

UNIVERSITE IBN ZOHR
Faculté des sciences appliquées –Ait Melloul



Module M34 : Écotoxicologie et Ecosystèmes Aquatiques

Partie II: Ecosystèmes aquatiques

Chapitre 1: Structure et organisation des
systèmes aquatiques continentaux

Pr. Chafia HAJJI

I- Introduction

L'écologie est une science qui étudie les êtres vivants dans leur milieu en tenant compte de leurs interactions. Cet ensemble, qui contient les êtres vivants, leur milieu de vie et les relations qu'ils entretiennent, forme un écosystème.

Les populations dans diverses espèces présentes en un lieu déterminé forment une communauté biologique ou la **Biocénose**.

Le milieu physique ou chimique où celle-ci est installée est appelée le **Biotope**.

...Et leur ensemble est un **Ecosystème**


(Biocénose+Biotope = Ecosystème).

En écologie, un **écosystème** est un ensemble formé par une communauté d'êtres vivants en interrelation (**biocénose**) avec son environnement (**biotope**). Les composants de l'écosystème développent un dense réseau de dépendances, d'échanges d'énergie et de matière permettant le maintien et le développement de la vie.

Les niveaux d'organisation de l'écologie et les sous-disciplines qui s'y rattachent sont :

✓ **L'écophysiologie**, qui étudie les relations entre un processus physiologique et les facteurs environnementaux (physiologie animale dans l'eau);

✓ **L'auto-écologie**, qui étudie les relations entre un type d'organisme et l'environnement ;

✓ **La démo-écologie:** (ou l'écologie des populations), qui étudie les relations entre une population d'individus d'une même espèce et son habitat ;

✓ **La synécologie**, ou écologie des communautés, qui étudie les relations entre une communauté d'individus d'espèces différentes et l'environnement. (étudie les rapports entre populations de types différents de la biocénose, c'est-à-dire de l'ensemble des organismes de tout type d'un écosystème) = (Des populations d'espèces différentes, mais partageant une fonction commune sont regroupées sous le vocable de communautés)

✓ **L'écologie globale**, qui étudie l'écologie à l'échelle de la biosphère (totalité des milieux occupés par des êtres vivants).



Organisme (un vautour) -
autécologie.



Population (un troupeau de caribou)
- écologie des populations



Écosystème (écosystème du récif
corallien) - synécologie.



Biosphère - écologie globale

✓ Au sein de l'écosystème, les espèces ont entre elles des liens de dépendance, dont alimentaire. Elles échangent, entre elles et avec le milieu qu'elles modifient, de l'énergie et de la matière.

✓ La notion d'écosystème est théorique : elle est *multiscale* (multi-échelle), c'est-à-dire qu'elle peut s'appliquer à des portions de dimensions variables de la biosphère, par exemple un étang, une prairie, ou un arbre mort.

✓ Une unité de taille inférieure est appelée un microécosystème.

- **Un microécosystème** Il peut, par exemple, s'agir des espèces qui ont colonisé une pierre immergée.
- **Un mésoécosystème** pourrait être une forêt,
- **Un macro-écosystème**, une région et son bassin versant.

Espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui.

Les écosystèmes sont souvent classés par référence aux biotopes concernés. On parlera:

- **d'écosystèmes continentaux** (ou terrestres), tels que les écosystèmes forestiers (forêts), les écosystèmes prairiaux (prairies, steppes, savanes), les agro-écosystèmes (systèmes agricoles) ;
- **d'écosystèmes des eaux continentales**, pour les écosystèmes lacustre ou palustre (lacs, étangs) ou écosystèmes lotiques (rivières, fleuves) ;
- **d'écosystèmes océaniques** (les mers, les océans).

Limnologie

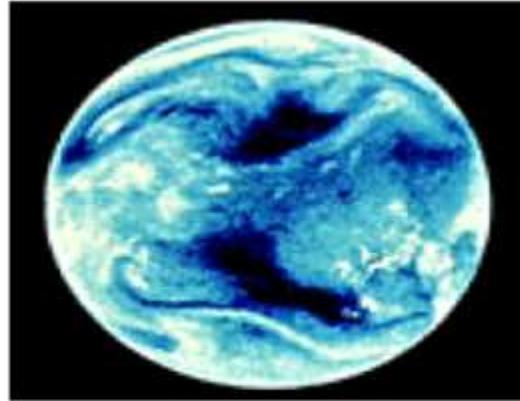
La **limnologie** est la « science des eaux douces continentales ou internes » dans leur aspect physique, chimique et biologique, ce qui la différencie de l'océanographie. On distingue donc les écosystèmes **lenticques** (à renouvellement lent), les écosystèmes **lotiques** (à écoulement rapide) et les zones humides (dont les sols sont saturés d'eau) .

L'eau douce représente 2.5% de la quantité d'eau existant sur la terre, 97.5% étant de l'eau salée.

Le tableau suivant en représente les pourcentages:

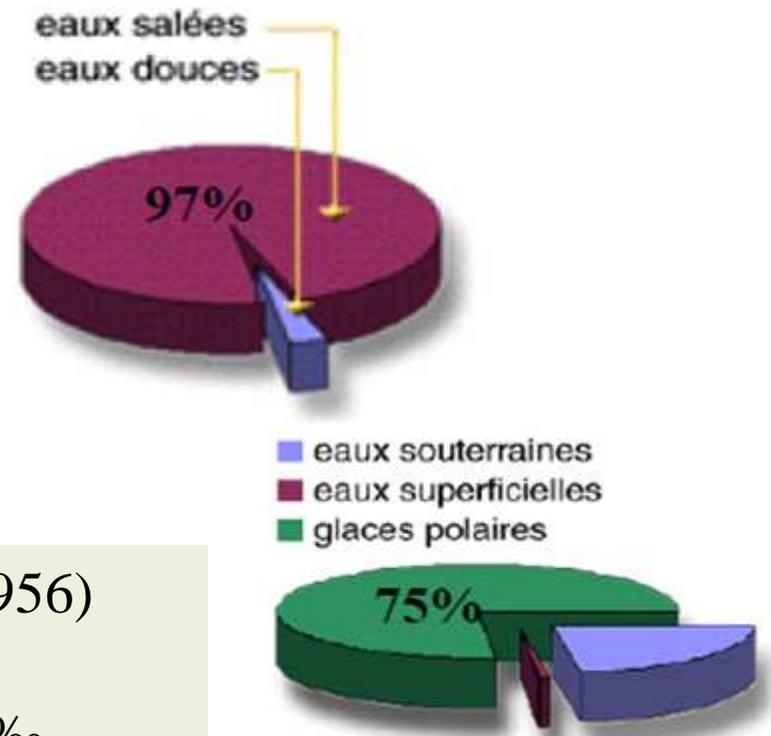
| Répartition de l'eau douce et salée sur la planète | En Km ³ | En % |
|--|--------------------|------|
| Eau douce | 35 000 000 | 2.5 |
| - Dont glacier et couverture neigeuse permanente | 24 000 000 | 68.9 |
| - Eau souterraine | 8 000 000 | 30.8 |
| - Lacs et réservoirs | 105 000 | 0.3 |
| Eau salée | 1 365 000 000 | 97.5 |
| Volume total d'eau | 1 400 000 000 | 100 |

La planète bleue



$H_2O = 72\%$ superficie

Classification des eaux



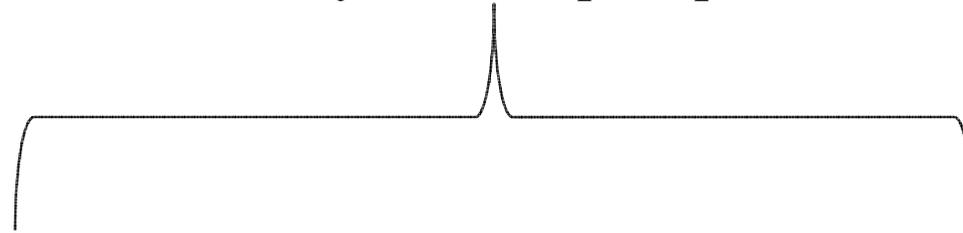
Selon la salinité de l'eau (S), Zhibotareur (1956) propose la classification suivante :

- ✓ Eau potable : $S < 0,5\text{‰}$
- ✓ Eau douce : $0,5 < S < 2,5\text{‰}$
- ✓ Eau saumâtre : $2,5 < S < 5\text{‰}$
- ✓ Eau salée : $S > 5\text{‰}$
- ✓ Eau très salée : $S > 30\text{‰}$

Au Maroc, le climat est aride à semi aride, il en résulte une salinité relativement élevée, de plus, les hydro-écosystèmes représentent un exutoire pour les déchets. De là vient la nécessité de protéger et préserver les ressources hydriques dans le pays.



Pour une bonne gestion des ressources en eau, il est primordial d'étudier avec beaucoup d'intérêt les structures et les fonctionnements des écosystèmes aquatiques.



Structure de l'écosystème

=

Définir les compartiments physiques, chimiques et biologiques, ainsi que leur évolution dans l'espace et dans le temps.

Fonctionnement

=

Déterminer les interactions (interrelation) entre ces composantes physiques, chimiques et biologiques.

Notion d'équilibre écologique :

Naturellement, les composantes de l'écosystème aquatique sont en équilibre. Sous l'action de facteurs anthropiques, cet équilibre peut évoluer en équilibre dynamique.

La qualité de l'eau dépendra alors de l'état de l'équilibre écologique. Les multiusages de l'eau sont d'autant plus possible que cet équilibre biologique, et donc la qualité de l'eau est respecté.

Exemple : eutrophisation d'une rivière recevant un rejet anthropique.



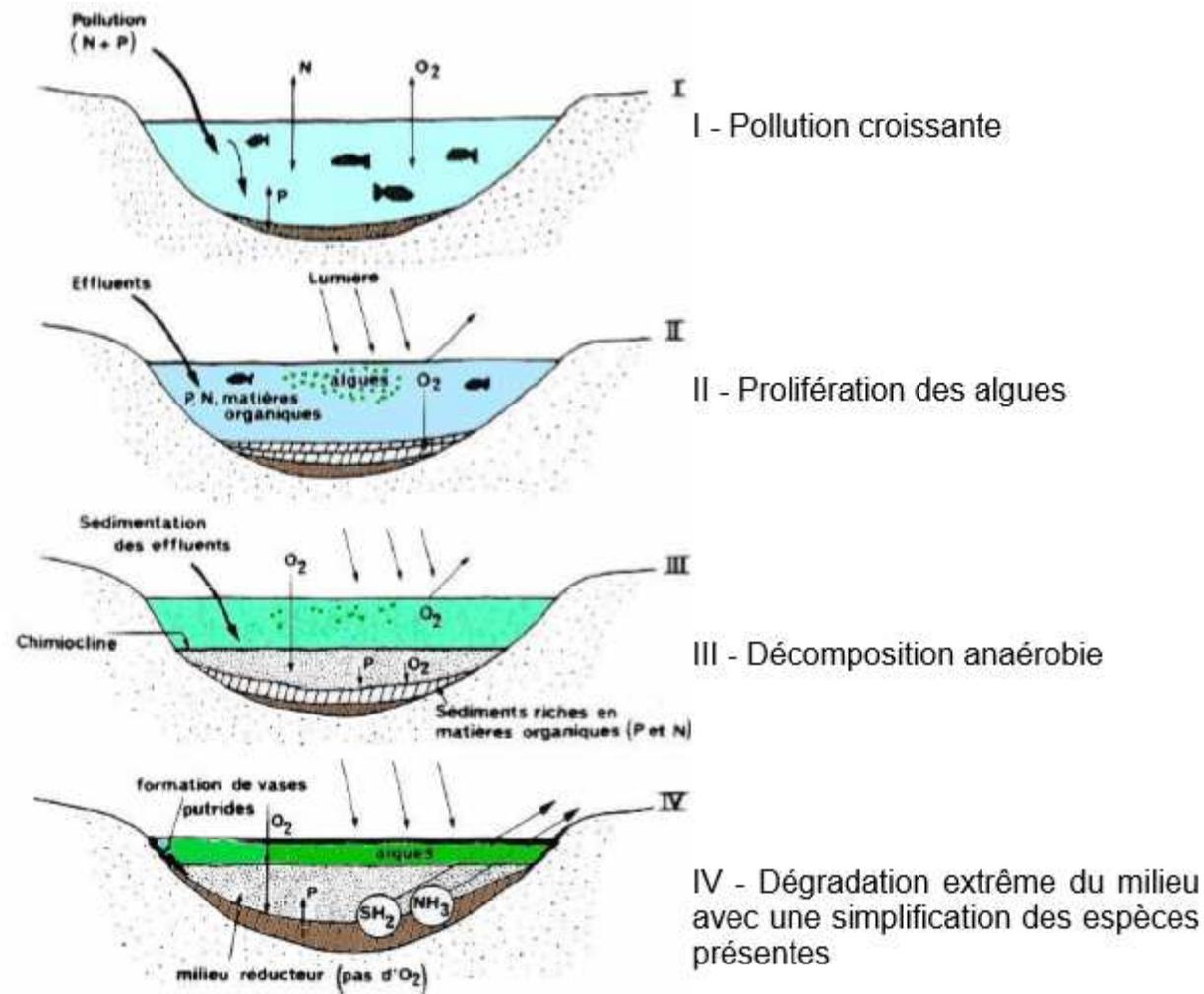
Ce cours d'eau circulant lentement est pollué aux nitrates, qui provoquent une efflorescence algale en surface



Une rivière eutrophisée

➤ *L'utilisation d'engrais est 15 fois plus importante qu'en 1945.*

Principales phases de l'eutrophisation des eaux



- La prolifération des algues conduit à la disparition de la faune (poisson, insectes) à cause d'une chute de la quantité d'oxygène présente dans l'eau.

