un croissant et une profondeur de 309 m]). La ponte a lieu de Novembre ou Décembre à Février ou Mars sur des points caillouteux dont la profondeur est inférieure à 30 mètres. Ce poisson se comporte donc comme un sténotherme d'eau froide qui exécute des déplacements verticaux pour rechercher les zones les plus froides et les plus riches en oxygène dissous.



## Evolution Naturelle d'un écosystème lentique

Echelle de temps variable en fonction du pouvoir épurateur de l'eau et des intrants



GG

## Cycle de vie d'un lac

Un milieu oligotrophe (du grec oligo: « peu », et trophein: « nourrir »), est un milieu particulièrement pauvre en éléments nutritifs. Contrairement d'un milieu eutrophe (riche en éléments nutritifs). Quand le milieu est moyennement riche en nutriments, il est dit mésotrophe.

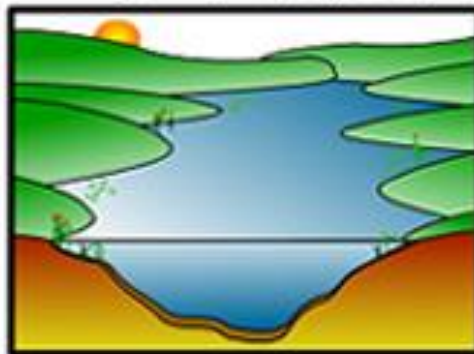
Typiquement les stades de vie des étangs et des lacs correspondent aux stades Oligotrophiques, Mesotrophiques ou Eutrophiques (du plus jeune vers le plus vieux).



## Cycle de vie d'un lac

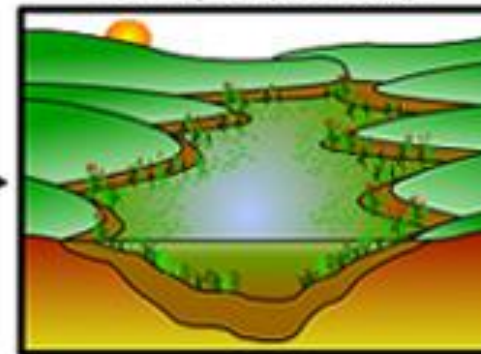
Processus naturel : **dizaines de milliers d'années**  
Processus accéléré par les activités humaines : **dizaines d'années**

Oligotrophe (lac jeune)



- Eaux claires
- Eaux fraîches
- Peu de végétaux aquatiques
- Eaux bien oxygénées
- Fond de roches, graviers, sables...
- Beaucoup d'espèces d'animaux

Eutrophe (lac vieux)



- Eaux peu transparentes
- Eaux chaudes
- Beaucoup de végétaux aquatiques
- Eaux peu oxygénées
- Fond de vase
- Peu d'espèces d'animaux (mort de plusieurs espèces)

## Les estuaires

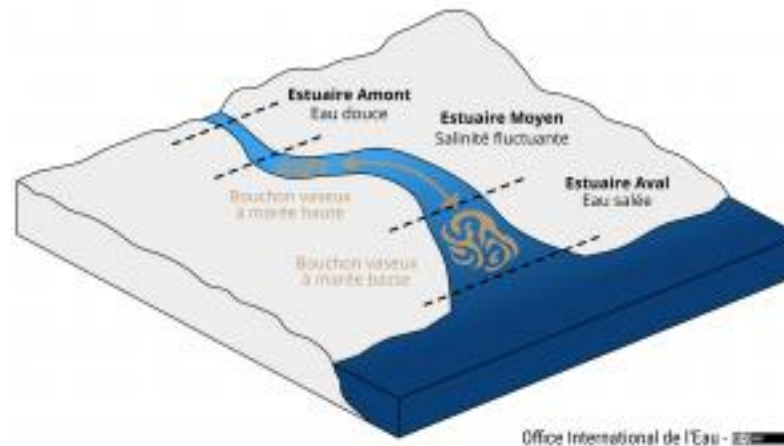
Les estuaires ont fait dans le monde l'objet de nombreuse étude par suite de la variété des problèmes qui s'y posent de différents points de vue: dynamique (marée), physico-chimique (mélange des eaux douces et salées), sédimentologique (dépôt de vase et ensablement), biologique par suite de leur faune euryhaline, et pratique, pour finir, puisque beaucoup d'estuaires servent de grands ports, fluviaux et marins (ensablement, pollution etc).

Donald W. Pritchard, grand spécialiste des estuaires, donnait en 1967 une définition plus précise, basée sur des considérations scientifiques.

**« Un estuaire est constitué par une masse d'eau confinée ayant une connexion libre avec la mer ouverte et à l'intérieur duquel l'eau de mer est diluée d'une façon mesurable avec de l'eau douce issue du drainage du bassin versant. »**


## Les estuaires

### Fluctuations de salinité et de turbidité dans l'estuaire




il faut distinguer les phénomènes de marée dynamique, c'est-à-dire la propagation des ondes de marée, sensible parfois sur des grandes distances, de la pénétration des eaux salées, appelée marée de salinité. Citons quelques exemples de pénétration de la marée dynamique dans les principaux estuaires: Gironde 127 km; Seine 144 km; Tamise 108 km, Saint Laurent 500km, Amazone 1500 km; Rio de la Palata 200 km


## La marée dynamique



La marée dynamique produit l'élévation du niveau de l'estuaire et du fleuve. Cette élévation est due, dans certains cas, à la pénétration d'une grande quantité d'eau salée et toujours à la remontée du niveau des eaux fluviales qui ne peuvent plus s'écouler librement vers la mer. Au contraire lors de jusant, les eaux marines se retirent ainsi que les eaux douces accumulées.




Le volume total de ces eaux alors beaucoup plus grand que lors du flot et donne lieu à des courants violents dits « courant de décharge », beaucoup plus forts que ceux du à la marée. L'importance de ces courants est due au volume des eaux fluviales, à l'amplitude de la marée et aux conditions topographiques.




Les différences d'amplitude sont dues à la force de Coriolis, due à la rotation de la terre, qui entraîne l'eau sur la gauche du courant, dans l'hémisphère sud et sur la droite dans l'hémisphère nord .

## La marée dynamique




Aux modifications de niveau dues aux marées s'ajoutent d'autres variations dues aux vents qui vont provoquer une élévation du niveau de la mer toute en s'amplifiant au fond de l'estuaire: c'est la marée barométrique.




Les courants de marée sont d'autant plus importants que le volume du fleuve sera grand, que la pente sera plus forte et l'estuaire plus profond. Dans les estuaires assez longs la marée se propage avec un certain retard, il arrivera souvent qu'une particule en suspension ne puisse arriver à la mer. Elle sera reprise par le prochain flot. Les particules décriront un mouvement oscillatoire d'amont en aval, mais avec une résultante générale vers l'aval.


## La marée de salinité



C'est la pénétration des eaux salées qui se mélangent avec les eaux douce du fleuve. Elle peut être rapide, avec passage brusque des eaux douces aux eaux salées ou, au contraire, se faire très lentement sur de grandes distances. Ceci dépend de nombreux facteurs:



Amplitude de la marée, Variation de volume de fleuve en étiage et en crue, qui entraînera des variations extrêmement importantes de salinité en un même point. De même la pénétration des eaux salées dépend du volume du fleuve: elles pénétreront d'autant plus que le débit sera plus faible.



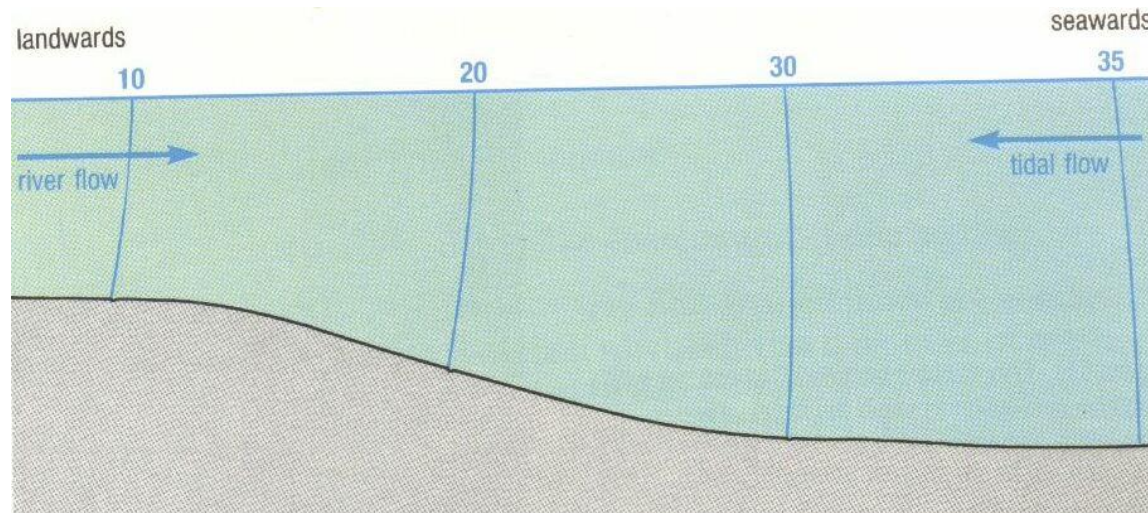
Les eaux salées, étant plus dense, cheminent par le fond et occupent généralement les creux et les fosses des estuaires, où il se produit une véritable stratification des eaux. La topographie de l'embouchure, sa pente, ses courbes ou méandres, les obstacles, la turbulence des eaux, etc., favorisent le brassage et le mélange des eaux.

## Les estuaires

Les modalités de pénétration de la marée de salinité ainsi que le degré de mélange des eaux marines et fluviales permettent de répartir les estuaires en trois grandes catégories :

### Les estuaires bien mélangés

C'est le cas lorsque les courants de marée sont importants devant le débit fluvial. La salinité ne varie pratiquement pas avec la profondeur même si elle peut considérablement varier le long de l'estuaire, en fluctuant au rythme de la marée ou des variations du débit fluvial, et sur sa largeur.

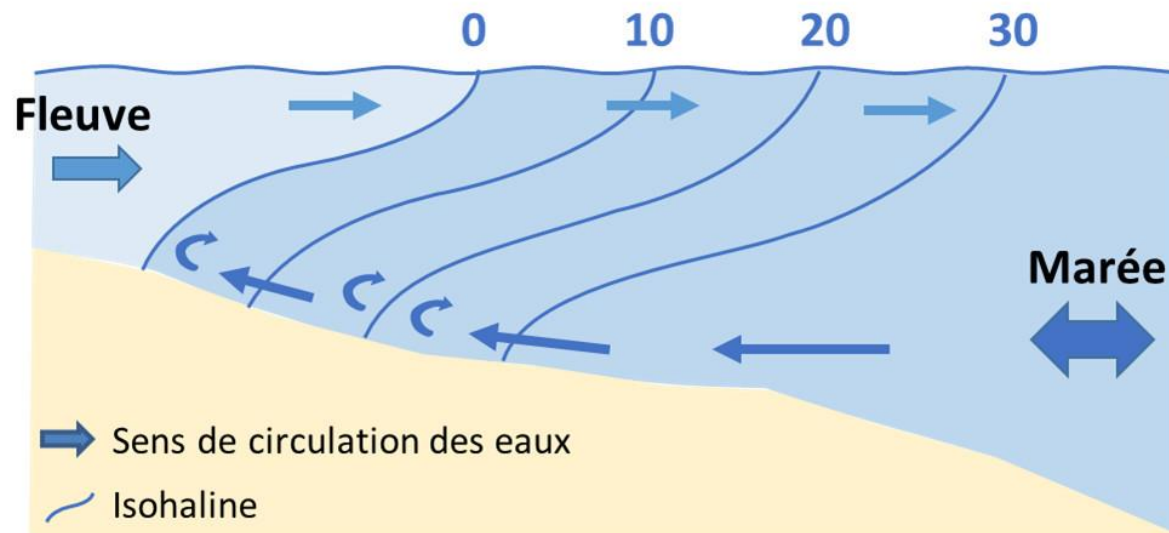




## Les estuaires

### Les estuaires partiellement mélangés

C'est le cas lorsque le débit du fleuve est faible par rapport au prisme de marée. Les courants de flot et de jusant, par leur turbulence, mélangent suffisamment les deux masses liquides pour que le gradient vertical de salinité soit réduit. L'écoulement moyen résiduel tend à se diriger vers l'aval sur toute la hauteur d'eau.