II- Ecosystèmes d'eau courante - Ecologie des systèmes lotiques

1- Définition:
Court d'eau (CD) ;

Un CD est un écoulement canalisé sous l'effet d'une pente.

2- Les types de courts d'eau:

- ✓ CD pérenne ou permanent. Ex. Le Moulouya.
- ✓ CD Ephémère ou épisodique
- ✓ CD temporaire, sec en saison chaude

On distingue aussi les courts d'eau exoréiques aboutissant à la mer, et endoréiques qui aboutissent à un bassin tectonique.



3- Ecologie des systèmes lotiques :

L'écologie de système lotique est l'étude des interactions biotiques et abiotiques dans les flux d'eaux courantes continentales.

Contrairement à l'écologie des systèmes lentiques qui implique des eaux continentales moins dynamiques (lac & étangs...).

Ces deux volés représentent l'écologie d'eau douce.

Bien que les milieux **lotiques** prennent des formes différentes allant du **ruisseau au grand fleuve**, ils ont une étude commune du fait qu'ils représentent une **écologie unique** par rapport aux autres habitats aquatiques.

Les milieux lotiques prennent des formes très diverses, allant du ruisseau peu large au grand fleuve de plusieurs kilomètres de large. On observe donc quelques caractéristiques communes rendant l'écologie des eaux coulantes unique par rapport aux autres habitats aquatiques .

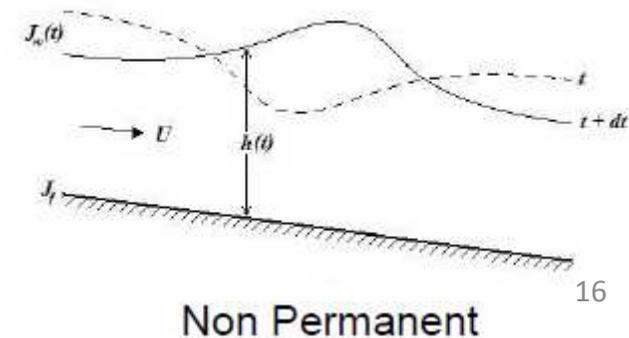
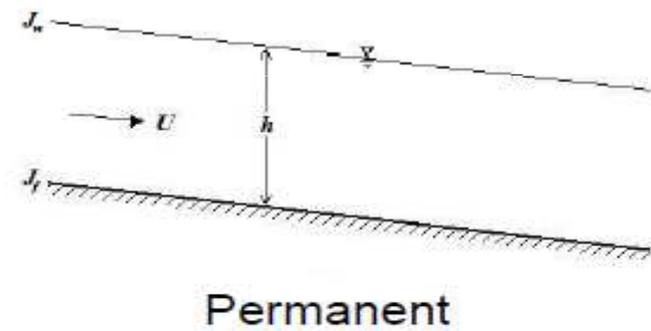
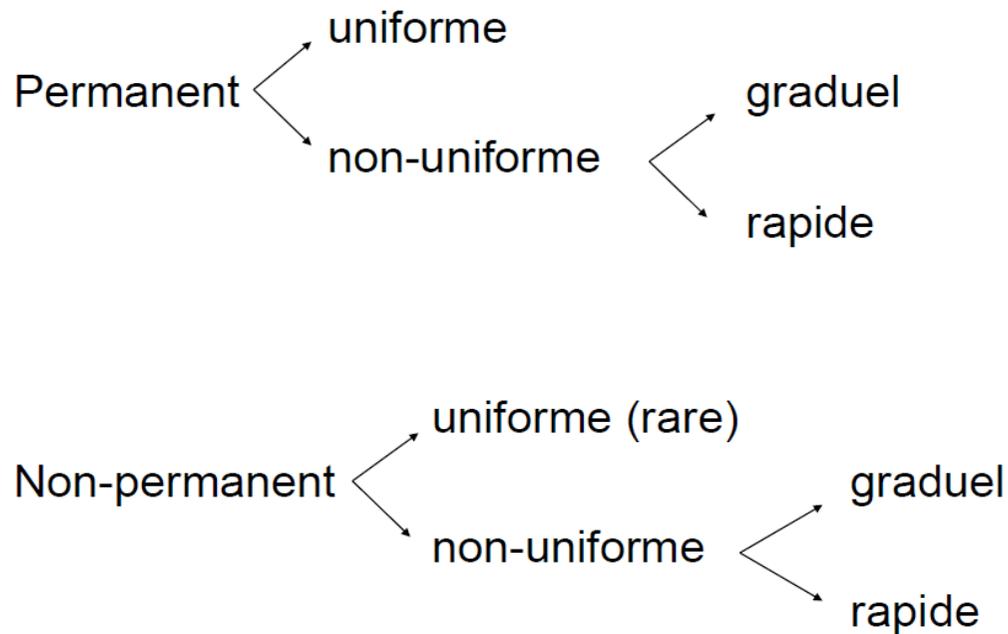
Ces caractéristiques se résument ainsi :

- ✓ Durée de vie longue, à l'échelle géologique parfois.
- ✓ Écoulement sous l'effet de pente
- ✓ Vitesse d'écoulement hétérogène
- ✓ Faible profondeur, ce qui leur confère une zonation longitudinale
- ✓ Ecosystèmes ouverts, ayant des apports externes de matière organique et minérale
- ✓ Un courant assurant le brassage et l'échange de matière
- ✓ La forêt et la nappe peuvent réguler le débit d'eau, la première étant un consommateur important et la deuxième en assurant un apport.

Les courts d'eau au Maroc :

- ✓ Permanents ou non permanents, ils sont caractérisés par une irrégularité du régime hydraulique (étiage d'été sévère).
- ✓ **Débit varie selon la pluviométrie** (succession d'années humides et d'années sèches): l'exemple typique d'un écoulement non permanent est la variation du débit dans une rivière en temps de pluie.

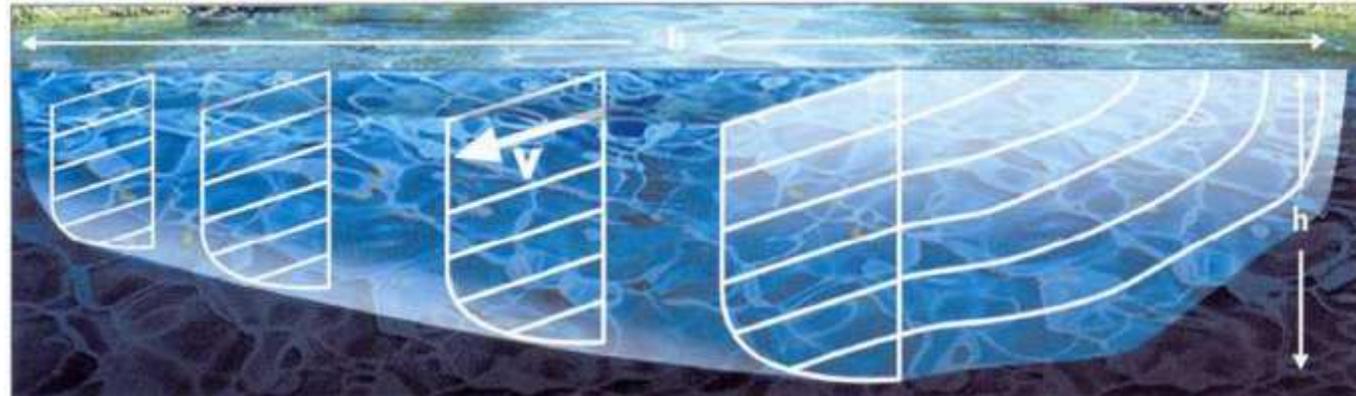
Types d'écoulements



Dimensionnement d'un écoulement

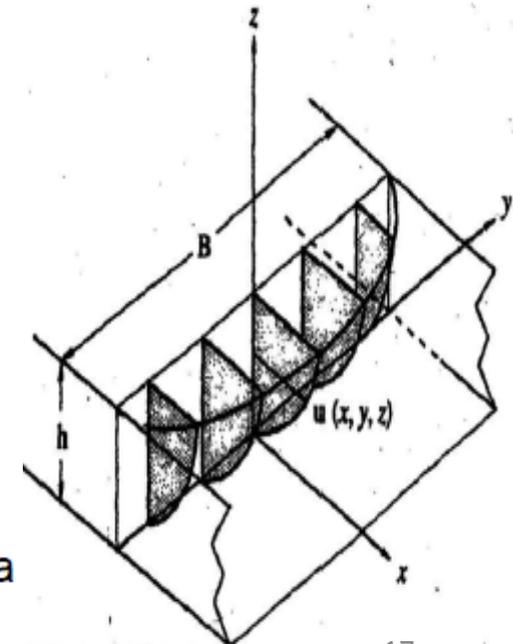
La dimensionnalité est le nombre de coordonnées spatiales indépendantes nécessaires pour décrire les variables de l'écoulement :

- X: (uni-dim)
- X et Y (bi-dim)
- X , Y et Z (tri-dim)



Les écoulements à surface libre sont tridimensionnels

- La vitesse longitudinale est nulle aux berges et elle est maximale au centre, donc elle varie avec y .
- La vitesse longitudinale est nulle au fond du cours d'eau et elle est maximale légèrement en dessous de la surface libre, donc elle varie avec z .
- L'écoulement est généralement non uniforme, donc la vitesse longitudinale varie le long de l'écoulement au gré de la pente, et de la rugosité, donc elle varie avec x .



Les courts d'eau au Maroc :

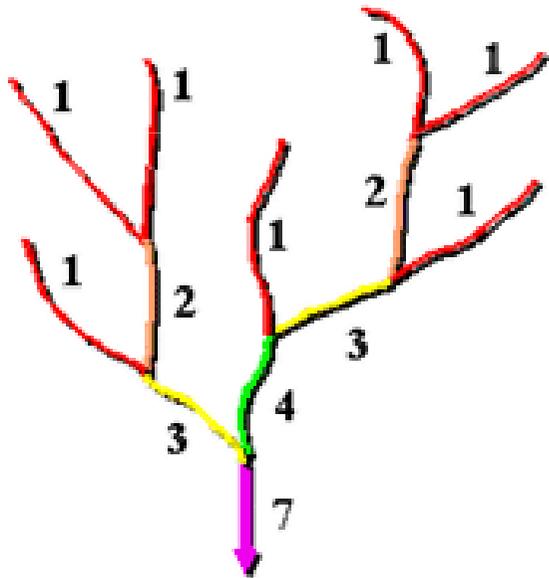
Les plus grands courts d'eau sont :

- ✓ Le **Sbou** avec 500km de long et des affluents du moyen atlas du rif et du plateau central.
- ✓ Le **Oum-er-rabia** qui est le plus long (600km) et ayant des affluents au moyen et haut atlas.
- ✓ Le **Moulouya**, le seul grand fleuve se jetant en mer méditerranée et ayant 500km de long.
- ✓ On cite également d'autres courts d'eau moins importants, à savoir, **Oued Bou Regrag** se trouvant entre Rabat et Salé et prenant source au plateau central à une altitude de 1500m, Le **Tensift** qui est un cours d'eau de plaine et recevant des affluents du haut atlas à une altitude de 2000m, Le **Daraa** sur le versant sud du haut atlas et le versant présaharien, puis quelques oueds entre Sebta et Nador tel que **Oued Martil**.

Morphologie du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est un ensemble d'affluents qui se jettent les uns dans les autres pour former un cours d'eau principal. Chaque court d'eau obéit à une hiérarchie.

Hiérarchie du réseau: Un court d'eau n'augmente pas dans la hiérarchie lorsqu'il reçoit un affluent d'ordre inférieur.



l'évolution de la hiérarchie
dans un court d'eau.

La **classification d'un réseau hydrographique** est une manière de hiérarchiser l'ensemble des branches de ce réseau en attribuant à chacune une valeur entière qui caractérise son importance. Plusieurs classifications différentes ont été élaborées, celle de Strahler notamment est très couramment utilisée.

Dans la classification de Strahler, tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1. Puis, le calcul de la valeur de chaque drain se fait selon la méthode suivante : un drain d'ordre $n+1$ est issu de la confluence de deux drains d'ordre n .

La classification d'un réseau hydrographique, c'est-à-dire la connaissance des ordres de Strahler des drains, permet d'avoir des indices sur plusieurs de ses caractéristiques :

- sa vieillesse : plus un réseau est vieux, plus il est ramifié, et donc plus son ordre de Strahler est grand.
- la densité du réseau, donc son ordre, est influencé par l'abondance des pluies, la pente du terrain.
- la perméabilité des roches sur laquelle il repose : une roche très perméable voit l'eau s'infiltrer, et donc moins ruisseler à sa surface ; le réseau est moins ramifié et son ordre de Strahler est donc plus petit que s'il se trouvait sur une roche imperméable.



La densité du réseau dépend du substrat, on trouve des réseaux dendritiques denses dans les roches imperméables tandis qu'il est moins dense dans les roches plus ou moins perméable tel le cas des systèmes karstique dans les roches calcaires.

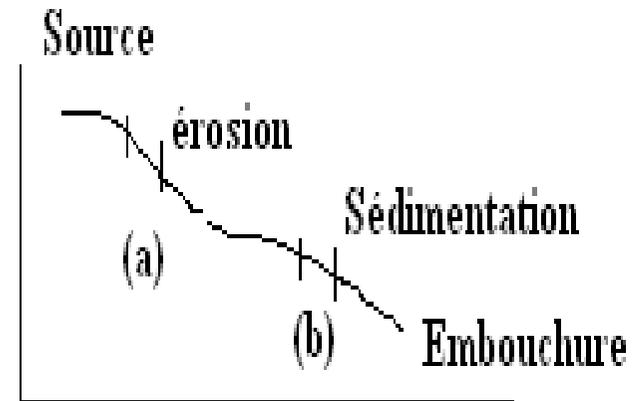
Les profils d'un cours d'eau :

Profil en longueur :

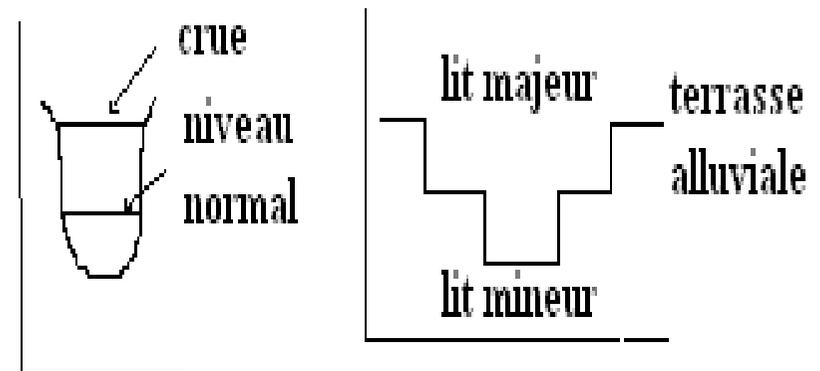
Il correspond à l'évolution de la pente depuis la source jusqu'à l'embouchure. Alors suivant les cours d'eau, on peut avoir différents types de profil, et dans tous les cas, il se produit des régulations qui aboutissent à un phénomène d'équilibre, correspondant à un niveau où le cours d'eau cesse de creuser.

Profil transversal :

Le profil en travers nous renseigne sur la forme de la vallée dans laquelle coule le cours d'eau.



Profil en longueur



(a) Profil transversal (b)

Aspect d'écoulement :

a- Mesure de débit :

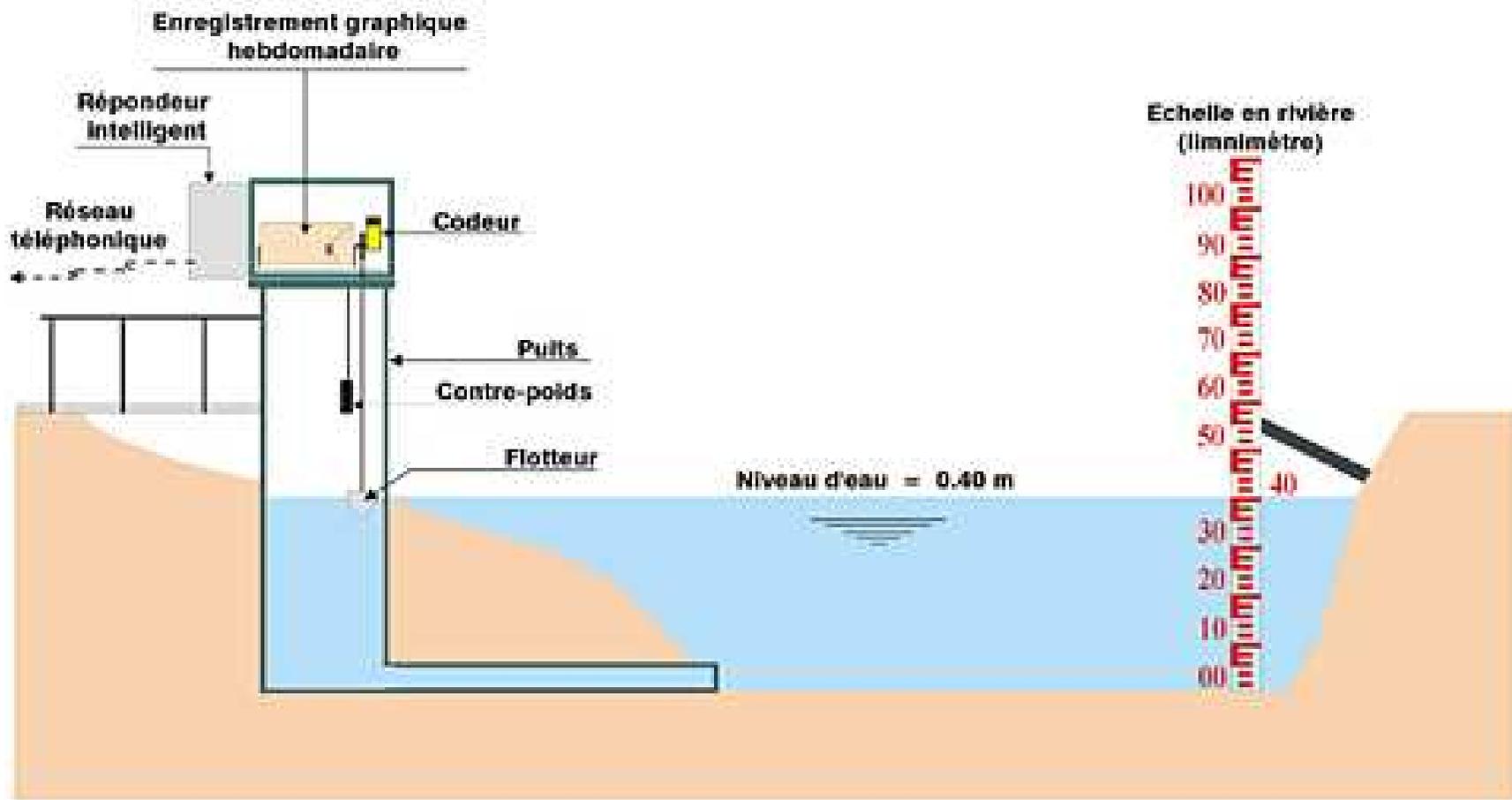
-Débit: Quantité d'eau passant par une section donnée par un temps donné :

$$Q \text{ (en m}^3\text{/s)} = S \text{ (en m}^2\text{)} \times V \text{ (m/s)}.$$

- Station hydrométrique ou limnimétrique pour la mesure de débit : Ces stations sont équipées par les services responsables de l'hydraulique. Les données sont généralement groupées dans des annuaires hydrologiques.

L'étude du débit d'hydrologie fluviale est basée sur les variations de la hauteur de la surface d'eau. Cette hauteur est mesurée soit par des échelles limnimétriques graduées que l'on place dans des stations hydrologiquement stable (sans érosion ni sédimentation) soit, automatiquement grâce à un limnigraphe à flotteur et dont les déplacements sont enregistrées sur un cylindre, fournissant des données sur toute la journée en continu.

limnigraphes : appareils de mesure de niveaux d'eau munis d'un enregistrement graphique (utile en cas de défaillance prolongée d'alimentation) ; on parle de limnigraphe avec mesure de débit, lorsque des jaugeages sont réalisés et qu'une relation hauteur-débit (courbe de tarage) est associée au limnigraphe.



Principe de fonctionnement d'un limnigraphe

Rappel:

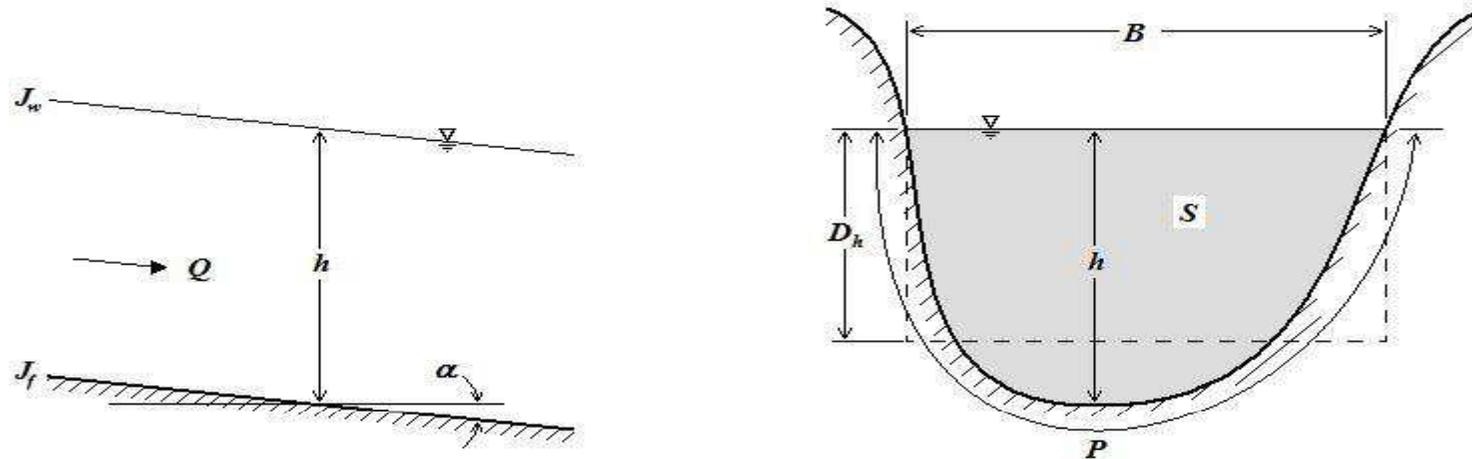
L'**hydrométrie** est la branche de l'hydrologie qui concerne la mesure du débit des eaux continentales, superficielles ou souterraines. En général, l'hydrométrie concerne la mesure du débit des cours d'eau, qui s'indique avec la lettre Q.

La plupart des stations hydrométriques automatiques mesurent uniquement la hauteur d'eau. **Le débit** est ensuite recalculé à partir d'une relation liant le débit à la hauteur d'eau : **la *courbe de tarage***.

Mais cette relation est propre à chaque site de mesure, et peut varier dans le temps, en particulier à la suite d'une crue si celle-ci a creusé ou déposé des sédiments dans le lit du cours d'eau. Il est donc nécessaire de mesurer régulièrement le débit pour définir la relation hauteur-débit et suivre son évolution. Une mesure ponctuelle de débit est appelé ***jaugeage***.