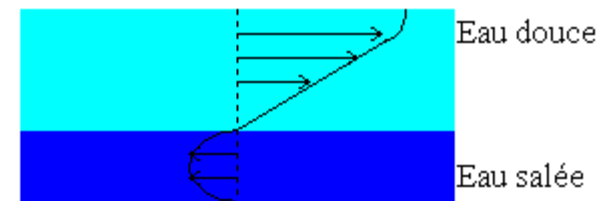
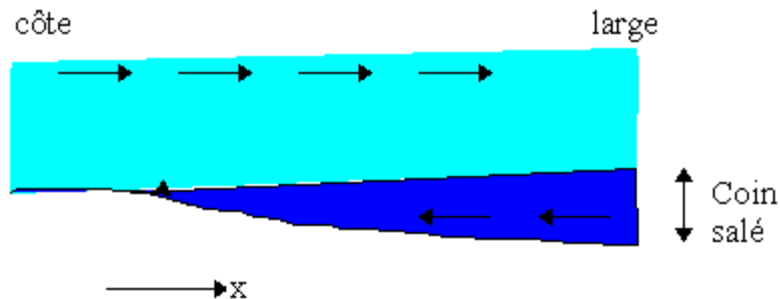


Eaux partiellement mélangées

# Les estuaires

## Les estuaires à coin salé

C'est le cas lorsque le fleuve par son débit a plus de puissance que la marée : l'eau douce fluviale s'écoule au-dessus de l'intrusion saline. Entre l'eau salée et l'eau douce, un fort gradient de densité et de salinité caractérise l'halocline. Des échanges diffusifs se produisent à l'interface mais ne perturbent pas fondamentalement la stratification et le gradient de salinité reste suffisamment élevé pour donner naissance à des courants de densité. Il en résulte une circulation résiduelle étagée qui représente le mouvement des masses d'eau, abstraction faite des allées et venues liées aux courants de flot et de jusant. L'écoulement se fait vers l'amont au fond, sur environ le tiers ou le quart de la hauteur de la tranche d'eau, avec une vitesse décroissante. A l'extrémité amont de l'intrusion marine, le point nodal est le point de convergence où s'annule le courant de fond qui remonte l'estuaire et le courant fluvial qui, sur toute la tranche d'eau, le descend.



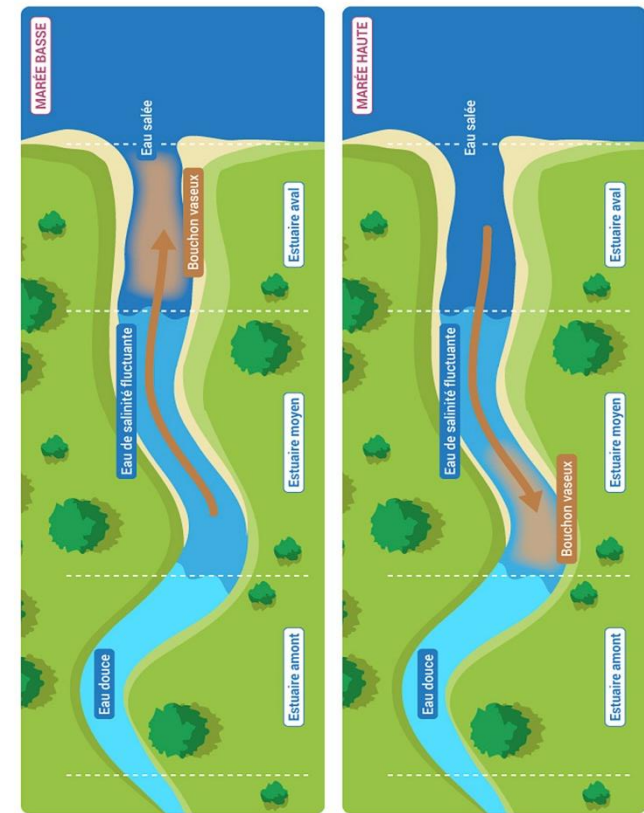
## Cycle d'évolution d'un estuaire

Par suite de la quantité des sédiments reçus, les estuaires sont des domaines où la terre avance généralement sur la mer.

La figure suivante montre les différents stades d'évolution des estuaires.

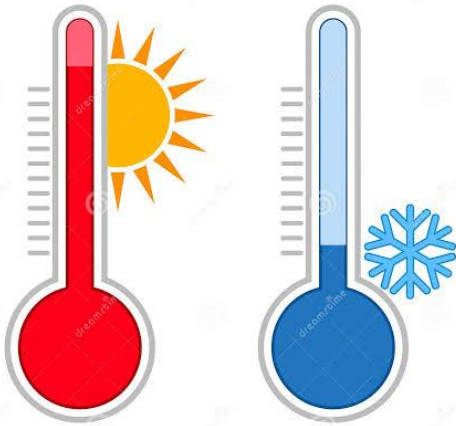
**Stade 1.** Le fleuve construit une sorte de cône de déjection et commence l'édification d'une petite plaine alluviale, qui augmentera avec le temps.

**Stade médian 2.** Le fleuve remblaie la vallée. Il circule avec des méandres dans la plaine alluviale qu'il a formée. D'immenses bancs de sable ou de vase découvrent à marée basse.



# **Chapitre 2: Physico-chimie des eaux naturelles**

## La température



La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont , entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique.

Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C).



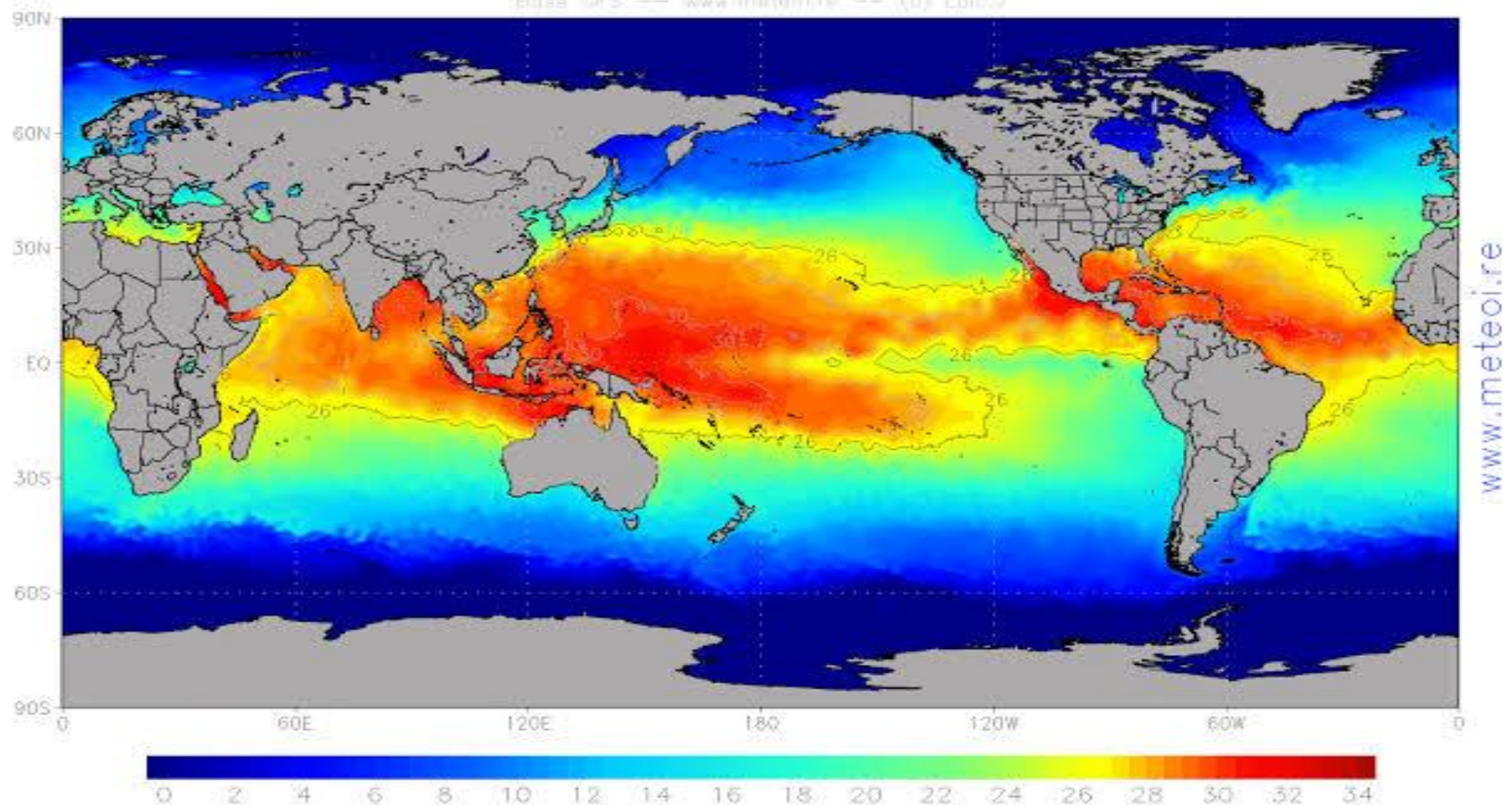
L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

# La température

## Sea Surface Temperature (SST)

Valable pour: 00Z21OCT2016

Base GFS — www.meteo.fr — (c) LdM



## La température

Les eaux de surface des océans en contact avec l'atmosphère sont soumises aux rayonnements solaires, à l'évaporation, aux transferts par convection au contact de l'air mis en mouvement par les vents et à d'autres phénomènes. De ce fait, leur température varie des pôles à l'équateur. La température de congélation de l'eau de mer à une salinité de 35 ‰ ( $S = 35$ ) est de  $-1,9\text{ °C}$ .

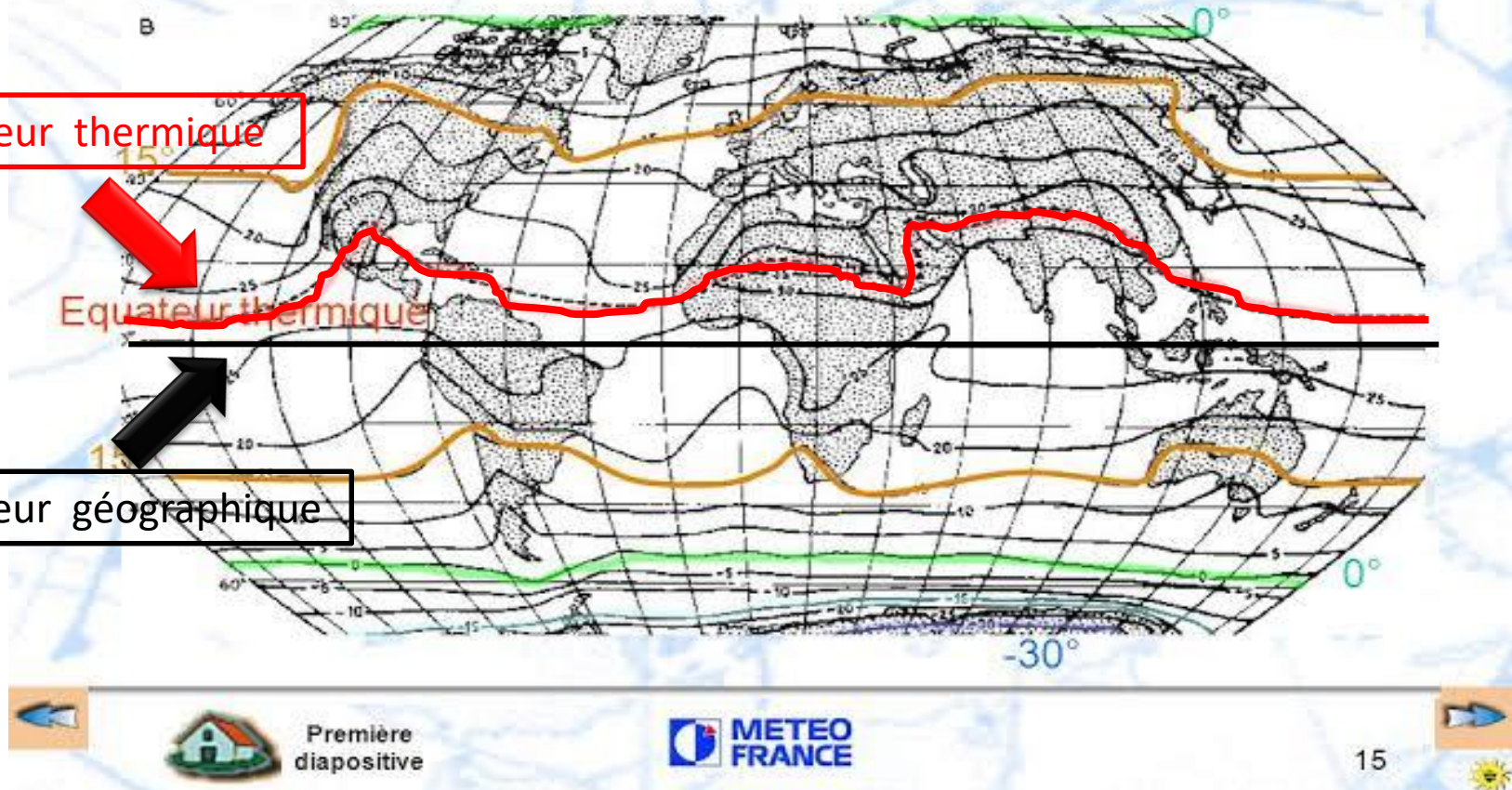
Les variations annuelles de température vont de 1 à 3 degrés dans le cas des eaux polaires et intertropicales, mais cet écart est plus important en zone tempérée ( $8\text{ °C}$  pour la Manche et  $13\text{ °C}$  pour la Méditerranée par exemple). En revanche, les fluctuations diurnes dépassent rarement  $1\text{ °C}$  du fait de la forte chaleur spécifique de l'eau (voir plus loin) et n'affectent qu'une couche inférieure à 1 m de profondeur (hors influence des vagues et courants). Les eaux littorales très peu profondes et a fortiori les eaux confinées (baies, lagunes, lacs, bassins d'élevage), dont l'inertie thermique est moindre, reflètent plus vite et plus intensément que les eaux du large les variations de température de l'atmosphère. Ces zones peu profondes suivent la température de l'air et sont plus chaudes (l'été) ou plus froides (l'hiver) que les eaux, même côtières, des mers ou océans.