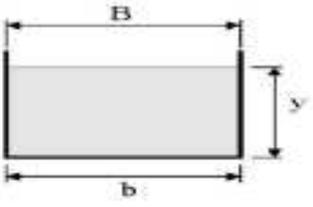
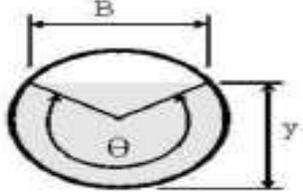
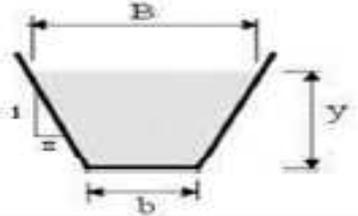
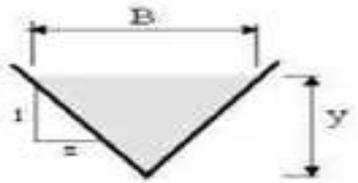
Rappel:

Géométrie des canaux



Les paramètres suivants sont à retenir :

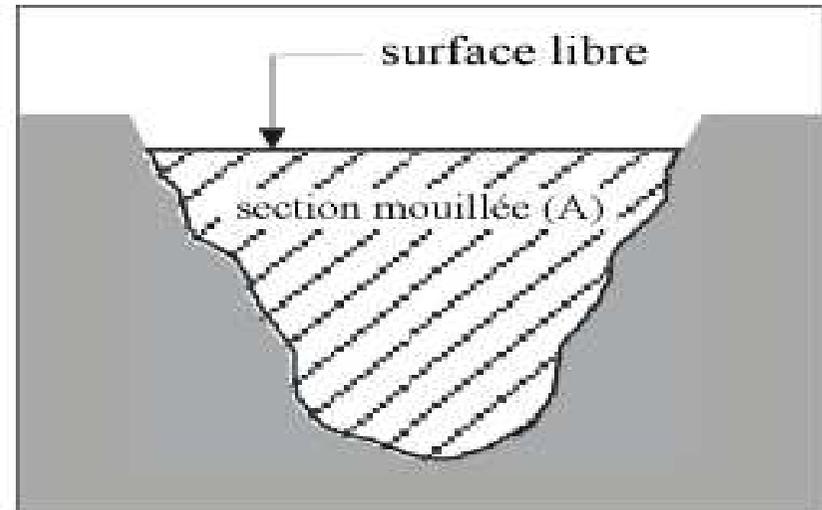
- Largeur du canal à sa surface libre B
- La section d'écoulement ou section mouillée A
- Le périmètre mouillé P
- Le rayon hydraulique $R=A/P$
- La profondeur hydraulique $D = A/B$
- Profondeur d'eau h : profondeur maximale (sauf précision).

| Forme de la section | Section mouillée A | Périmètre mouillé P | Rayon Hydraulique R_H | Largeur B |
|---|--------------------------------------|----------------------|--|---------------------------|
| rectangulaire  | by | $b + 2y$ | $\frac{by}{b+2y}$ | b |
| circulaire  | $\frac{D^2}{8}(\theta - \sin\theta)$ | $\frac{\theta D}{2}$ | $\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta} \right)$ | $D \sin \frac{\theta}{2}$ |
| trapézoïdale  | $(b + zy)y$ | $b + 2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1+z^2}}$ | $b + 2zy$ |
| triangulaire  | zy^2 | $2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $2zy$ |

Propriétés géométriques des sections courantes

1. **La section mouillée** : On sonde avec une échelle selon un profil en travers et à des distances rapprochées. On répartit le profil fond sur un papier millimètre.

2. **Calcul de vitesse** : La vitesse de l'eau est hétérogène au niveau de la section mouillée. Pour mesurer cette vitesse, on utilise des **couranomètres**. On réalise des mesures de vitesse sur des profils rapprochés verticaux (tous les 20 cm), puis on rapporte les mesures sur la section mouillée et on rejoint les points à vitesses égales, on réalise ainsi ce qu'on appelle des isodromes.



Section mouillée d'un canal



3. **Calcul de débit** : chaque débit partiel est un isotache, la somme des isotaches donne le débit total.

Selon BERG :

- $V < 10\text{cm/s}$: Vitesse très lente
- $10 < V < 25\text{cm/s}$: Vitesse lente
- $25 < V < 50\text{cm/s}$: Vitesse moyenne
- $50 < V < 100\text{cm/s}$: Vitesse rapide
- $V > 100\text{cm/s}$: Vitesse très rapide

Le débit brut est le débit moyen annuel exprimé en m^3/s . Le débit brut moyen de la rivière de l'Amazonie est de $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Une rivière de la méditerranée a un débit brut approximatif de 5 à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le débit augmente en fonction du profil longitudinal (Amont-aval) et avec l'addition des affluents. Il est également influencé par le climat, la nature géologique (perméable ou non) et la saison (hautes eaux et basses eaux).

Pour comparer les débits de fleuves différents il faut considérer la surface du bassin versant. C'est ce qu'on appelle un Débit Spécifique = DS.

- DS très fort => sup à 40 l/s.km^2
- DS Fort => 15 à 40 l/s.km^2
- DS moyen => 5 à 15 l/s.km^2
- DS Faible => inf à 5 l/s.km^2

Aspect d'écoulement :

b- Les différents régimes de courts d'eau :

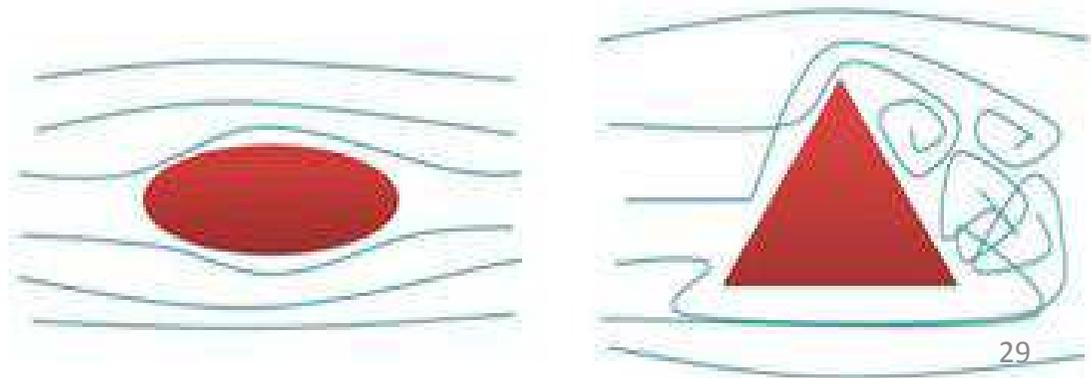
- Régime glacière : Hautes eaux en été lors de la fonte des glaces, et étiage en hiver.
- Régime Nival : Hautes eaux au printemps (fonte de neige) et étiage en hiver.
- Régime Pluvial océanique : Hautes eaux périodique due aux précipitations.
- Régime pluvio-nival : Hautes eaux en automne par précipitations et au printemps par fonte de neige, étiage en hiver et en été.

Le courant :

Le courant est la caractéristique fondamentale d'un court d'eau, il dépend de la longueur du court d'eau, de sa profondeur et de la rugosité du fond.

On distingue un courant laminaire où les couches liquide glissent parallèlement les unes par rapport aux autres, et un courant turbulent où la masse d'eau se désagrège dans des sens différents.

Courant laminaire à gauche et turbulent à droite

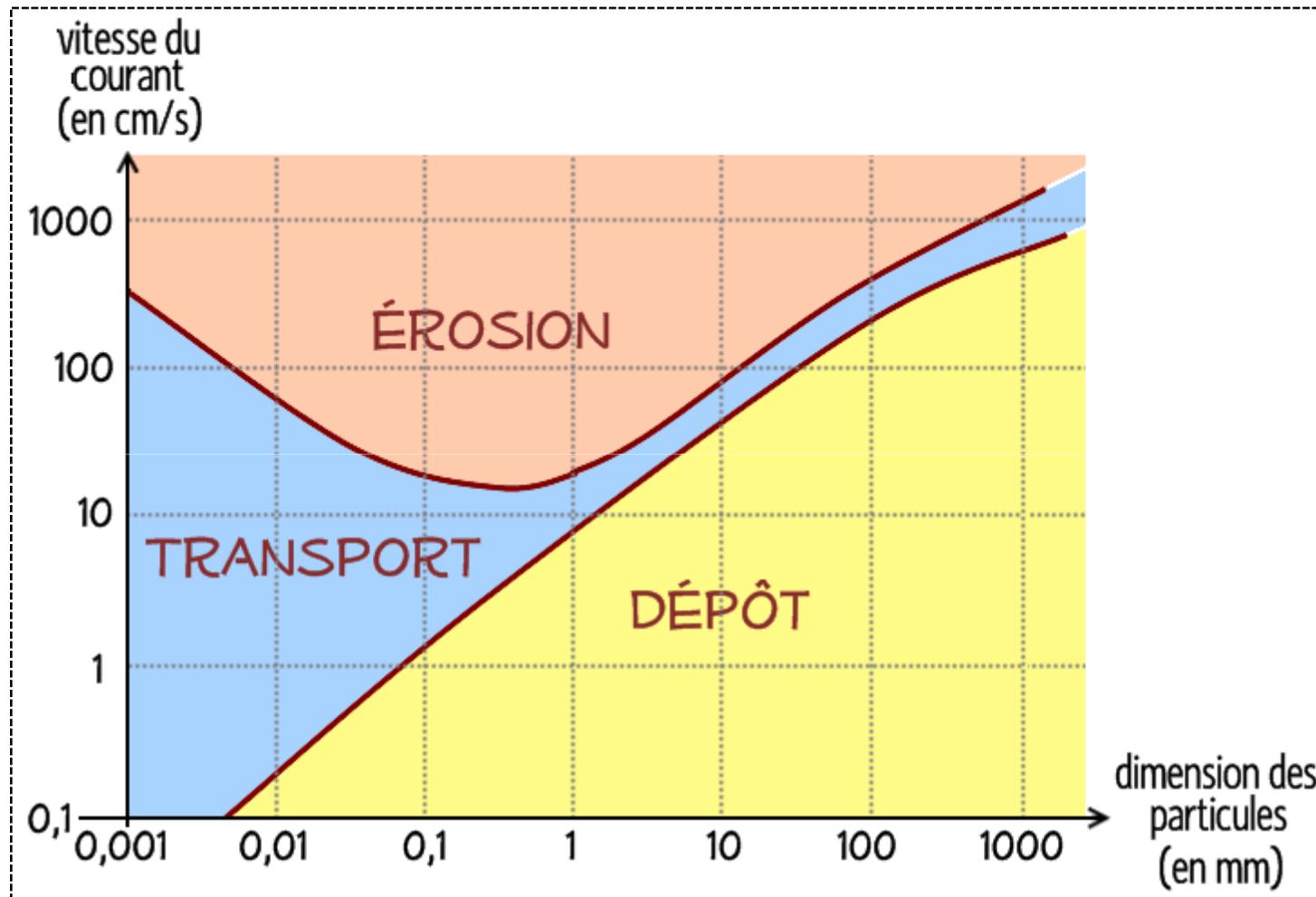


Action du courant :

-Le courant agit d'abord sur **le biotope** en influant la nature du substrat du fond, deux types : un **substrat érodés**, stable ou primaires (roche mère) caractérisant les courts d'eau de montagne, et un **substrat déposé**, ou alluviaux. Caractérisant les eaux de plaine, il est surtout composé de sable, gravier et vase. Les eaux sont assez **riches en matière organique et en micro-organismes** ce qui leur confère une ressemblance avec les eaux stagnante.

- Sur la **biocénose**, le courant a une action contre l'eutrophisation en assurant l'oxygénation des eaux, il permet également l'évacuation des déchets, l'homogénéité des paramètres physico-chimiques ainsi qu'une action de sélection selon la force du courant. On classe ainsi des espèces **rhéophiles** capables de vivre en plein courant et des espèces **lénitophiles** se développant dans les eaux stagnantes ou à courant très faible. Les espèces **torrenticoles** sont ceux pouvant résister à de forts courants.

Structure granulométrique du font : elle est grossière quand il est rapide et fine lorsqu'il est lent



Relation entre vitesse et érosion.(d'après F.J. Hjulström)

Adaptation morpho-anatomique :

Certains courants peuvent atteindre 500 à 600 cm/s, et ils sont peuplés. Ceci s'explique par le fait que les organismes vivant dans des eaux courantes sont munis de caractères spéciaux qui leur permettent de résister au courant. Ils ont ce qu'on appelle des adaptations morpho-anatomiques.

- ✓ Peuplement de torrent (CD montagne)
 - Plancton absent, Benthos abondant
 - Formes fixées et rampantes, rhéophiles
 - Poissons très bon nageurs, résistants au courant (salmonidés)
 - Exigeants en oxygène
 - Peu tolérants aux variations de T°

- ✓ Peuplement de cours d'eau inférieurs
 - Algues plus abondantes (en général filamenteuse)
 - Plancton et Benthos varié
 - Espèces poïkilothermes
 - Peu exigeants en oxygène
 - Poissons cyprinidés (exp. barbeau)

Les adaptations morpho-anatomiques les plus rencontrées :

- Aplatissement dorso-ventral (planaires, Ancyles)
- Petites tailles (élmides)
- Forme hydrodynamique en fuseau (saumon, truite..)
- Acquisition de dispositif d'accrochage (plécoptère perla)
- Acquisition de ventouse (exp. sangsue)
- Acquisition de disque de fixation.
- Au laboratoire:
 - Saumon : $V = 8\text{m/s}$
 - Chevaine: $V = 4,4\text{m/s}$
 - Truite: $V = 2,7\text{m/s}$
 - Brème: $V = 60\text{cm/s}$
 - Carpe: $V = 40\text{cm/s}$

Adaptation éthologiques

L'éthologie est l'étude du comportement des diverses espèces animales.

On observe souvent des adaptations éthologiques chez les espèces qui ne se fixent pas.

- Dérive comportementale.
- Dérive accidentelle (pendant les crues).

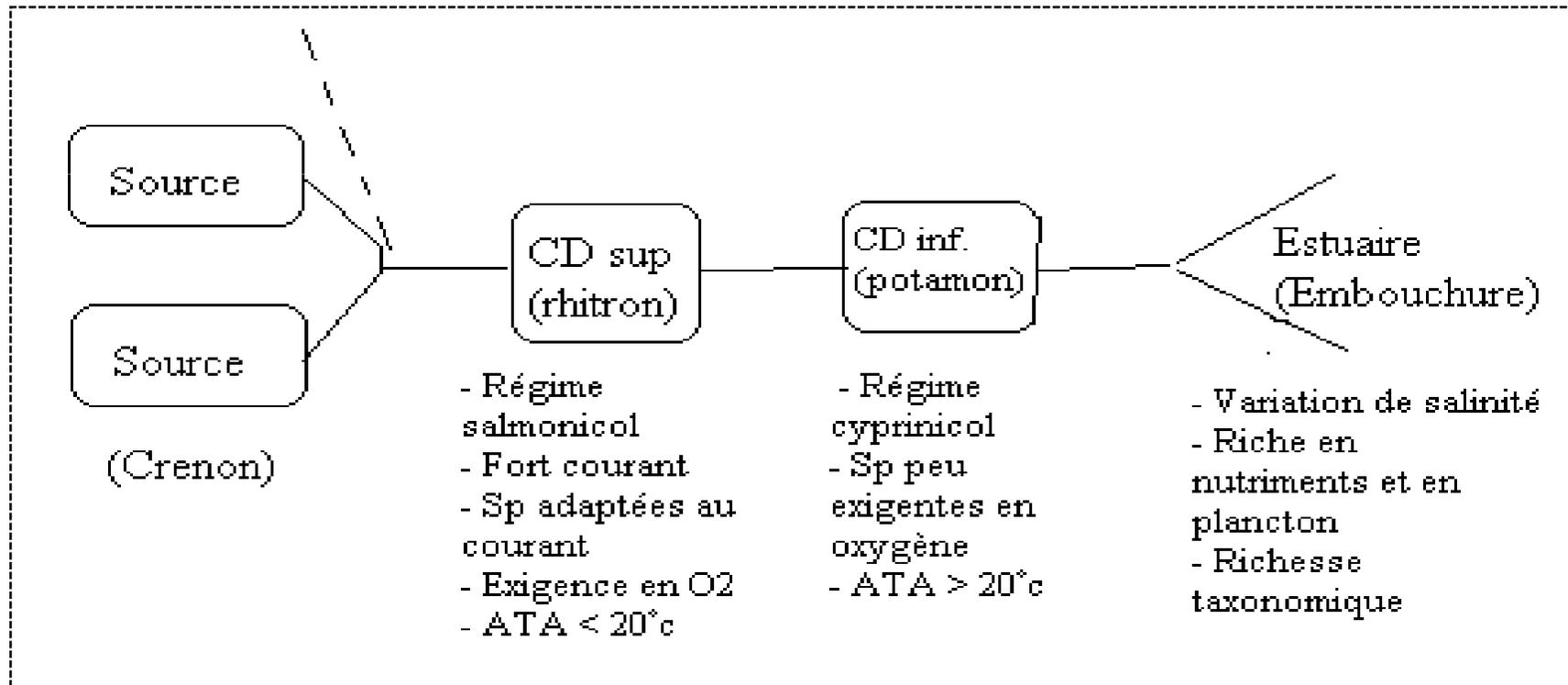


Schéma récapitulatif de l'évolution d'un cours d'eau depuis la source à l'embouchure.

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques physiques : Température

Dans les eaux courantes les amplitudes thermiques sont plus larges qu'en eau stagnante, les maximas sont de l'ordre de 30 tandis que les minimas atteignent 0°C et parfois légèrement négatives. La plupart des espèces lotiques sont poïkilothermes, la température de leur corps varie avec celle du milieu environnant.

- *Variations journalières :*

C'est l'écart thermique sur 24h. Il est très faible en hiver et maximal en été (15 à 16 °C), il dépend du réseau hydrographique, à la source par exemple cet écart est souvent inférieur à 1, et dépend également de la grandeur du cours d'eau (Important dans les petits cours d'eau et faible dans les grands).

- *Variations saisonnières et annuelles :*

Elle dépend également du positionnement du court d'eau dans le réseau, avec des amplitudes thermiques plus ou moins constantes près de la source et variables en aval, avec une tendance à l'augmentation.

- *Action de la température sur la biocénose :*

- En sources on rencontre des espèces sténothermes (Micro et mégathermes)
- La variation thermique aboutit à une distribution longitudinales des espèces, tel le cas des planaires qui présentent la succession de zone à *Crénobia alaina*, *Z.* à *Polycelis felina* et *Z.* à *Dugesia gomocephala* depuis l'amont vers l'aval.

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques physiques : Lumière

L'importance de la lumière dans un cours d'eau réside en son rôle désinfectant et de photosynthèse, la lumière du soleil est la première source d'énergie des écosystèmes terrestres.

L'intensité de la lumière est influencée par la densité de forêt, l'existence de falaise, la largeur et la profondeur du fleuve, l'installation de barrage (naturel ou artificiel), le phénomène d'eutrophisation, certains facteurs saisonniers ou journaliers (intensité lum., Angle d'incidence (Loi de Beer Lambert)) ou encore par la couverture nuageuse, l'altitude ou la position géographique.

- Caractéristiques physiques : Turbidité

- DEFINITION: une caractéristique optique de l'eau qui consiste à diffuser ou absorber la lumière incidente.
- La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Ainsi, plus une eau est chargée en biomasse phytoplanctonique ou en particules sédimentaires, plus elle est turbide.
- Les conséquences de la turbidité concernent la pénétration de la lumière et des ultra-violets dans l'eau, et donc la photosynthèse et le développement des bactéries. Par ailleurs, la couleur de l'eau affecte aussi sa température et donc sa teneur en oxygène, son évaporation et sa salinité.

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques physiques : MES

Les matières en suspension (MES) sont des matières fines minérales ou organiques insolubles visibles à l'oeil nu qui contribuent à la turbidité de l'eau.

- En effet, les MES et les particules solides transportées dans les cours d'eau proviennent de l'érosion de la couche superficielle des sols sous l'action dynamique de l'eau de pluie, de ruissellement ou encore d'écoulement dans les eaux.

Les MES sont mesurées à l'aide d'un filtre à membrane filtrante de 1,2 – 1,5 μm lequel est séché avec le dépôt retenu dans un four à 103-105 C.

- Les matières en suspension sont à l'origine d'une dégradation de la qualité biologique des cours d'eau :

- par la production de sédiments et le colmatage des habitats au fond des cours d'eau.

- par le transfert de substances polluantes associées aux particules.

- par constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.

- par le colmatage des branchies des poissons.

par leur effet obscurcissant (formation d'un écran empêchant la lumière de pénétrer normalement), les MES présentes dans les rivières, diminuent la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques chimiques : Oxygène dissous

L'oxygène est un gaz peu soluble dans l'eau, ce qui en fait un facteur limitant dans les écosystèmes aquatiques.

- En atmosphère $[O_2]=213\text{cm}^3/\text{l}$
- Dans l'eau $[O_2] \text{ max}=10\text{cm}^3/\text{l}$

$$C = K.p$$

C: Concentration de saturation

K: Cte de solubilité (variable avec T°)

P: Pression partielle

La saturation de l'eau en oxygène varie selon la température de l'eau :

- À $0^\circ\text{C} \Rightarrow 14,56 \text{ mg/l}$ d'oxygène dissous
- À $10^\circ\text{C} \Rightarrow 11,25 \text{ mg/L}$ d'oxygène dissous
- À $20^\circ\text{C} \Rightarrow 9,09 \text{ mg/L}$ d'oxygène dissous
- À $30^\circ\text{C} \Rightarrow 7,49 \text{ mg/L}$ d'oxygène dissous
- À $100^\circ\text{C} \Rightarrow 0 \text{ mg/L}$ d'oxygène dissous

L'apport en oxygène : l'oxygène dissous dans l'eau provient soit de l'atmosphère par diffusion air-eau (phénomène physique), soit par photosynthèse (phénomène biologique).

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques chimiques : Oxygène dissous

Sachant qu'en montagne, les cours d'eau sont faiblement peuplés en algues et plantes, et que les températures de l'eau sont faibles, l'oxygène dissous est souvent apporté par diffusion, on y observe des teneurs maximales pendant la nuit et minimales en moitié de journée.

Tandis qu'en aval (court d'eau de plaine), le développement plus important des organismes photosynthétiques d'une part et l'augmentation des températures d'autre part font du phénomène biologique de photosynthèse l'apport principal de ce gaz dans l'eau.

La consommation d'oxygène : l'oxygène est consommé pour la respiration des organismes, en plus des phénomènes de dégradation aérobie de la matière organique.

Selon le besoin des poissons en oxygène on distingue 4 catégories :

- 1er Groupe : 7 à 11cm³/L (salmonidés...)
- 2ème Gr: 5 à 7cm³/L (ombre)
- 3ème Gr: moins de 4cm³/L (Gardon)
- 4ème Gr: 0,5 à 2cm³/L (Carpe)

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques chimiques : pH

Le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,5 et 8,5. Mais il peut aller à des extrêmes de 3 (dans le cas de substrat rocheux acide) et 10 (dans le cas de système karstique à substrat calcaire). A pH inférieur à 5, les conditions de vie deviennent défavorables. Ainsi, des pluies acides tombant sur un substrat à faible pouvoir tampon pourraient avoir des conséquences néfastes.

On mesure le pH à l'aide de pH-mètre à mercure ou, au laboratoire, par la méthode de dosage du Titre Alcalimétrique (TA) ou du Titre Alcalimétrique Complet (TAC).

✓**TA** : Il permet de connaître les teneurs de l'eau en carbonates (CO_3^{2-}) et bases fortes (OH^-) présentes dans l'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphthaléine qui vire de l'incolore au rose-fuchsia à un pH de 8,2. Le Titre alcalimétrique s'exprime en degré français (°f).

✓**TAC** : est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau, son unité est le degré français (°f).

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques chimiques : Sels de Calcium et Magnésium

Ils représentent les éléments clés de la productivité du milieu aquatique et indiquent la dureté de l'eau.

$$\text{Dureté totale} = \text{Dureté calcique} + \text{Dureté magnésique} = [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Ca}^{2+}].$$

- Eau douce -->> $[\text{Ca}] < 9 \text{mg/l}$
- Eau à dureté moyenne -->> $10 < [\text{Ca}] < 25 \text{mg/l}$
- Eau dure -->> $25 \text{mg/l} < [\text{Ca}]$

Et on °f, on a la classification suivante :

- 0 à 7 ->> Eau très douce
- 7 à 15 ->> Douce
- 15 à 25 ->> Moyennement dure
- 25 à 42 ->> Dure
- Supérieur à 42 ->> Eau très dure

4- Caractéristiques physico-chimiques des eaux courantes :

- Caractéristiques chimiques : Autres sels ; les nutriments

Il s'agit de l'azote, du phosphore et de la silice.

L'azote peut être sous forme minérale (NH_4 , NO_3 , NO_2) ou organique (Protéines, Acides Aminés, Urée). Les apports peuvent être exogènes : Eau de pluie, lessivage de la matière organique du sol et fixation de l'azote atmosphérique. Ou endogènes, c'est-à-dire la décomposition et le recyclage de la matière organique de l'écosystème lui-même.

Le phosphore est le composant principal de l'os. Il rentre également dans la composition de certains lipides du système nerveux (phospholipides) et est la source d'énergie la plus facilement utilisable par la cellule (ATP). Son élimination par les urines assure l'équilibre acido-basique de l'organisme. Les apports principaux de phosphore sont le lessivage des sols agricoles, la dissolution des roches sédimentaires, la décomposition de la matière organique et les effluents urbains (détergents).

Des valeurs élevées en phosphore provoquent l'eutrophisation des eaux.