# La température

## Variations saisonnières (2/2)


- En surface : distribution moyenne JUILLET




## La température

Les vents favorisent les échanges thermiques par brassage des eaux sous l'effet des vagues. Les courants peuvent également ramener en surface des eaux à des températures différentes. Des variations de température rapides peuvent donc survenir malgré la forte chaleur spécifique de l'eau. En mer, les courants dominants amènent des eaux chaudes ou froides loin de leur origine (le golfe du Mexique reçoit des eaux chaudes venues du Sud, tandis qu'à la même latitude la côte californienne reçoit des eaux froides venues du Nord). L'équateur thermique ne coïncide pas avec l'équateur géographique, il se situe au nord de celui-ci.

## La température



Les eaux océaniques profondes sont froides ( $\approx 4\text{ °C}$  au-dessous de 1 000 m de profondeur) et les 3/4 des volumes des océans ont une température moyenne de  $3,25\text{ °C}$  (de  $0$  à  $6\text{ °C}$ ). En Méditerranée mer fermée, elle varie de  $13$  à  $13,5\text{ °C}$  à 2 000 m de profondeur.




La température des eaux de surface affecte la formation des brouillards, des brises marines, des précipitations, mais aussi celle de toutes les masses d'air qui les surmontent. Elle joue donc un rôle capital dans l'atmosphère terrestre. La chaleur des eaux peut ainsi modifier la masse d'air qui la surplombe sur des distances de 35 à 40 km : les températures de surface des eaux tropicales déterminent ainsi la genèse des cyclones tropicaux.




Le site [Seatemperature.org](http://Seatemperature.org) fournit journallement la température de 7 000 points de mesure dans 200 pays et le site [Meteociel.fr](http://Meteociel.fr) les températures des eaux marines autour de la France. Bien d'autres abondent en informations sur le sujet avec les mots clés « sea temperatures ».

## La température

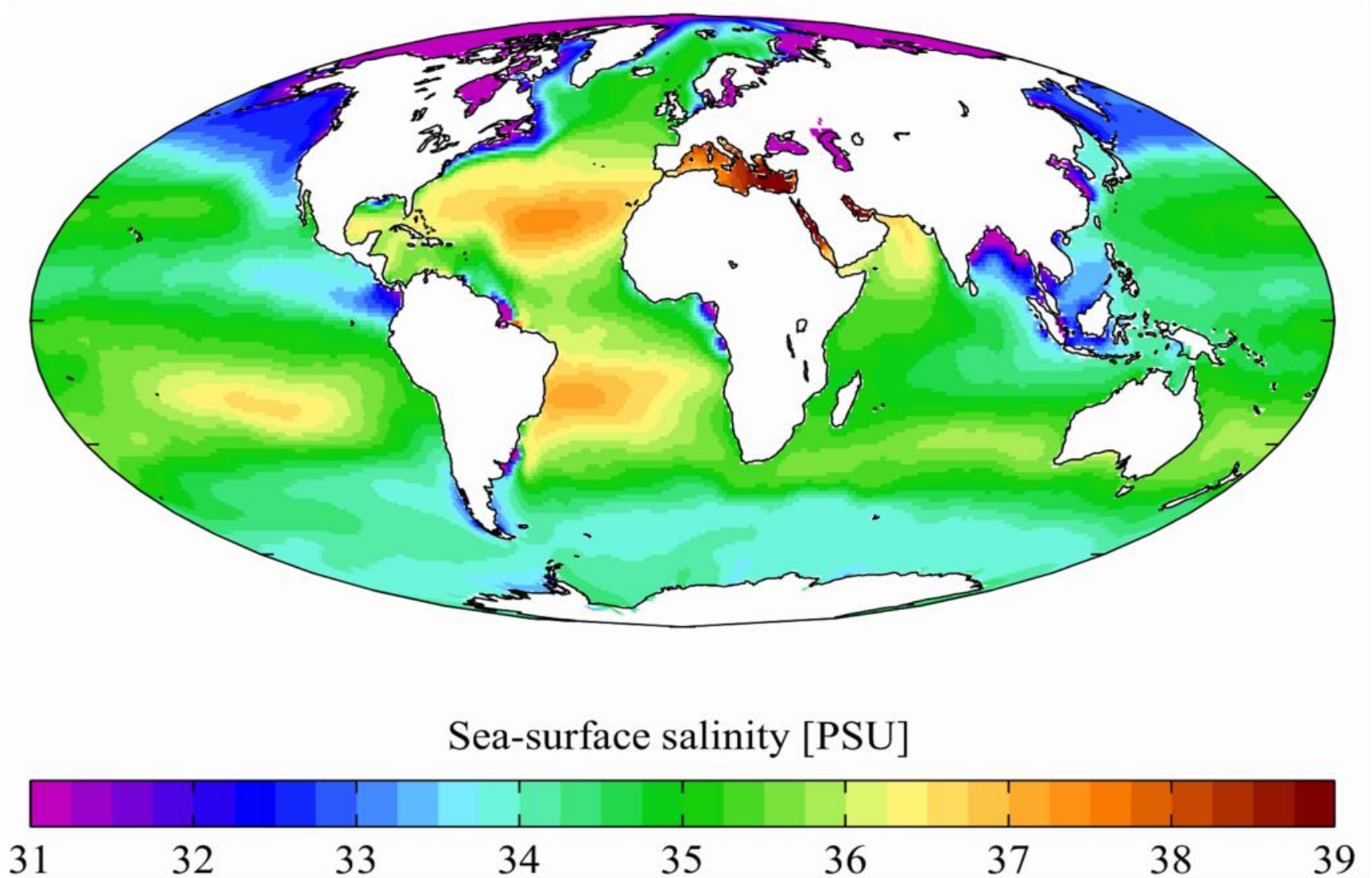


La température des eaux de surface est en train d'augmenter dans tous les grands ensembles océaniques. Au cours des 100 dernières années, on a d'abord enregistré une période de réchauffement (1910-1945), suivie d'une période de refroidissement. Mais depuis les années 1970, la température des eaux de surface n'a fait qu'augmenter. Au niveau mondial, la surface de l'océan (jusqu'à 75m) s'est réchauffée de plus de 0,1 °C/décennie depuis 1971.



L'eau des océans s'est déjà réchauffée jusqu'à une profondeur d'au moins 3000 m. Les océans ont absorbé la plus grande partie de la chaleur ajoutée au système climatique : entre 1971 et 2010, les océans ont absorbé 93% du surplus d'énergie engendré par le réchauffement climatique (les sols ont absorbé 3%, la fonte des glaces 3% et l'atmosphère 1%). On s'attend à ce que le réchauffement terrestre à long terme soit plus élevé que le réchauffement océanique.

# La salinité





## La salinité

Nous avons vu que l'eau de mer est constituée de 96,5 % d'eau pure et 3,5 % d'autres substances comme les sels, les gaz dissous et les substances organiques. L'eau est le milieu naturel où le plus grand nombre de substances (minérales, organiques, à l'état gazeux, liquide ou solide) peuvent se dissoudre et entrer en réactions.

L'eau marine est salée, la salinité est exprimée en partie pour mille (S ‰) représentant la masse (en grammes) de substances solides par kilo (kg) d'eau de mer quand les ions iodure et bromure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée.

## La salinité

→ La chlorinité (Cl ‰) représente la masse (g) de chlore équivalente à la quantité totale d'halogènes dans un kilogramme d'eau de mer.

Salinité et chlorinité sont liées :  $S \text{ ‰} = 1,805 \text{ Cl ‰} + 0,030 \text{ ‰}$ .

→ On évalue à présent la salinité en mesurant la conductivité de l'eau et on l'exprime en unités pratiques de salinité ou ups, qui correspond à 1 mg/g de sel.

→ La teneur moyenne en sels est de 35 ups (35 g/kg) dans l'océan (de 33 à 37), mais le nord de la mer Rouge en contient 42, tandis que certains golfes de la mer Baltique sont à 4 ups.



La salinité

Élément chimique	Symbole	%	g/l
Chlore	Cl <sup>-</sup>	55,2	18,98
Sodium	Na <sup>+</sup>	30,4	10,56
Sulfates	SO <sub>4</sub> __	7,7	2,64
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	3,7	1,27
Calcium	Ca <sup>++</sup>	1,16	0,40
Potassium	K <sup>+</sup>	1,1	0,38
Brome	Br <sup>-</sup>	0,1	0,06
Strontium	Sr <sup>++</sup>	0,04	0,01
Acide borique	H <sub>3</sub> <sup>80</sup> <sub>3</sub>	0,07	
Acide carbonique et carbonates	HCO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -	0,035	

## La conductivité

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique.


La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S/cm}$ .

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau.

La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observées par exemple en cas de déversements d'eaux usées.

Conductivité typique des eaux:  
Eau ultra-pure  $5.5 \cdot 10^{-6}$  S/m  
Eau potable 0.005 – 0.05 S/m  
Eau de mer 5 S/m


## La turbidité



La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...).

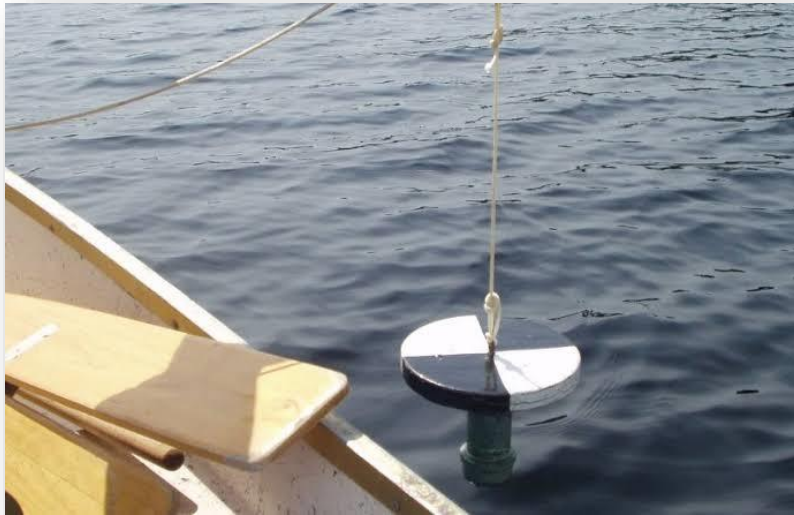
La turbidité est un facteur écologique important, qui peut traduire :

- ☐ Une teneur importante (normale ou non) en matières en suspension : argile, limon, particules fines organiques ou inorganiques (consécutives par exemple à l'érosion, au lessivage de sols fragiles, dégradés ou agricoles labourés) ;
- ☐ Une teneur élevée en plancton ;
- ☐ Une pollution ou eutrophisation de l'eau, cause éventuelle d'asphyxie (par anoxie) du milieu ou de colmatage des branchies des poissons.



Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension.

# La turbidité



En océanographie et en Limnologie, pour mesurer la turbidité de l'eau de mer on utilise le disque de Secchi : il s'agit d'un disque horizontal de dimension normalisée descendu dans l'eau à l'aide d'une ligne graduée ; on mesure la profondeur à laquelle le disque disparaît pour l'observateur situé à la surface, ou la profondeur à laquelle il réapparaît.

Tableau : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

<b>NTU &lt; 5</b>	<b>Eau claire</b>
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

## **La turbidité**

**La turbidité est mesurée par différentes méthodes de photométrie des milieux troubles comme la néphélométrie,**

**Il y a aussi plusieurs unités de mesure:**

**FNU (Formazine Nephelometric Unit), ou NFU utilisé dans le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles. Cette unité mesure la turbidité sous un angle de 90° à une longueur d'onde de 860 nm ;**

**FAU (Formazine Attenuation Unit) mesure la lumière transmise (180°).**

**L'unité de turbidité prescrite par l'Environmental Protection Agency (EPA – USA) est le NTU (Nephelometric Turbidity Unit).**

# La pH (Potentiel d'Hydrogène)

Le pH mesure l'acidité en utilisant une échelle logarithmique : une diminution de la valeur du pH d'une unité correspond à une augmentation d'un facteur 10 de la concentration en ion hydrogène, c'est-à-dire de l'acidité. Le pH de l'eau de mer varie entre 7,9 et 8,3 selon les zones.