5- Flux énergétique de l'écosystème d'eau courante :

-Base de la pyramide énergétique dans un système aquatique

Energie fixées par les organismes chlorophylliens ----->> Autotrophe

Energie exogène (écosystème terrestre)----- >> Hétérotrophe

- La production primaire des CD est Faible à cause du courant et de la faible luminosité (effet écran des végétations ripisylves) >> Dépendance des apports détritiques extérieurs

- La matière organique dans les cours d'eau :

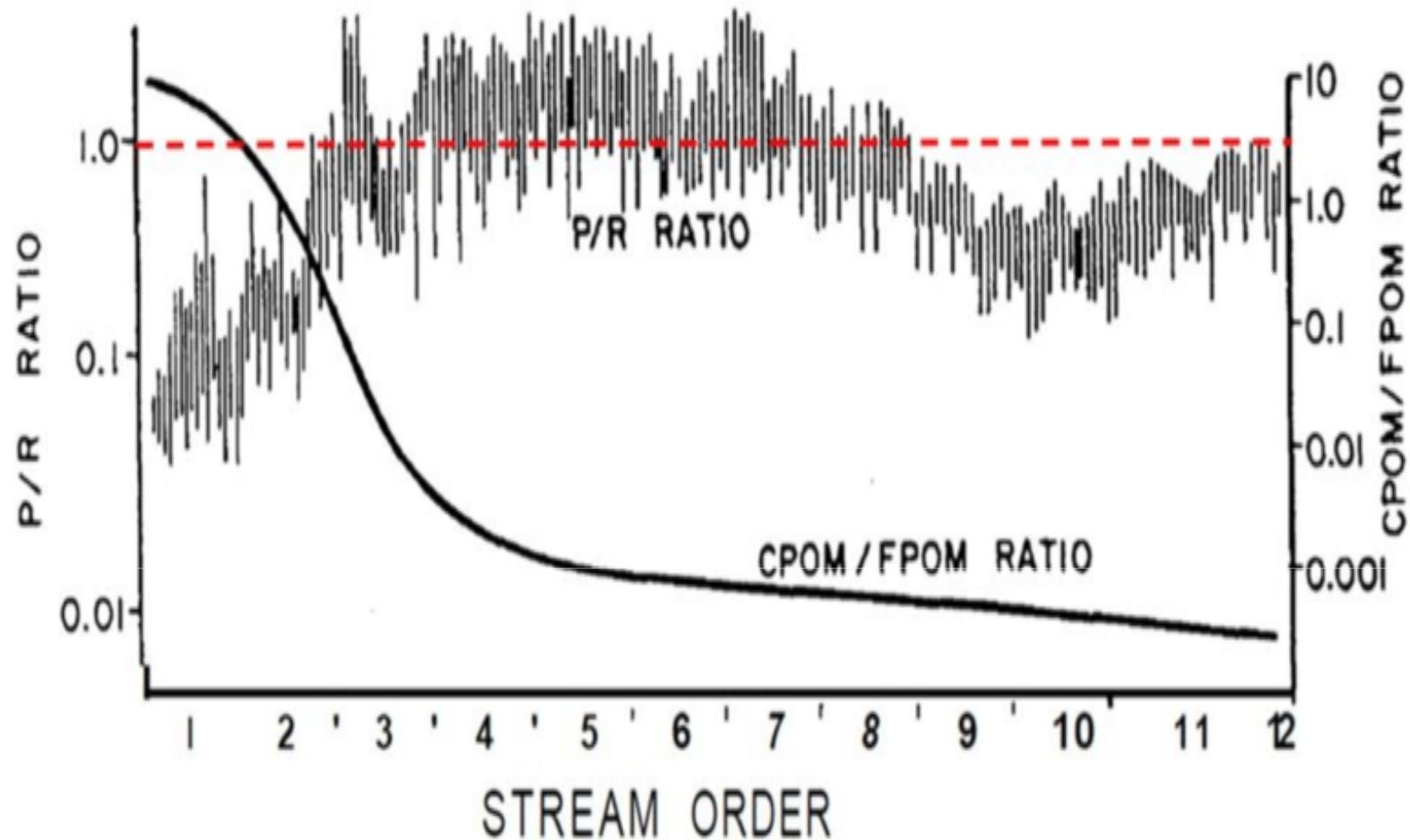
- Matière organique dissoute (MOD)

- Matière organique particulaire (MOP) Sup à 0,45 μ .

- ✓ FPOM (0,45 μ à 1mm)

- ✓ CPOM Sup à 1mm.

Cette matière organique provient généralement des feuilles d'arbres tombées, ou d'autre type de détritus. Le détritus est un ensemble de matière organique particulaire non vivante, étant soit des fragments d'organismes morts ou de la matière fécale. Ces détritus sont généralement colonisé par des microorganismes décomposeurs.



Ratios P/R et CPOM/FPOM (matière organique particulaire grossière/fine) des cours d'eau selon leur ordre de Strahler. La ligne en pointillé rouge représente la zone de passage entre un système autotrophe et hétérotrophe. Adapté de Vannote et al., (1980).

Evolution du détritius

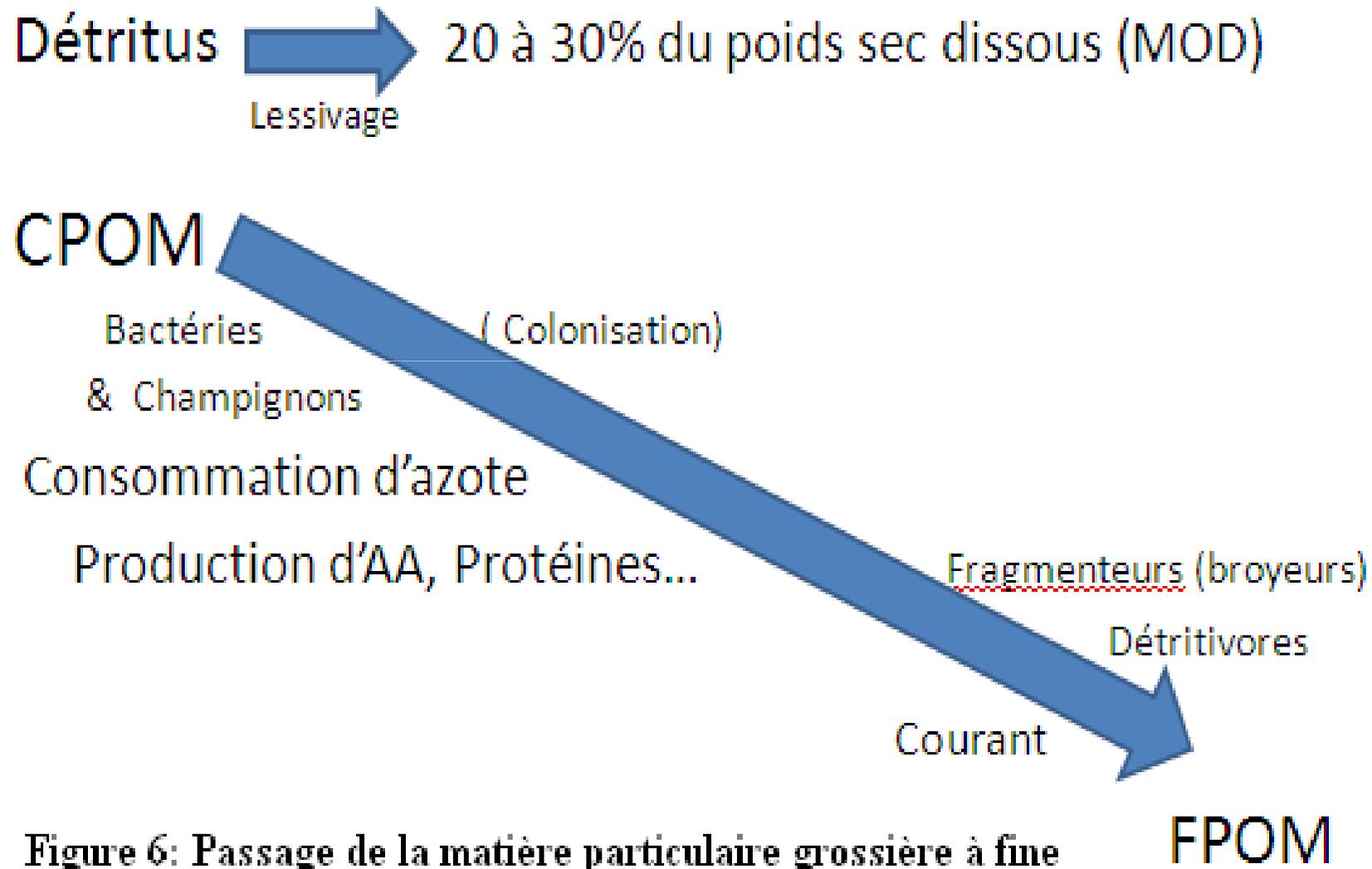
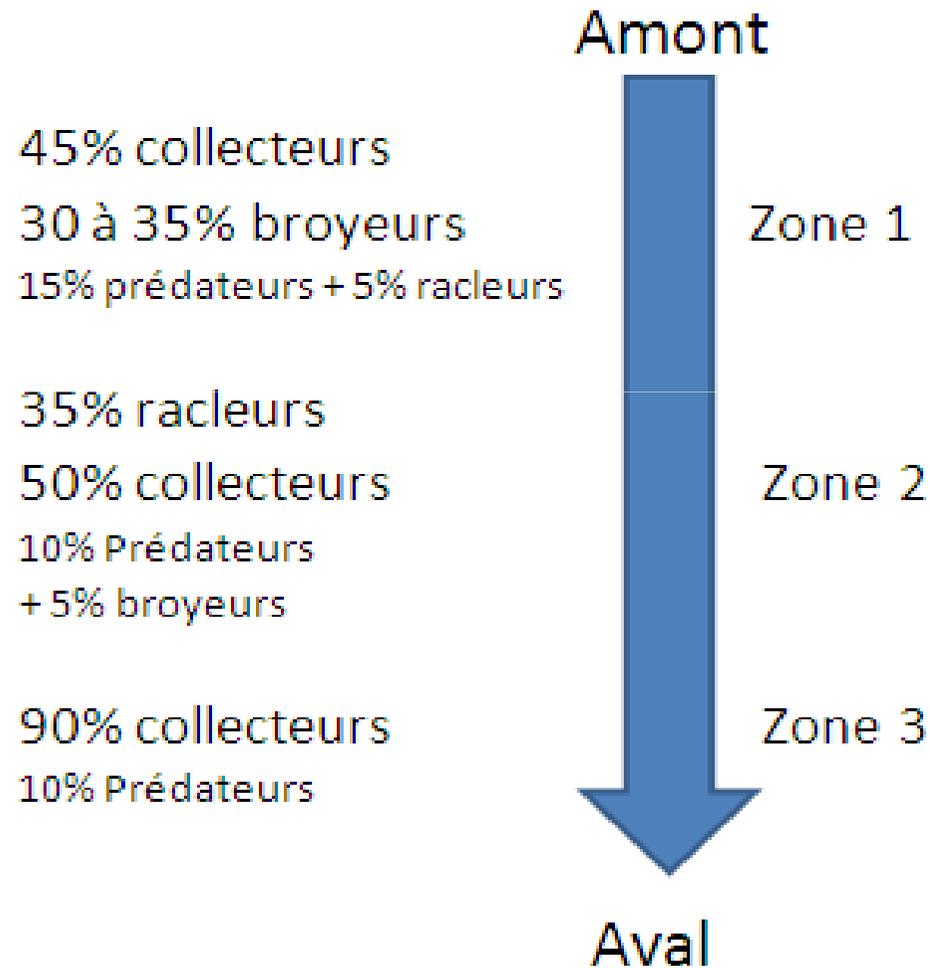


Figure 6: Passage de la matière particulaire grossière à fine

FPOM

Dans la théorie, le court d'eau supérieur est peuplé majoritairement de fragmenteure avec un rapport Fragmenteur/collecteur supérieur à 1, le court d'eau moyen présente un rapport de 1 et le court d'eau inférieur un rapport inférieur à 1



Continuum fluvial

III- Ecologie des systèmes lenticques

L'écologie d'eau douce

L'écologie des systèmes lotiques

L'écologie des systèmes lentiques

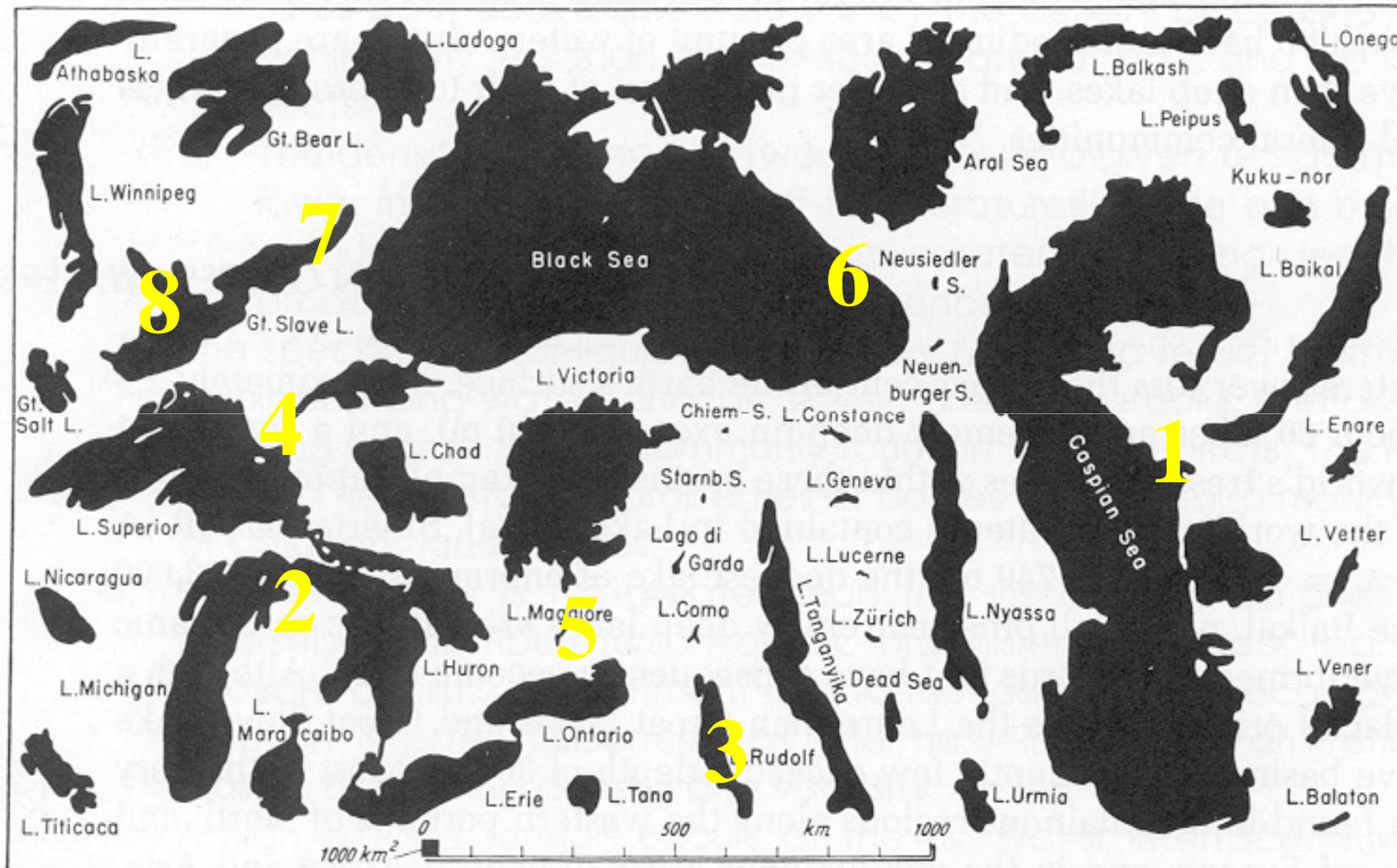
En réalité dans les milieux lentiques, l'eau ne stagne jamais, mais il y a toujours un temps de séjour +/- long des eaux. Il y a trois grands systèmes pour désigner ces milieux lentiques :

✓ **La mare** : toute pièce d'eau de moins de 1 m de profondeur où les radiations lumineuses pénètrent jusqu'au fond du plan d'eau. La dissipation de cette énergie chauffe donc la vase qui en automne restitue la chaleur emmagasinée. Ceci permet un développement décalé dans le temps d'organismes benthiques : tardif au printemps, et une survie automnale longue.

✓ **L'étang** : toute pièce d'eau dont la profondeur est inférieure à 10 m, sous nos latitudes. L'énergie cinétique du vent est en toute saison susceptible de provoquer un brassage total de la colonne d'eau. Ceci implique une remontée permanente des éléments minéraux en provenance des zones profondes (sédiments) vers la zone proche de la surface. Le phytoplancton est donc particulièrement abondant dans ce type de milieu.

✓ **Le lac** : toute pièce d'eau suffisamment profonde pour que se manifeste en été une stratification thermique. Cela empêche le brassage des eaux supérieures chaudes, pauvres en éléments nutritifs avec les eaux profondes froides et riches en sels minéraux.

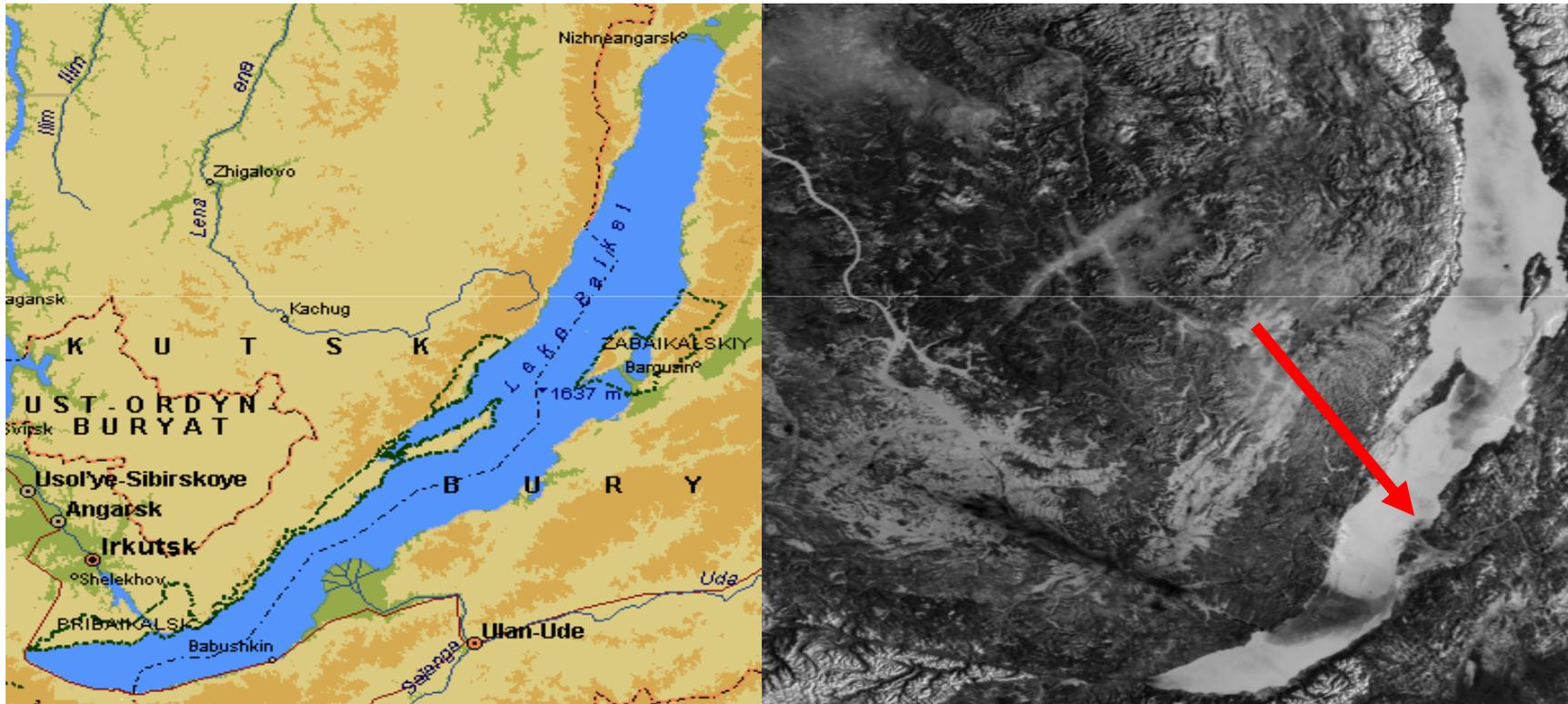
Grands lacs mondiaux



1-8: les lacs d'eau douce

Le plus grand lac du monde

Lac Baikal, Russie

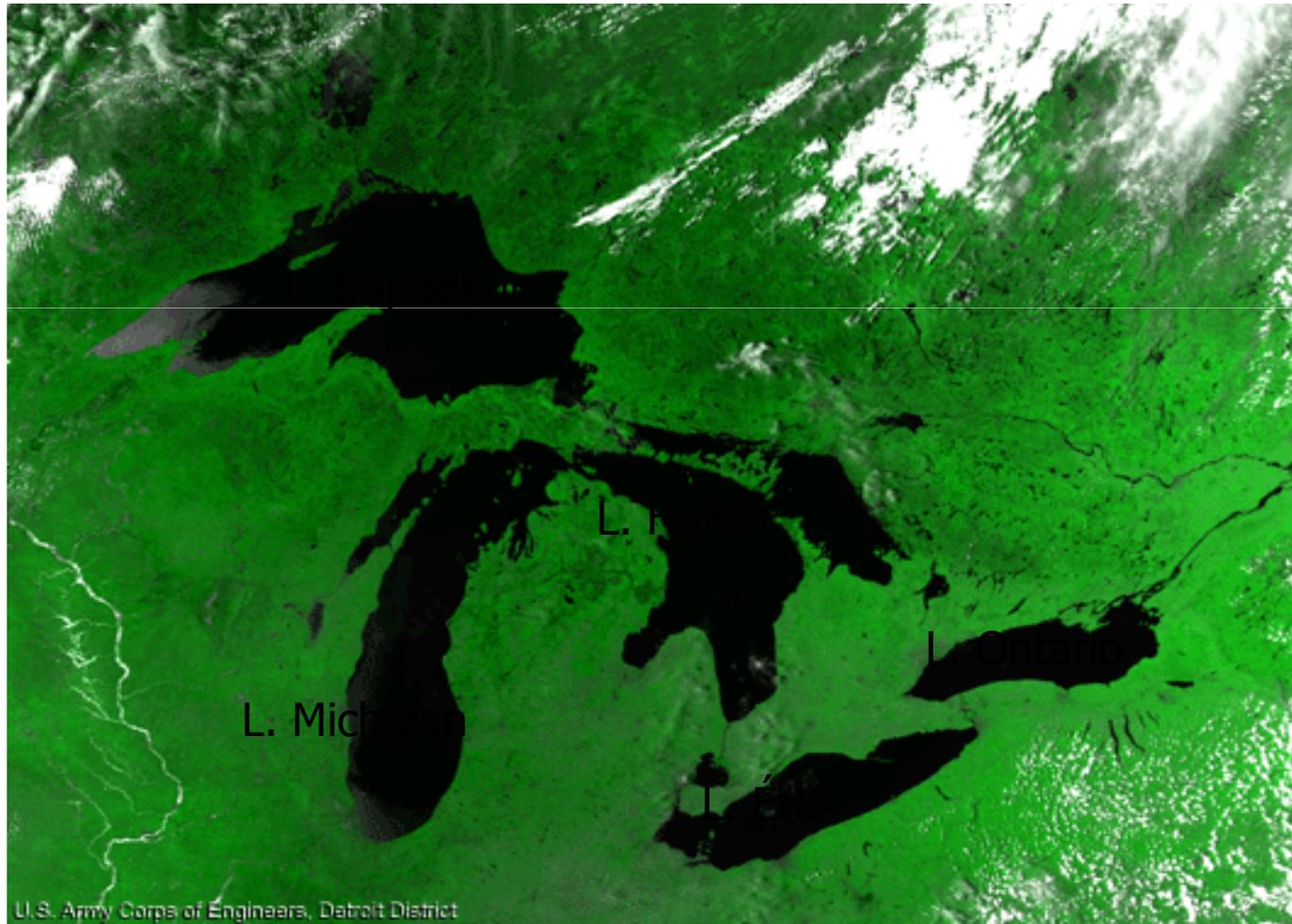


Surface = 31 500 km²

Volume = 22 995 km³ = 20 % du volume total des eaux douces

Profondeur maximale 1741 m

Les Grands Lacs américains



Les Grands Lacs
245 240 km²
22 807 km³

Lac Supérieur
82 800 km²
12 230 km³
Prof: 407 m

Les autres grands lacs

10 premiers lacs = 87.5 % du volume, 34% de la surface des eaux douces

| Lacs | Continent | Surface km² | Volume km³ | Prof. Max. m |
|-------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Tanganyika | Afrique | 32 900 | 18 900 | 1471 |
| Malawi | Afrique | 22 500 | 6 140 | 706 |
| Victoria | Afrique | 68 500 | 2 700 | 92 |
| Autres | Canada | Russie | Perou | Japon |

Grand Lac à l'Ours

Grand Lac des Esclaves

Lac Winnipeg

Lac Titicaca

Lac Lagoda

Mer d'Aral

Lac Issyl Kul

Lac Biwa

1. Géologie et formation des Lacs

1.- Mouvements tectoniques -> lacs **tectoniques** : Les mouvement tectoniques des plaques ont créé certains des plus anciens et les plus profonds lacs