Le pH exprime la concentration en ions hydrogène :

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+].$$

L'environnement chimique est très influencé par le pH : par exemple, l'équilibre entre  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NH}_3$  dans l'eau est déplacé vers la formation de  $\text{NH}_3$  très toxique pour les poissons quand le pH augmente. La même eau, non toxique à pH 6,7, peut tuer les animaux à pH 8.

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

# L'oxygène dissous

→ L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène dans le liquide et dans l'air soient en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O<sub>2</sub> diminue lorsque la température et l'altitude augmentent.


→ Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression atmosphérique est de 8,8 mg/l d'O<sub>2</sub> à saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée.

→ **La DBO** (demande biochimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de microorganismes, dans des conditions données.


Situation	DBO <sub>5</sub> (mg/l d'O <sub>2</sub> )
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < c < 3
Egout	100 < c < 400
Rejet station d'épuration efficace	20 < c < 40




## L'oxygène dissous



Les conditions communément utilisées sont 5 j (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de la DBO<sub>5</sub>. Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables.



**La DCO** (demande chimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium.




La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO (oxydation « forcée ») et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple).

La relation empirique suivante lie la DBO<sub>5</sub>, la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) :


$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

## L'oxygène dissous



Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO. Le résultat s'exprime en mg/l d' O<sub>2</sub>.

Généralement, la DCO vaut de 1,5 à 2 fois la DBO<sub>5</sub> pour les eaux usées domestiques.



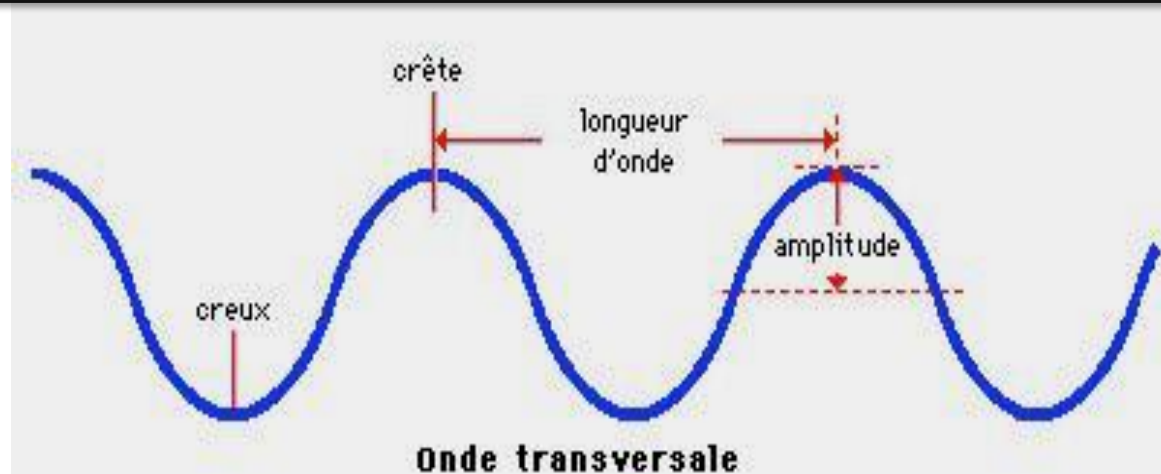
**L'oxydabilité** est une mesure similaire à la DCO, utilisée dans le cas de faible concentration en matière organique (DCO < 40 mg/l d' O<sub>2</sub>). L'oxydant requis est le permanganate de potassium.

# Chapitre 3: Hydrodynamisme

La circulation côtière est essentiellement dépendante de quatre facteurs : la marée, le vent, les différences de densité des fluides considérés et enfin les courants induits par la houle.

## Vagues et houles

Les vagues et les houles forment deux types d'oscillations à la surface de la mer, existant soit au large soit près de la côte. Ces deux mouvements sont le résultat de l'énergie mécanique du vent. Les temps caractéristiques (périodes) : vagues (environ 1 seconde), houle (environ 10 secondes), raz marées (environ 1000 secondes), marées (environ 12 à 24 heures), tempêtes (environ 1 à 2 jours), courants (environ 1 mois). La figure 1 ci-dessous indique la terminologie couramment utilisée pour désigner les diverses caractéristiques d'une houle ou vague. La période est le temps de passage de deux crêtes ou de deux creux successifs devant un point fixe. La célérité ou la vitesse de phase est le quotient de la longueur d'onde par la période.



# Vagues et houles

**\* Les vagues :** Elles sont observées dans la zone d'action du vent ou dans son voisinage immédiat, donc les vagues sont causées par les vents locaux, leur régime est très varié et leurs directions peuvent-être également variée d'un instant à un autre. Lorsque le vent souffle la surface de la mer présente une apparence très complexe d'où on observe un chevauchement de crêtes et de creux qu'on peut mettre en évidence par stéréographie (photographie aérienne).

**\* La houle :** C'est le résidu de l'action des vagues en absence de l'action directe des vents, et bien loin des aires de génération des vagues. La houle est un phénomène de tempête au large qui se propage jusqu'aux côtes. La prédiction de la houle est à la base de la sécurité de la communication maritime, ainsi que les installations littorales. Les vagues et la houle présentent toutes les deux le phénomène d'oscillation malgré la différence dans certaines propriétés, telle que la période.

Force du vent	Etat de la mer	Hauteur des vagues
0	Plate	0 m
1	Ridée	< 0,3 m
2	Belle	0,3 à 0,6 m
3	Peu agitée	0,6 à 1,0 m
4	Agitée	1,0 à 1,5 m
5	Houleuse	1,5 à 2,5 m
6	Très houleuse	2,5 à 3,5 m
7	Grosse	3,5 à 6,0 m
8	Très grosse	6,0 à 12 m
9	Enorme	> 12 m

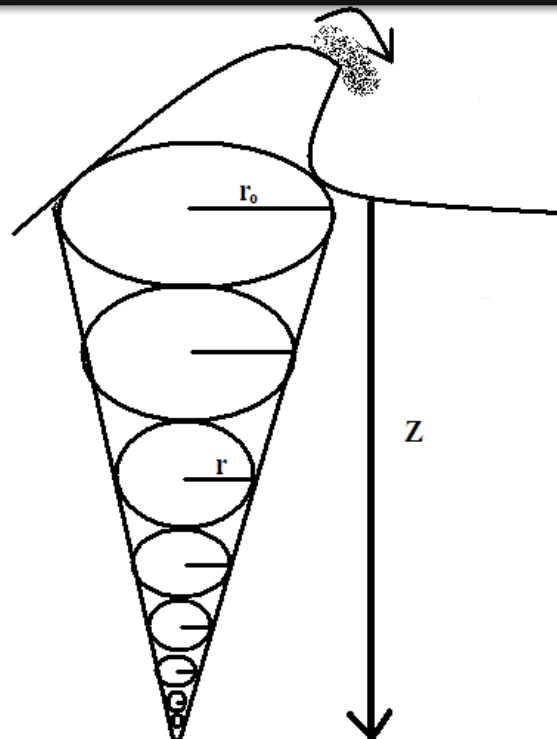
# Ondes ou houle de Stokes



# Vagues et houles

## Houle de Gerstner (Ondes crinoïde)

Dans ce cas les particules d'eau suivent la trajectoire de cercles fermés dont le diamètre est inversement proportionnel à la profondeur (Fig. 3). Cependant, les ondes sont caractérisées par une atténuation au fur et à mesure qu'on descend en profondeur. Ce type d'ondes est rencontré dans les eaux profondes. On signale qu'une eau est considérée comme profonde lorsque la profondeur  $z > \lambda/2$ .



$$r = r_0 \cdot e^{-kz}$$

$r$  : Diamètre,  
 $r_0$  : Diamètre initial,  
 $k$  : Coefficient de proportionnalité, en fonction de la viscosité,  
 $Z$  : Profondeur.

Figure 3. Trajectoire des particules d'eau et profil d'une houle dans une eau profonde.



## Vagues et houles

### Ondes stationnaires

C'est la superposition de plusieurs houles d'origines distinctes. Ce principe trouve une application simple dans le cas de deux houles de même longueur d'onde ( $\lambda$ ), même hauteur (H), mais se propageant en sens inverse : houle incidente et houle provenant de sa réflexion sur un obstacle. Dans ce cas, on obtient ce qu'on appelle une onde stationnaire et l'égalité des phases en tous points, supprime toute apparence de déplacement d'ondes.

### Houle en eau peu profonde ( $Z < \lambda/2$ )

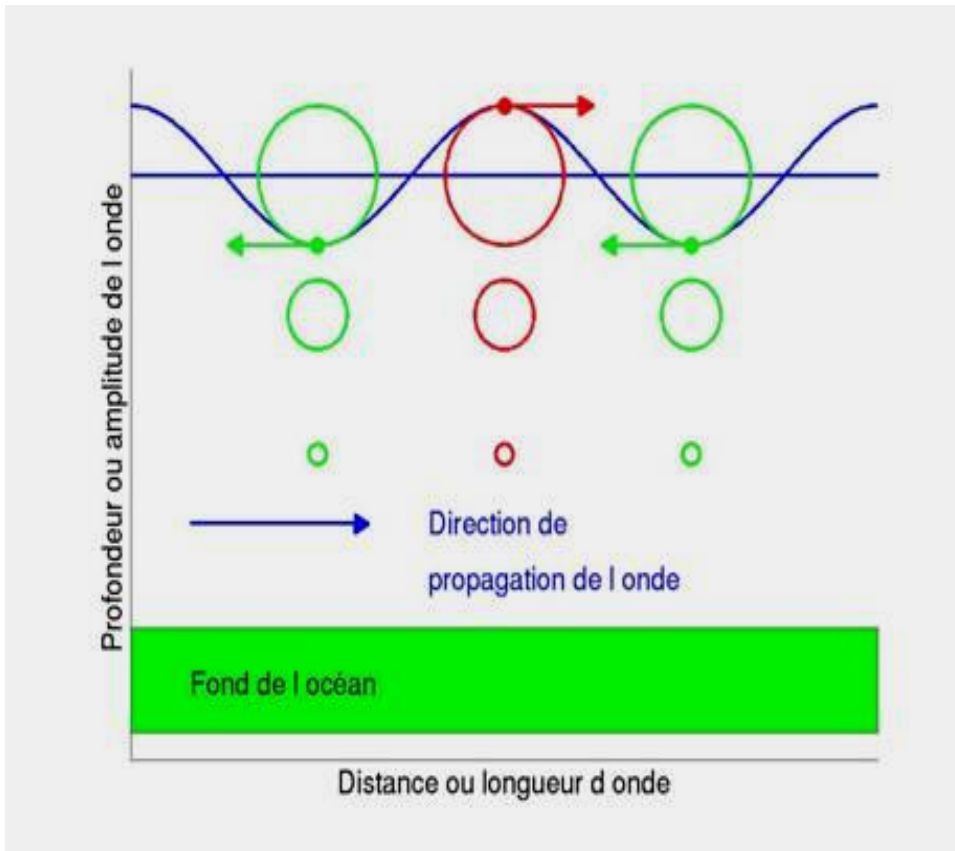
Ce type d'agitation se propage à la surface de l'eau de façon sinusoïdale. La trajectoire des particules en fonction de la profondeur est un ensemble de cercles. Lorsque la profondeur devient trop faible, la trajectoire circulaire des particules devient un ensemble d'ellipsoïdes qui s'étirent au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (en se rapprochant du fond).

### Houle en eau profonde ( $Z > \lambda/2$ )

Dans ce cas, la trajectoire des particules de la surface à la profondeur, est un ensemble de cercles dont le diamètre diminue d'une manière exponentielle :

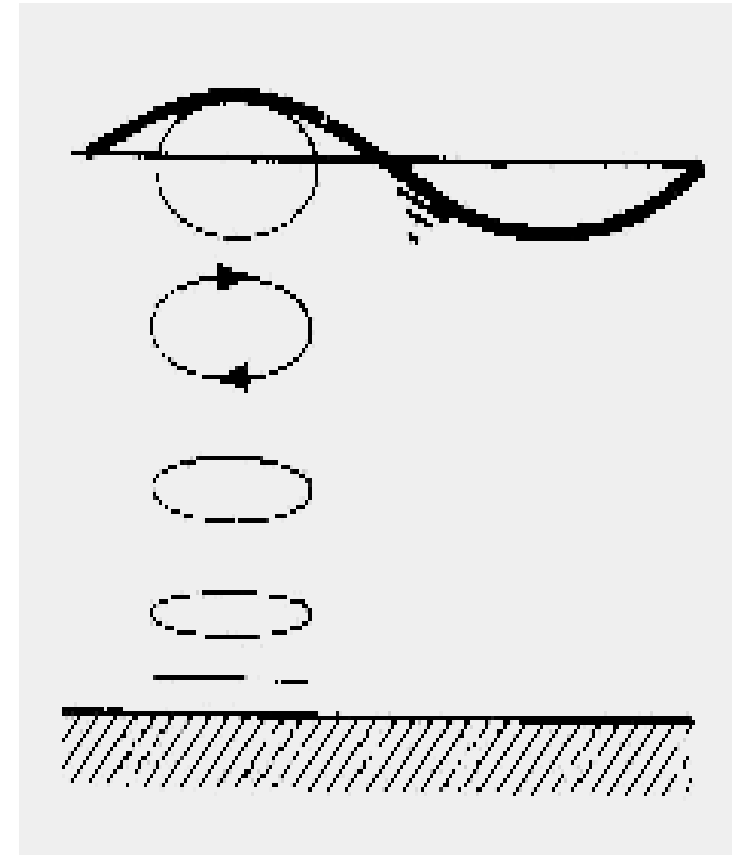
$$r = r_0 \cdot e^{-kz}$$

# Vagues et houles



*En eau profond*

← Trajectoire des particules d'eau



*En eau peu profonde*

----- Trajectoire des particules d'eau

## Vagues et houles

### Vagues et houles près de la côte

Au voisinage de la côte, le premier phénomène observé sur une houle ou une vague venant du large est la disparition de ces deux mouvements à courtes crêtes sur les plages et ceci par petit fond. Le mouvement circulaire des particules, s'étire en ellipses dont le grand axe devient parallèle à la direction de la propagation. En se rapprochant du rivage les ellipses sont de plus en plus allongées et tendent vers une droite le long de laquelle se produisent des déplacements linéaires.

**Comment les vagues et la houle déferleraient-elles ?** Lorsque la houle du large arrive à proximité d'une côte, elle se déforme à partir du moment où la profondeur devient égale à la moitié de la longueur d'onde ( $\lambda/2$ ). C'est ainsi que le fond exerce une action de freinage, avec pour conséquence une diminution de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) ainsi que la vitesse de transition. Le mouvement qui affecte l'eau change aussi. En effet, au large chaque molécule d'eau parcourt un cercle qui la ramène presque au même point après le passage de chaque crête. Lorsqu'on se rapproche de la côte et au point  $Z = \lambda/2$ , les cercles de la trajectoire des particules d'eau formés auparavant, deviennent des ellipses de plus en plus aplaties, et une certaine quantité d'eau est projetée vers l'avant à partir du sommet à chaque passage de vague. De cette modification de la trajectoire des molécules d'eau, le parcours des vagues et des houles fini par un déferlement sur le rivage.

# Vagues et houles

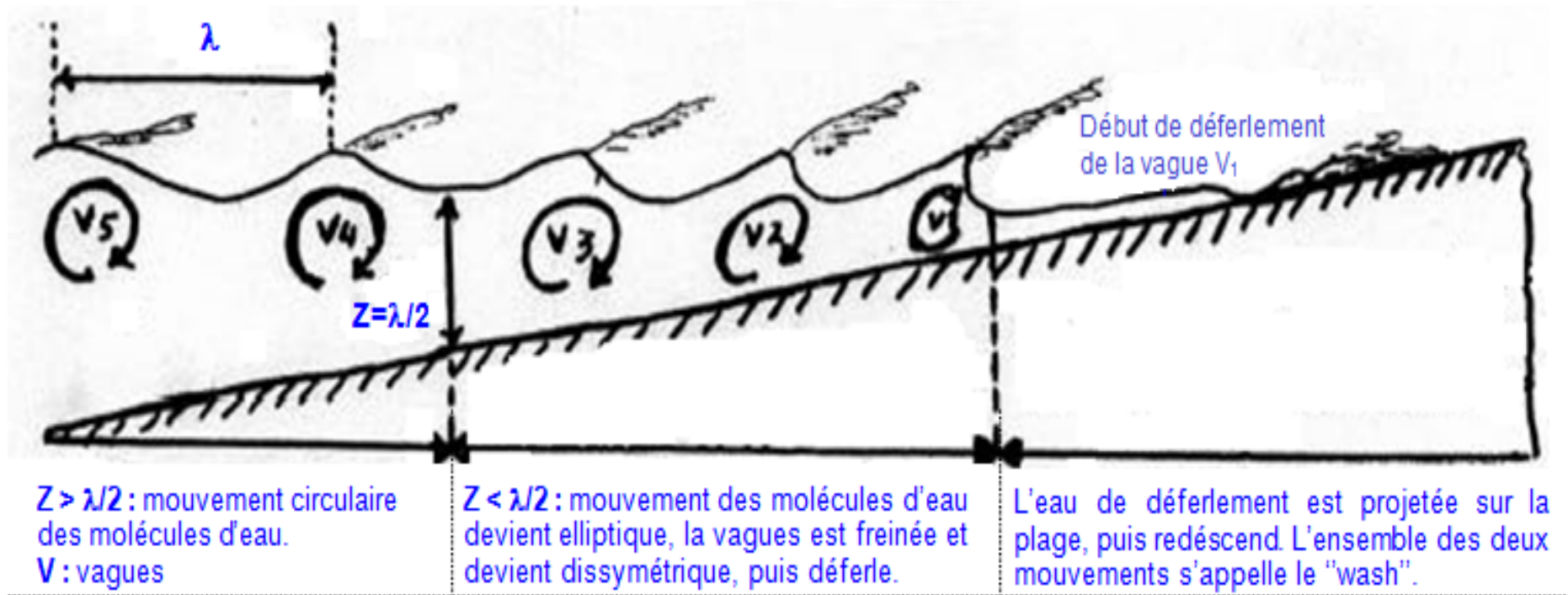


Figure 5. Comportement des vagues et des houles près de la côte.

## Vagues et houles

La cambrure (Y), est la limite du rapport  $H/Z$  avant le déferlement de la vague ou de la houle. Le déferlement se produit lorsqu'une vague s'approche du rivage, et le frottement du fond fait progressivement décroître la longueur d'onde ( $\lambda$ ) de la vague de (A) en (B) puis en (C). Le fond ne commence à influencer sur la vague qu'à partir du moment où la profondeur de l'eau ( $Z$ ) devient égale à la moitié de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) de la vague. Cette diminution de la longueur d'onde s'accompagne d'une augmentation proportionnelle de la hauteur des vagues, qui paraissent s'empiler au fur et à mesure qu'elles s'approchent du rivage. Lorsque cette hauteur ( $H$ ) est égale au  $\frac{3}{4}$  de la profondeur ( $Z$ ), la lame bascule sur elle-même et la vague se brise : c'est le *déferlement*.

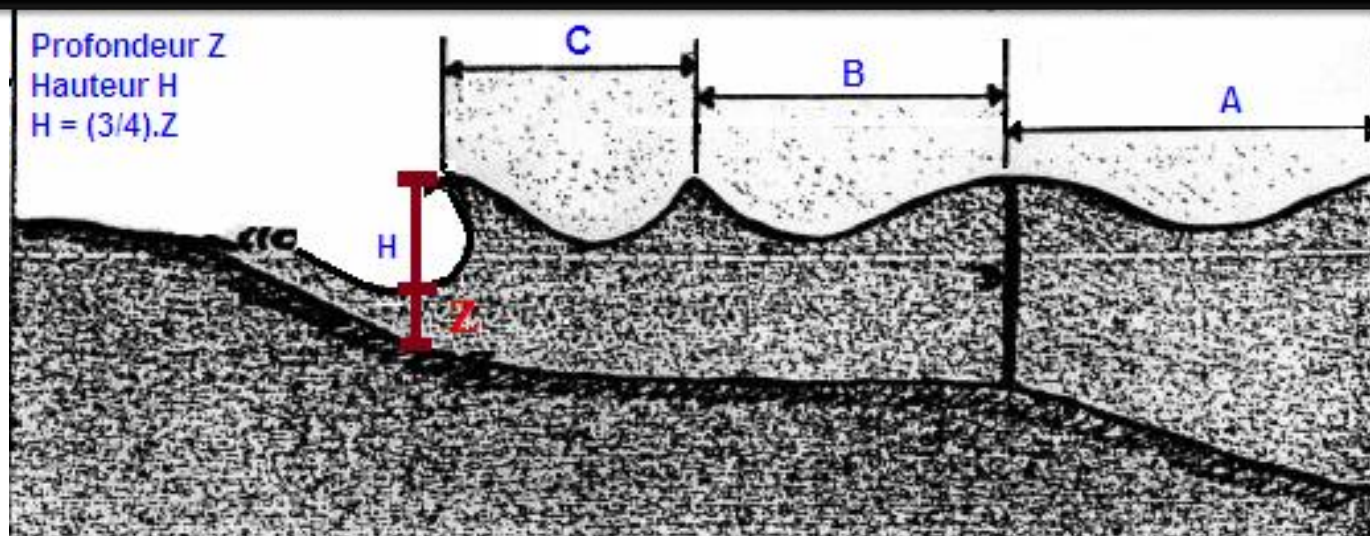


Figure 6. Le déferlement de la vague sur la plage.

## Vagues et houles

### Réflexion parfaite sur une paroi solide

Lorsqu'une onde se heurte contre un obstacle solide et vertical telle qu'une digue par exemple, cette onde sera réfléchiée. Cependant, si cet obstacle est ridé et incliné, il y aura un phénomène de dissipation de l'onde incidente, tandis que si l'obstacle est vertical et lisse l'énergie de l'onde s'amplifier. Lorsqu'on a deux ondes de mêmes caractéristiques en se croisant il y aura :

- \* Soit que les deux amplitudes s'additionnent (ondes de mêmes phases).
- \* Soit qu'elles s'annulent (ondes de phases différentes) et on aura des ondes stationnaires.

## Marées

La marée est le mouvement montant (flux ou flot) puis descendant (reflux ou jusant) des eaux des mers et des océans ; causé par l'effet conjugué des forces de gravitation de la lune et du soleil. Lorsque la terre et ces deux astres sont sensiblement dans le même axe, c'est-à-dire lors de la pleine lune et de la nouvelle lune, les marées sont de plus grandes amplitudes (vives eaux) ; au contraire, lors du premier et du dernier quartiers, l'amplitude est plus faible (mortes eaux). Selon l'endroit, il peut y avoir un cycle de flux et de reflux une fois ou deux fois par jour. Les marées les plus faibles de l'année se produisent normalement aux **solstices** d'hiver et d'été, les plus fortes aux **équinoxes**.

**Les solstices** : Points de la sphère céleste où le soleil atteint une déclinaison extrême de  $+23^{\circ}27'$  ou  $-23^{\circ}27'$ , instant où le soleil atteint ce point. Astronomiquement le solstice définit le début de l'été ou le début de l'hiver (20-21 juin, 21-22 décembre dans l'hémisphère Nord). Les solstices sont deux moments de l'année où le soleil atteint ses positions les plus méridionale et septentrionale par rapport au plan de l'équateur. **Les équinoxes** de mars et de septembre sont les deux moments de l'année où le jour et la nuit sont approximativement de même durée. Lors des équinoxes, le soleil se lève exactement à l'Est et se couche exactement à l'Ouest et sa déclinaison est nulle.



# Marées

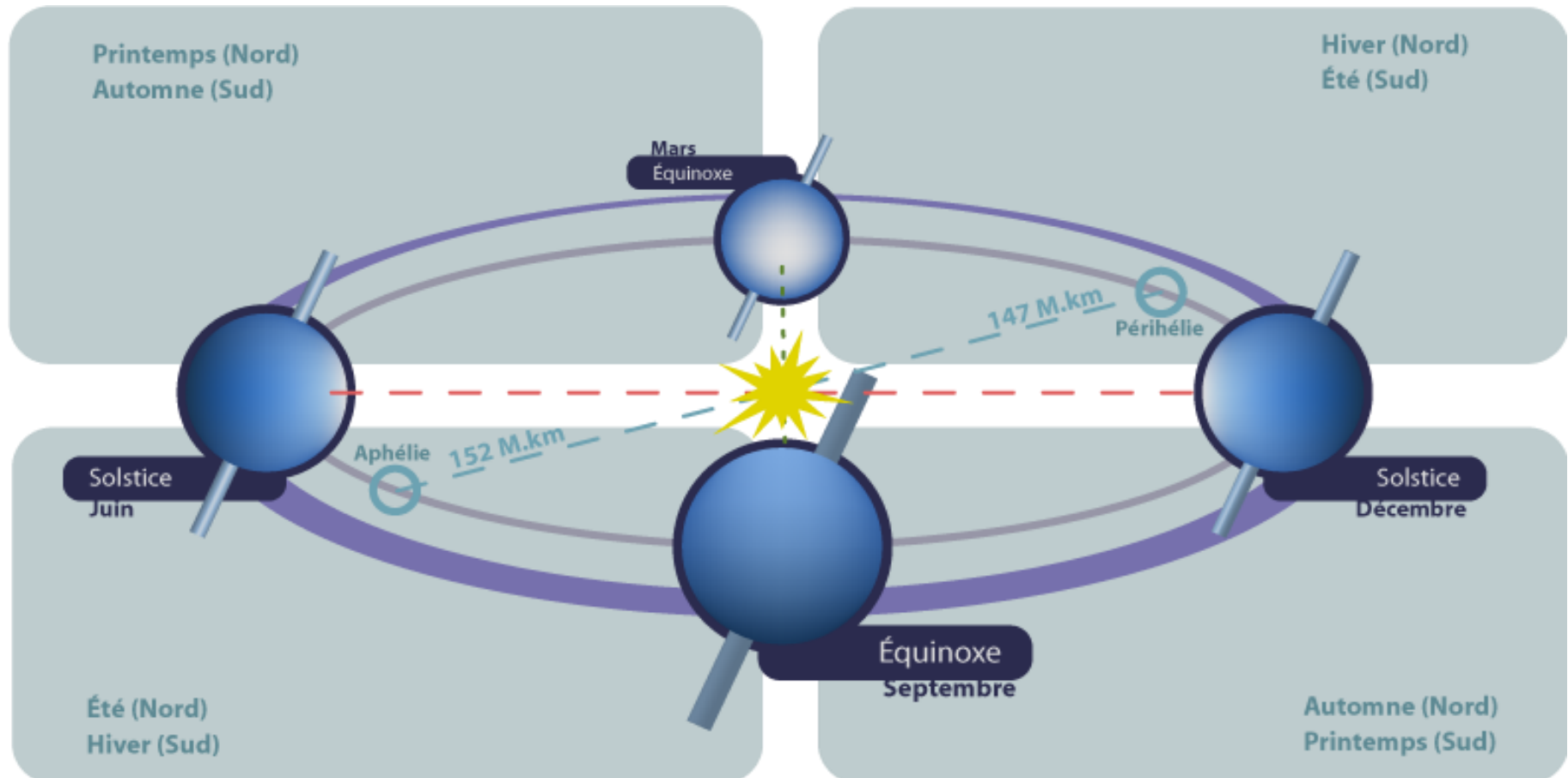


Figure 7. Les solstices et les équinoxes.

# Marées

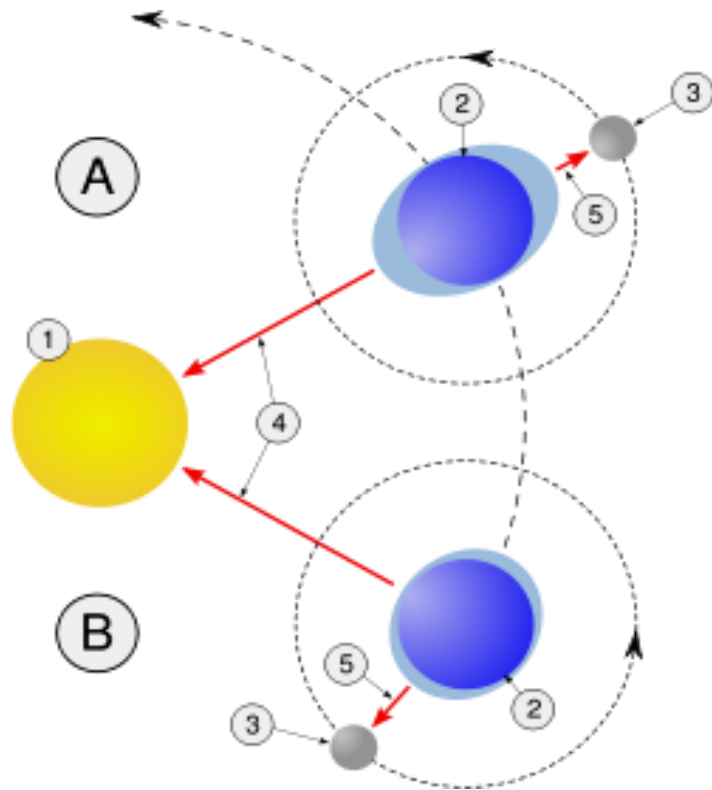


Figure 8. Mécanisme des marées

Le phénomène est dû à la déformation de la surface des océans par suite des attractions combinées des autres corps célestes. L'attraction gravitationnelle étant inversement proportionnelle au carré de la distance, l'astre (principalement la Lune) attire plus fortement les masses (liquides et solides sur Terre) proches. Si l'on fait la moyenne des actions, on peut décomposer la force en chaque point de l'axe Terre-Lune en deux forces :

- une force d'attraction moyenne,
- une force centripète (par rapport au barycentre Terre/Lune).

Il s'ensuit une déformation de la surface des mers. Une explication historique très répandue ajoute que la Lune et la Terre tournent autour du centre d'inertie de l'ensemble Terre-Lune et cette rotation provoque une autre déformation, par force centrifuge, ce qui explique qu'il y ait deux marées par jour.

## Marées

La terre se déforme de manière correspondante (sa partie liquide), prenant alors une forme de "ballon de rugby". Au point le plus proche de la lune, les roches se soulèvent moins que l'eau car elles sont attachées beaucoup plus rigidement au centre de la terre. Lorsque les deux effets (forces d'attraction lunaire et solaire) se superposent, les marées sont ainsi les plus fortes, donc à leur maximum.

Pour la Terre, seule la Lune et le Soleil ont des impacts significatifs, qui s'additionnent ou se contrarient selon les positions respectives de la Terre, de la Lune et du Soleil. En fait, la Lune est beaucoup plus proche de la Terre que le Soleil, mais a aussi une masse beaucoup plus petite, de telle sorte que leurs attractions sont d'ordres de grandeur comparables : celle du Soleil est environ la moitié de celle de la Lune. Les autres corps célestes sont trop éloignés pour que leur influence soit sensible.

Le phénomène de marées est dû à la combinaison de l'attraction exercée par la lune et celle (plus faible) exercée par le Soleil sur la masse des océans. Cette attraction combinée est cependant perturbée ou même parfois contrariée par d'autres phénomènes physiques comme l'inertie des masses d'eau, la forme des côtes, les courants marins, la profondeur des mers (largeur du plateau continental), ou encore le sens des vents locaux.

## Marées

Les marées océaniques sont les grands mouvements des masses océaniques soumises à la gravitation lunaire et, dans une moindre mesure, celle du soleil. Les marées **atmos-phériques** s'exerçant sur le globe terrestre sont négligeables. La marée se manifeste essentiellement sur les côtes maritimes, où la mer monte ou se retire suivant un cycle lié, d'une part à la rotation de la Terre et à sa révolution autour du Soleil, d'autre part à la rotation de la Lune autour de la Terre. Ce cycle complet (marée basse et marée haute) dure environ 12 heures 25 minutes.

### Le marnage

C'est, pour un jour donné et dans un intervalle pleine mer/basse mer, la différence de hauteur d'eau entre le niveau de la pleine mer et celui de la basse mer. Le marnage varie continuellement. La zone alternativement couverte et découverte par la mer, limitée par ces deux niveaux lorsqu'ils sont à leur maximum, est appelée **l'estran** ou zone de marnage, ou encore « zone de balancement des marées »; on utilise aussi de plus en plus l'anglicisme **zone intertidale**. Ne pas confondre avec l'amplitude qui est la différence de hauteur à mi-marée.

## Marées

### Lieux de marées remarquables

Au Canada, dans la Baie d'Ungava le marnage peut atteindre 17[] ou 20 m et dans la Baie de Fundy jusqu'à 16 m. Ces baies sont les deux endroits où les marées les plus importantes au monde ont lieu. Selon les sources, on attribue à l'une ou à l'autre le record de marnage. Le Canal de Bristol (Grande-Bretagne) enregistre quant à lui jusqu'à 15 m de marnage. Les plus fortes marnages en France peuvent atteindre 14 m enregistré dans la baie du Mont-Saint-Michel, où il est traditionnellement dit que «la mer monte à la vitesse d'un cheval au galop». L'archipel normand de Chausey est situé dans la baie du Mont Saint-Michel et on peut y voir 365 îlots à marée basse contre environ 52 îles à marée haute. Le Saltstraumen en Norvège, remplissant un fjord de 400 millions de mètres cubes. Horizontal Falls en Australie-Occidentale, région des Kimberley (10 m de marnage environ). Pondichéry et certains ports du Viêt Nam où il n'y a qu'une seule marée par jour.

## Les types de marées

Il existe plusieurs types de marées qui dépendent de paramètres tels que la latitude par exemple. Les phénomènes en découlant sont la régularité et le nombre de marées par cycle de 24h. On distingue 4 types de marées visualisables :

### ❑ Marée semi-diurne (Bleu)

Les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers d'importances sensiblement égales par jour. C'est le type de marée prépondérant en Atlantique.

### ❑ Marée diurne (Rouge)

Les composantes semi-diurnes sont négligeables devant les composantes diurnes. Il y a une pleine mer et une basse mer par jour.

### ❑ Marée semi-diurne à inégalité diurne (Vert)

Cas intermédiaire entre les deux marées précédentes. Les composantes diurnes ne sont pas négligeables. La marée présente toujours deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs des pleines mers ou des basses mers consécutives peuvent être très différents.

### ❑ Marée mixte (Jaune)

Un autre cas intermédiaire, avec, cette fois, des composantes diurnes très importantes. Quelques fois deux pleines mers et deux basses mers (Lune à l'équateur) et parfois une pleine mer et une basse mer par jour (lorsque la déclinaison de la Lune est proche de son maximum).

# Marées

## Marée en Méditerranée

La Méditerranée est plus connue pour la faiblesse de ses marées que pour leur intensité. Pourtant, à l'encontre des idées reçues, ces marées existent et engendrent en moyenne des variations de 40 cm, mais qui sont souvent masquées par les conditions atmosphériques. En effet un vent contraire ou, surtout, une pression atmosphérique plus forte que la moyenne réduisent l'effet des marées, allant jusqu'à les rendre invisibles. On observe ainsi des régions d'amplification de la marée où le marnage (différence de hauteur entre une basse mer et une pleine mer successives) atteint des valeurs importantes, de près de 2 m dans le Golfe de Gabès (Tunisie). On observe également des régions de très faibles amplitudes correspondant à des points amphidromiques (points de marnage nul) autour desquels tourne la marée, comme en mer Adriatique et au Sud de la Sicile. L'influence de l'Atlantique se fait sentir aux abords du détroit de Gibraltar, mais s'atténue rapidement plus à l'Est du détroit.



# **Chapitre 4: Géologie des milieux marin et continental**



# Introduction:


- La terre représente l'habitat de plusieurs millions d'espèces
- Elle s'est formée il y a environ 4,5 milliards d'années et la vie y est apparue à sa surface en l'espace d'un milliard d'années.
- La Terre appelée la planète bleue est la troisième planète la plus rapprochée du Soleil d'une distance de 150 millions de kilomètres.
- Elle et d'autres planètes tournent autour du soleil et forme notre Système solaire.

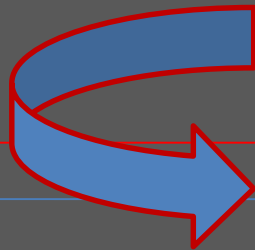
## Photomontage comparatif des tailles des planètes telluriques:





# Histoire de la terre:

- Le Big bang  Une gigantesque explosion a provoqué la dissociation de la matière de l'univers extrêmement condensée et chaude.
- L'émission d'électrons, de protons, de neutrons et de photons qui s'en est suivie a permis la formation des corps célestes.
- Dans l'univers, on dénombre **200 milliards de galaxies** dont Notre galaxie, la *Voie Lactée*, où on retrouve notre planète



« La terre=  
**PLANETE BLEUE** »



## Caractéristiques de la terre:

- la Terre a une forme ellipsoïde, une forme ronde légèrement aplatie aux pôles.
- De sa forme la pesanteur varie à la sa surface.
- Le diamètre approximatif de référence est de **12 742 km.**
- La masse de la Terre est d'approximativement  **$5,98 \times 10^{24}$  kg.**
- Des quatre planètes telluriques, la terre a la plus grande densité, la plus forte gravité et le plus puissant champ magnétique.



- Elle est principalement composée de:  
**fer** (32,1%), d'**oxygène** (30,1%), de **silicium** (15,1%),  
de **magnésium** (13,9%), de **soufre** (2,9%), de **nickel**  
(1,8%), de **calcium** (1,5%) et d'**aluminium** (1,4%), et  
1,2% de traces d'autres éléments.
- La terre est la seule planète à posséder des  
**continents** et des **océans**.
- Elle est la seule planète à posséder des **êtres vivants**



• Sa structure géologique est composée de 6 couches:

1. croûte continentale

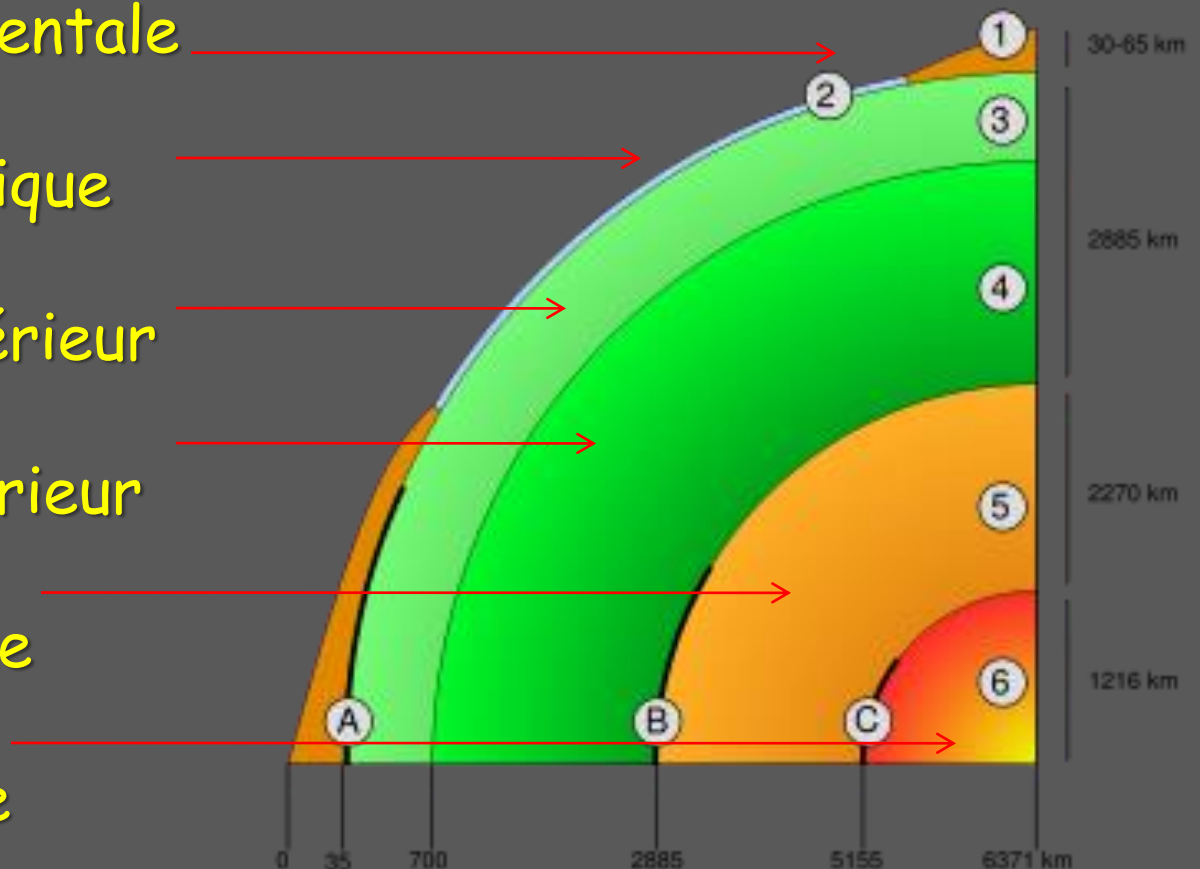
2. croûte océanique

3. manteau supérieur

4. manteau inférieur

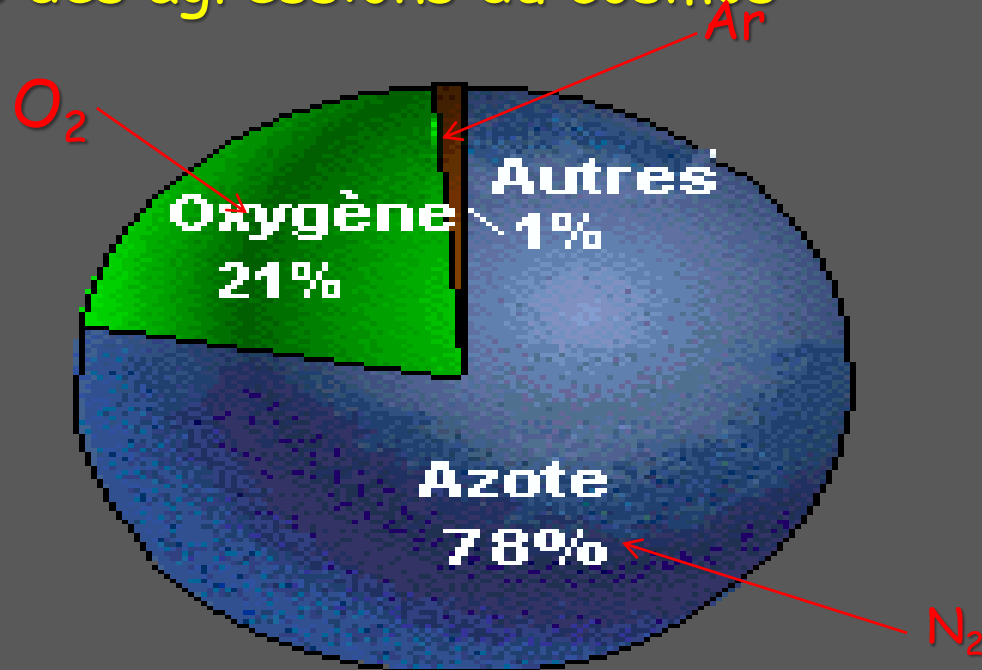
5. noyau externe

6. noyau interne





- La Terre est entourée d'une enveloppe « **atmosphère** » qui la protège des agressions du cosmos



- la vapeur d'eau ( $H_2O$  - 0,7%), des gaz à effet de serre:
- Ozone ( $O_3$  - 0,01%)
- Dioxyde de carbone ( $CO_2$  - 0,03%)



## Composition de l'atmosphère « sèche »

ppmv: *partie par million en volume*

Gaz	Volume
Diazote (N <sub>2</sub> )	780 840 ppmv (78,084 %)
Dioxygène (O <sub>2</sub> )	209 460 ppmv (20,946 %)
Argon (Ar)	9 340 ppmv (0,9340 %)
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	408,16 ppmv (0,0408 %) <sup>7</sup> (en mai 2018)
Néon (Ne)	18,18 ppmv
Hélium (He)	5,24 ppmv
Méthane (CH <sub>4</sub> )	1,745 ppmv
Krypton (Kr)	1,14 ppmv
Dihydrogène (H <sub>2</sub> )	0,55 ppmv
À rajouter à l'atmosphère sèche :	
Vapeur d'eau (H <sub>2</sub> O)	de <1 % à ~5 % (très variable)

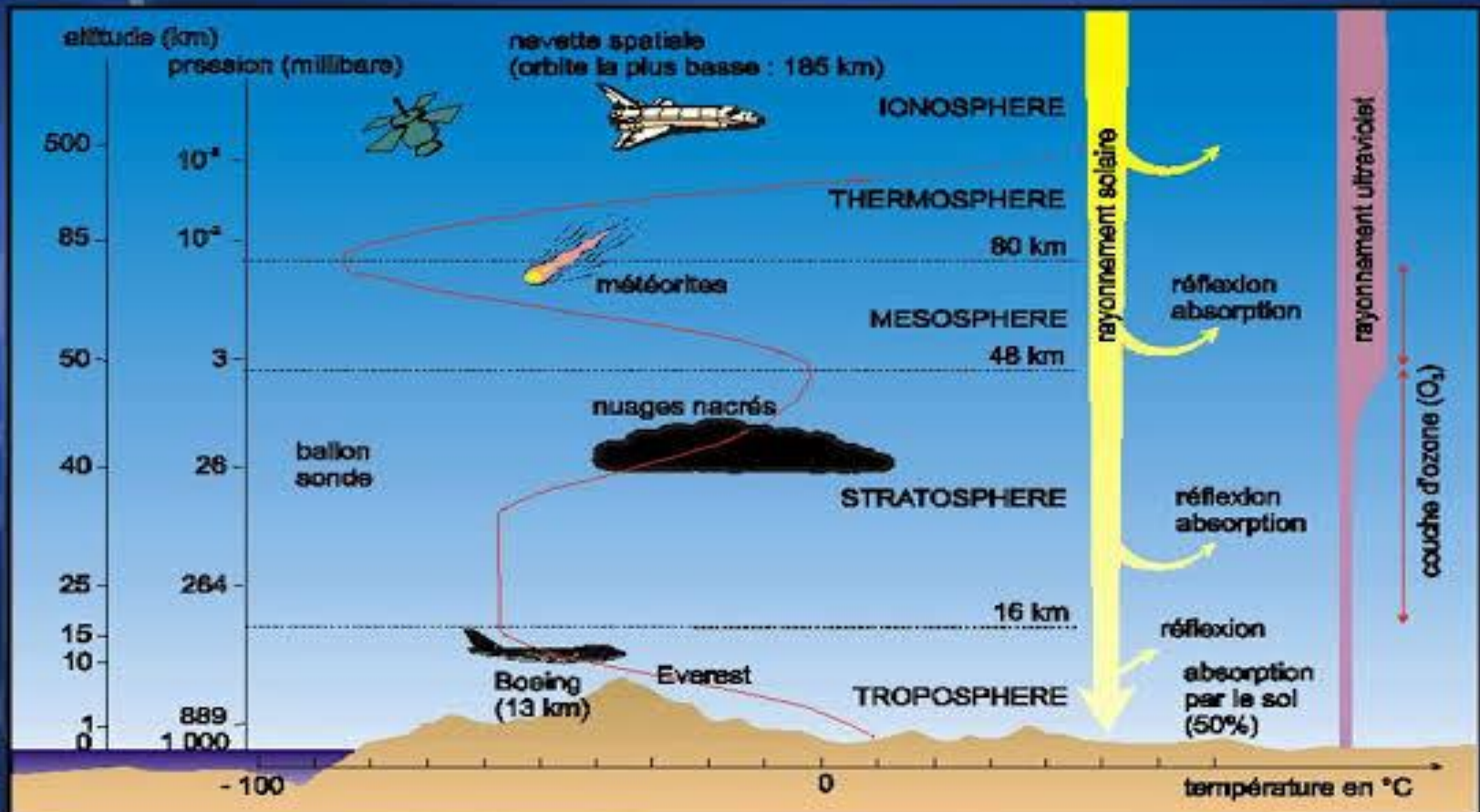
## Composants mineurs de l'atmosphère

Gaz	Volume
Monoxyde d'azote (NO)	0,5 ppmv
Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	0,3 ppmv
Xénon (Xe)	0,09 ppmv
Ozone (O <sub>3</sub> )	<= 0,07 ppmv
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	0,02 ppmv
Iode (I <sub>2</sub> )	0,01 ppmv
Monoxyde de carbone (CO)	0,2 ppmv
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	traces

# L'atmosphère est constituée de 5 couches

## L'atmosphère

- L'atmosphère est la couche de gaz qui entoure la Terre.





- La terre a connu trois ères principales, toutes précédées par l'ère azoïque :
  - Paléozoïque = vie ancienne
  - Mésozoïque = vie moyenne
  - Cénozoïque = vie récente
- Chacune de ces ères est divisée en périodes.



- **Le Paléozoïque**, est une ère géologique qui s'étend de -541 à -252,2 millions d'années. Anciennement appelée Ère Primaire (ou Ère des Poissons), elle est la première ère du Phanérozoïque. Son début correspond classiquement à l'apparition de nombreux animaux à coquilles dures,
- **Le Mésozoïque**, appelé anciennement Ère secondaire (ou Ère des Reptiles), est une ère géologique qui s'étend de -252,2 à -66,0 Ma , au cours de laquelle apparaissent des espèces de mammifères et de dinosaures.
- **Le Cénozoïque** est la troisième ère géologique du Phanérozoïque et la plus récente sur l'échelle des temps géologiques. Débutant il y a 66 millions d'années, après l'extinction du Crétacé, il est précédé par le Mésozoïque et se poursuit de nos jours. Son nom signifie « nouvelle vie »

- 
- Les périodes géologiques modifiant la carte des continents:

La période Cambrienne: il y a environ 570 millions d'années.

- Les continents formaient quatre masses isolées, séparées par des mers profondes:


L'Europe, l'Amérique du Nord, l'Asie et un bloc constitué par l'union de ce qui est maintenant l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Australie, l'Antarctique et l'Inde



La période Carbonifère: Il y a 355 millions d'années :

- Deux grands continents se sont formés: Laurasie et le Gondwana.
- Durant cette période l'Europe était unie à l'Amérique du Nord et les continents formaient une seule masse séparée des autres continents.

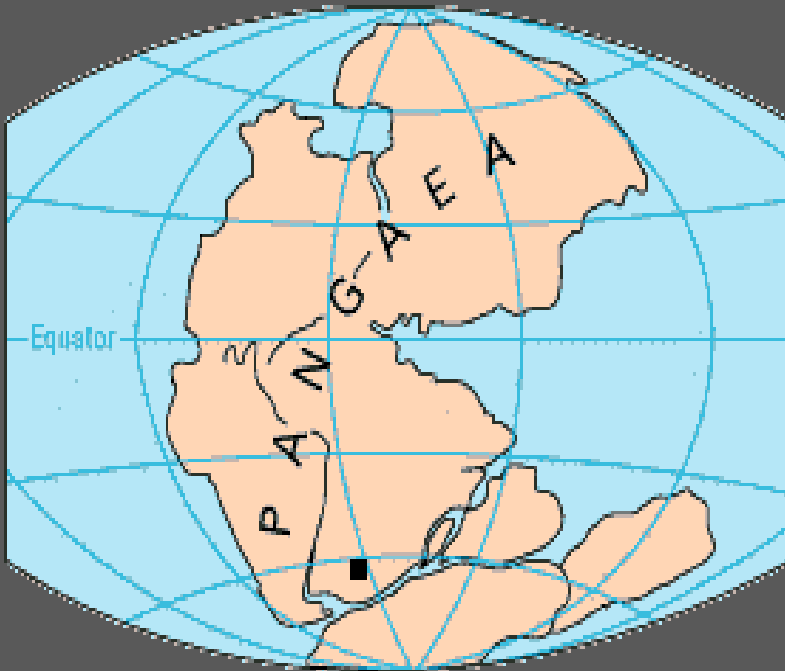


- 
- La période Permienne: Il y a 290 millions d'années
    - les continents étaient réunis en une masse unique appelée Pangée. Ce grand continent était entaillé à l'est par un golfe océanique, mer primitive  
→ Téthys
  - La période Jurassique: Il y a 205 millions d'années

La Pangée, commença à se disloquer et des couloirs maritimes se forment le long des côtes est de l'Afrique et l'océan Atlantique apparaît et l'Amérique du Nord commence à se séparer de l'Europe.



- La période Eocène: Il y a 53 millions d'années
  - l'ouverture de l'océan Atlantique et la disposition des continents qui est presque semblable à celle d'aujourd'hui.



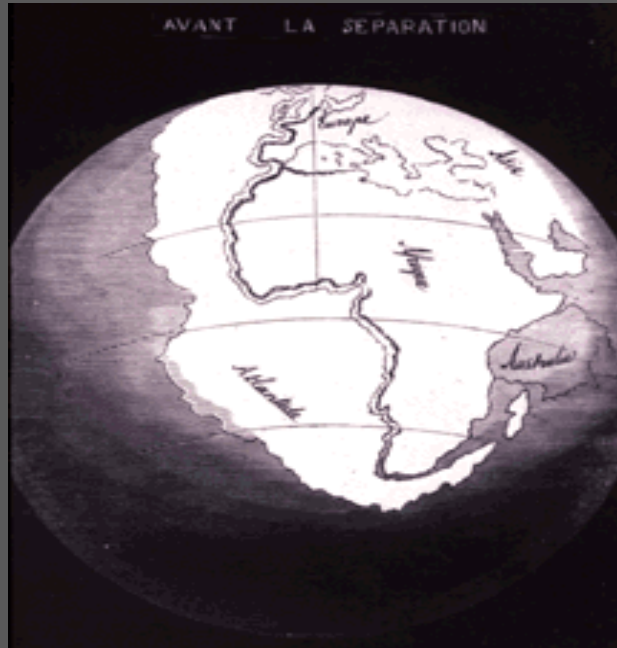
**PERMAIN**  
225 million years ago



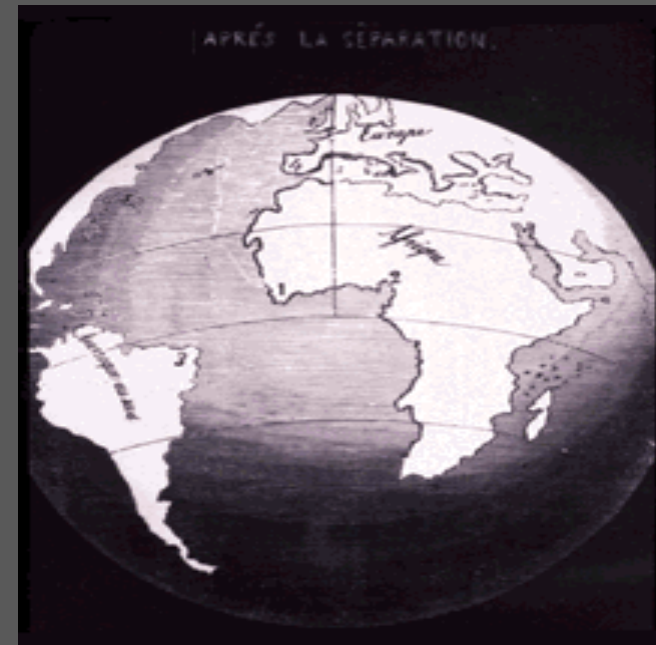
**TRIASSIC**  
200 million years ago

**Pangée, Laurasie et Gondwana**

## Selon la théorie d'Alfred Wegener 1912



**Avant la séparation**



**Après la séparation**

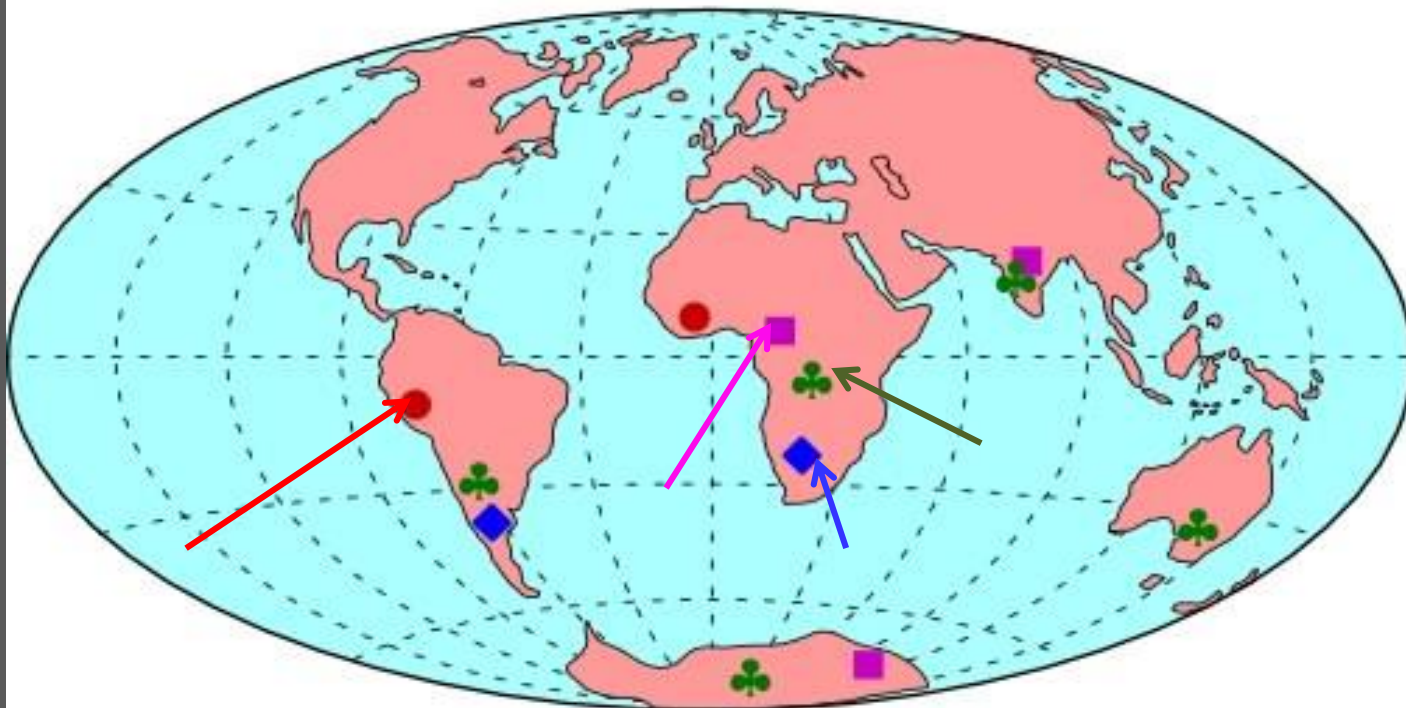


# L'origine des océans:

- la Terre est l'unique planète dans le système solaire à être recouverte d'une immense quantité d'eau
- L'essentiel de nos ressources en eau proviennent des comètes, corps constitués de glace et de neige, qui bombardaient la Terre à ses débuts.
- Quand la Terre s'est refroidit, la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère s'est condensée, tombant en pluies qui ont remplies les terres basses.

## En tenant compte de la théorie de Wegener 1912

- **Cynognathus**: reptile prédateur terrestre ayant vécu il y a 240 Ma
- ◆ **Mesosaurus**: petit reptile de lacs d'eau douce, il y a 260 Ma
- **Lystrosaurus**: reptile terrestre ayant vécu il y a 240 Ma
- ♣ **Glossopteris**: plante terrestre d'il y a 240 Ma



### La répartition de certains fossiles 240 à 260 MA

# **Chapitre 5: Aménagements des systèmes aquatiques**



## *Définition d'un Aménagement :*

L'aménagement Action d'aménager quelque chose ;  
arrangement, disposition particulière visant à une  
meilleure adéquation de quelque chose à sa  
destination.

## *Les causes de la dégradations d'un écosystèmes aquatiques :*

- *Auto-épuration et pollution*
- *L'eutrophisation des milieux*
- *Le réchauffement des eaux*
- *L'appauvrissement de la biodiversité*
- *La détérioration des zones humides*

# Pourquoi préserver les milieux aquatiques ? :

## → Biodiversité Importante:

- Espèces patrimoniales : poissons (apron, saumon, barbeau méridional, ...) ; odonates ; oiseaux (bihoreau, blongios, ...) ; mammifères (castor, loutre, ...) ; flore (potamogeton coloratus, nigella gallica, typha laxmannii, ...)
- Habitats patrimoniaux : forêts alluviales, prairies alluviales / sèches, milieux aquatiques oligotrophes, ...

GRANDE DIVERSITE d'espèces / habitats, liée au fonctionnement hydrologique des cours d'eau.

## → Fonctions Importantes :

- Fonctions biologiques et écologiques :

Régime de crues → DYNAMIQUE / hétérogénéité – rôle dans le fonctionnement des zones humides

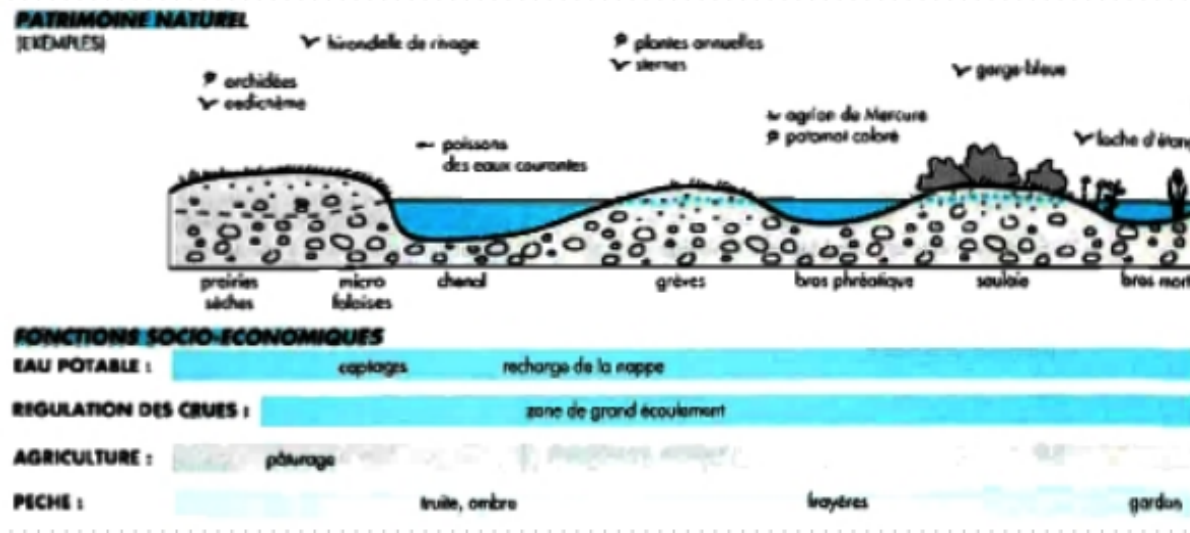
Abri, refuge, habitat, alimentation

Épuration, régulation climat, ..

Corridors écologiques → cf. trames verte et bleue

- Mais aussi fonctions socio-économiques ! :

Alimentation en eau potable, recharge des nappes phréatiques, régulation et écrêtement des crues, ... + pêche, loisirs, irrigation, navigation, ...





# *Exemple de Oued el harrach*

L'Oued El Harrach est un fleuve algérien qui prend naissance dans l'Atlas blidéen près de Hammam Melouane. Il est long de 67 kilomètres et se jette dans la Méditerranée, en plein milieu de la baie d'Alger.

Autrefois prisé des pêcheurs, il est devenu aujourd'hui extrêmement pollué, il dépasse de 30 fois les normes acceptées et 400 fois les normes de l'OMS. En effet, il traverse sur ses 9 derniers kilomètres, jusqu'à son embouchure, un important tissu urbain et industriel (ZI de Baba Ali, ZI Gué de Constantine et ZI El Harrach) qui déversent leur rejets chimiques et leurs eaux usées. La pollution du fleuve menace désormais la baie d'Alger, puisqu'en 2005 une étude menée par le japonais Mitsuo Yoshida a découvert du plomb, du chlore, du zinc et du chrome en forte quantité rejetés dans la mer.



## Quelques outils écologiques actuels de l'aménagement dans les milieux marins :

### ➤ Les récifs artificiels.



### ➤ Les écloseries et la maîtrise du recrutement.