2.- Activités volcaniques -> lacs **volcaniques**

3.-Activité glaciaire -> lacs **glaciaires**

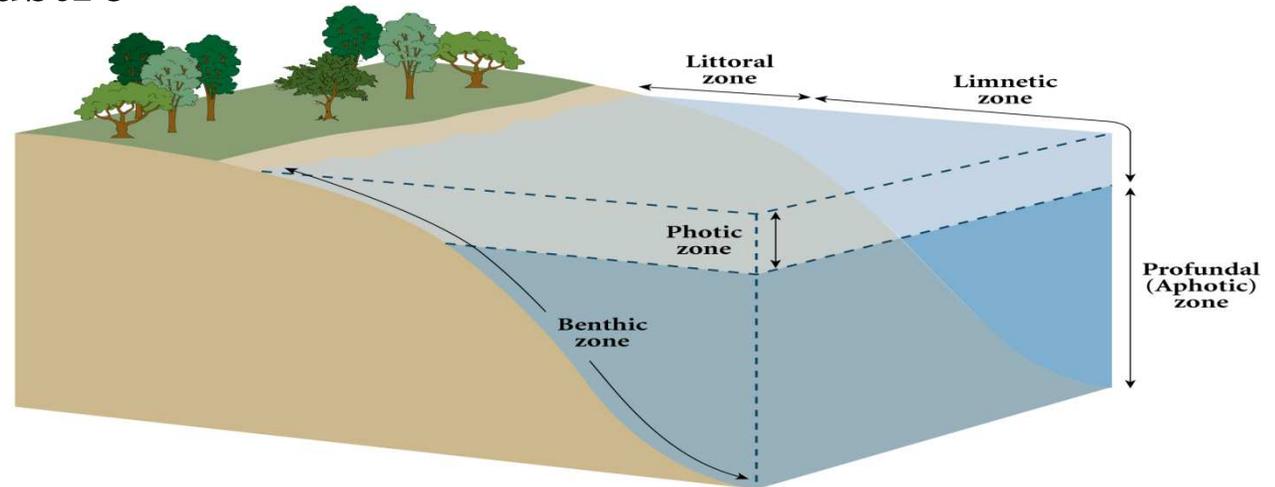
Assez courants. Les glaciers se déplaçant créent des dépression

4.- Par hydrodynamisme -> lacs **fluviaux**

2 . Morphométrie d'un lac

- Moyen de classification
- *Bathymétrie* (profil en profondeur)
- Les lacs peu profonds sont souvent les plus productifs
 - Mélange des eaux
 - Photosynthèse

Zonation en milieu lacustre



La **zone littorale** (écosystème terrestre) : frange en contact avec le milieu terrestre où se développent les macrophytes.

La **zone pélagique** (écosystème lacustre) : zone où se développe le plancton, les poissons.

La **zone benthique** (écosystème lacustre) : zone du fond où se développe la faune benthique.

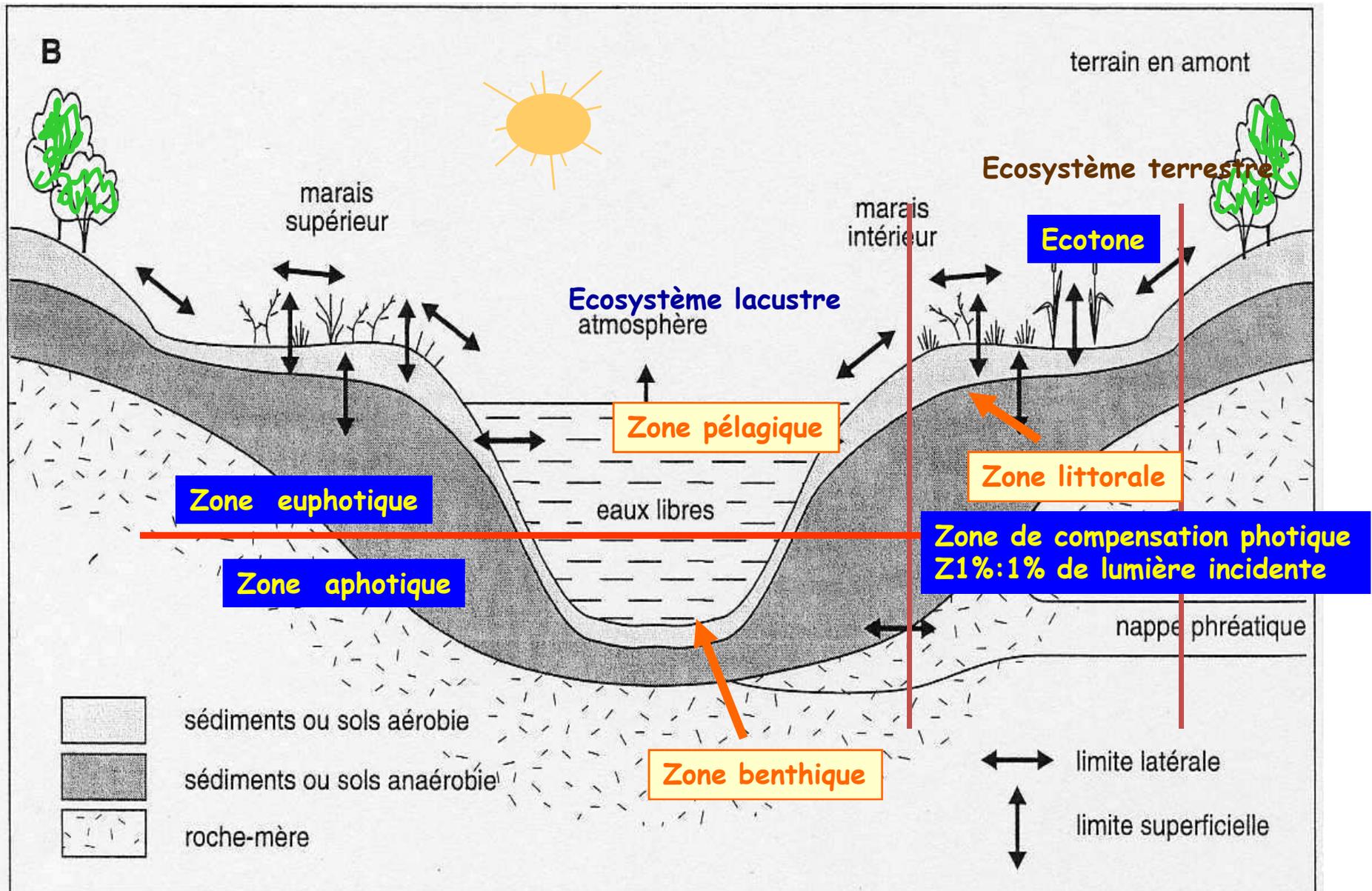
‡ Propriétés optiques :

Au sein de l'écosystème lacustre, on définit deux zones en fonction des propriétés optiques et de la profondeur : la zone trophogène ($P > R$) et la zone tropholytique ($P < R$). A une profondeur qui correspond à 1% de la lumière pénétrant en surface, les processus photosynthétiques égalent les processus respiratoires, c.à.d. que la production nette est nulle ($P = R$).

Au-dessus de cette ligne imaginaire appelée la **zone de compensation**, la croissance du phytoplancton est possible, on parle de **zone trophogène** (trophos : nourriture, gène : fabriquer) ou **euphotique**.

Au-dessous de cette ligne, les processus hétérotrophes/respiratoires sont prépondérants (dégradation de la matière organique). On parle de **zone tropholytique** (lytique : destruction) ou **aphotique**.

ECOSYSTEME LACUSTRE

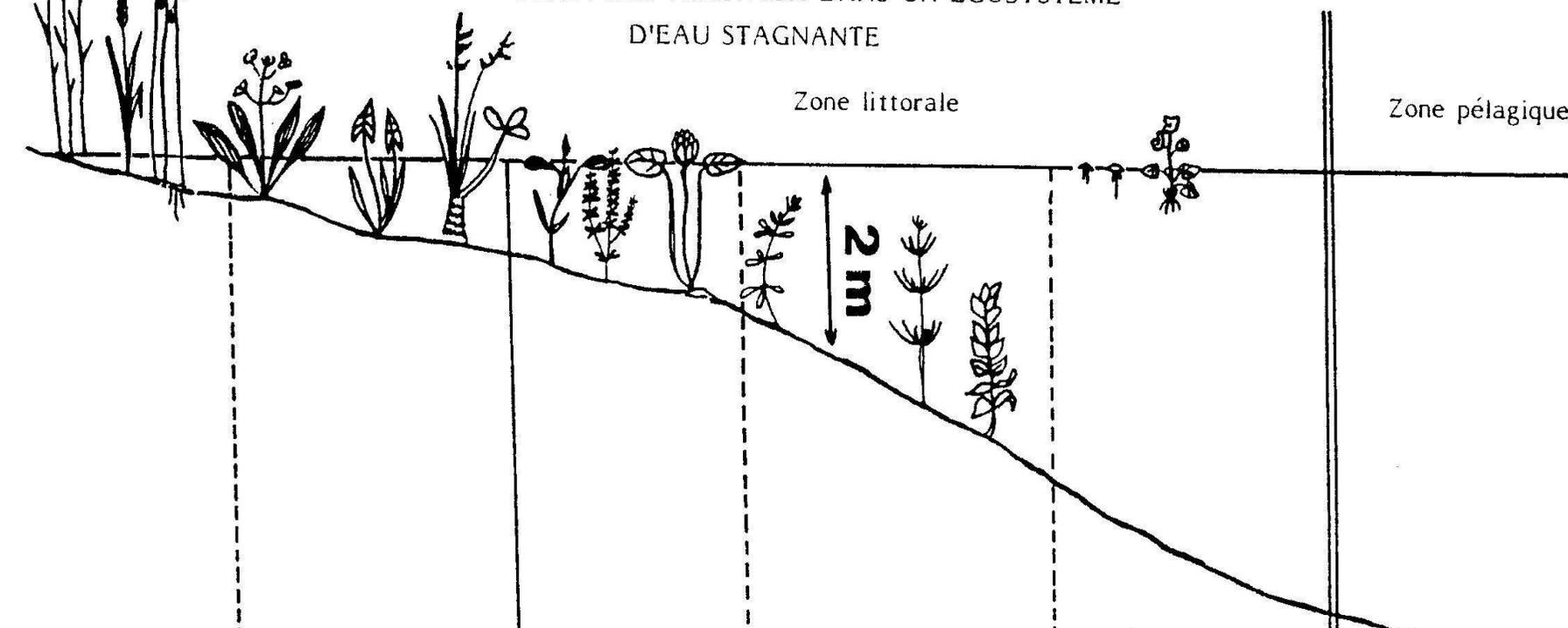


- 1 Carex
- 2 Joncs
- 3 Roseaux
- 4 Typha
- 5 Renoncule aquatique
- 6 Nénuphar jaune
- 7 Potamot
- 8 Elodée
- 9 Myriophylle
- 10 Cératophylle
- 11 Lentilles d'eau

Répartition des végétaux aquatiques au bord d'un étang



DISTRIBUTION DES VEGETAUX DANS UN ECOSYSTEME
D'EAU STAGNANTE



| | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| | | | | | MICROPHYTES |
| | | | | | PLANCTON |
| Helophytes | Pseudo hydrophytes | Rhizophytes | Emménophytes | Pleustophytes | |
| <i>Carex</i> sp. <i>Typha</i> sp. <i>Phragmites</i> sp. <i>Scirpus</i> sp. <i>Sparganium</i> sp. | <i>Sagittaria</i> sp. <i>Alisma</i> sp. <i>Menyanthes</i> sp. | <i>Nuphar</i> sp. <i>Nymphaea</i> sp. <i>Myriophyllum</i> sp. <i>Potamogeton natans</i> <i>Potamogeton crispus</i> | <i>Helodea</i> sp. <i>Chara</i> sp. <i>Potamogeton densus</i> | <i>Lemna</i> ssp. <i>Hydrocharis</i> sp. <i>Utricularia</i> sp. <i>Ceratophyllum</i> sp. | Chlorophycées Cyanophycées Diatomées Chrysophycées |

Distribution et composition des macrophytes dans la zone riparienne (rives) des eaux stagnantes tempérées :

Macrophytes : terme désignant les végétaux de grande taille (cryptophytes et phanérogames) qui croissent dans la zone riparienne des écosystèmes aquatiques. Ils sont essentiellement représentés par des bryophytes (mousses), des characées (appartenant à un embranchement primitif entre les algues et les phanérogames) et des angiospermes aquatiques.

Il existe deux grands types de macrophytes :

1. **Amphiphytes** : englobent l'ensemble des plantes amphibies

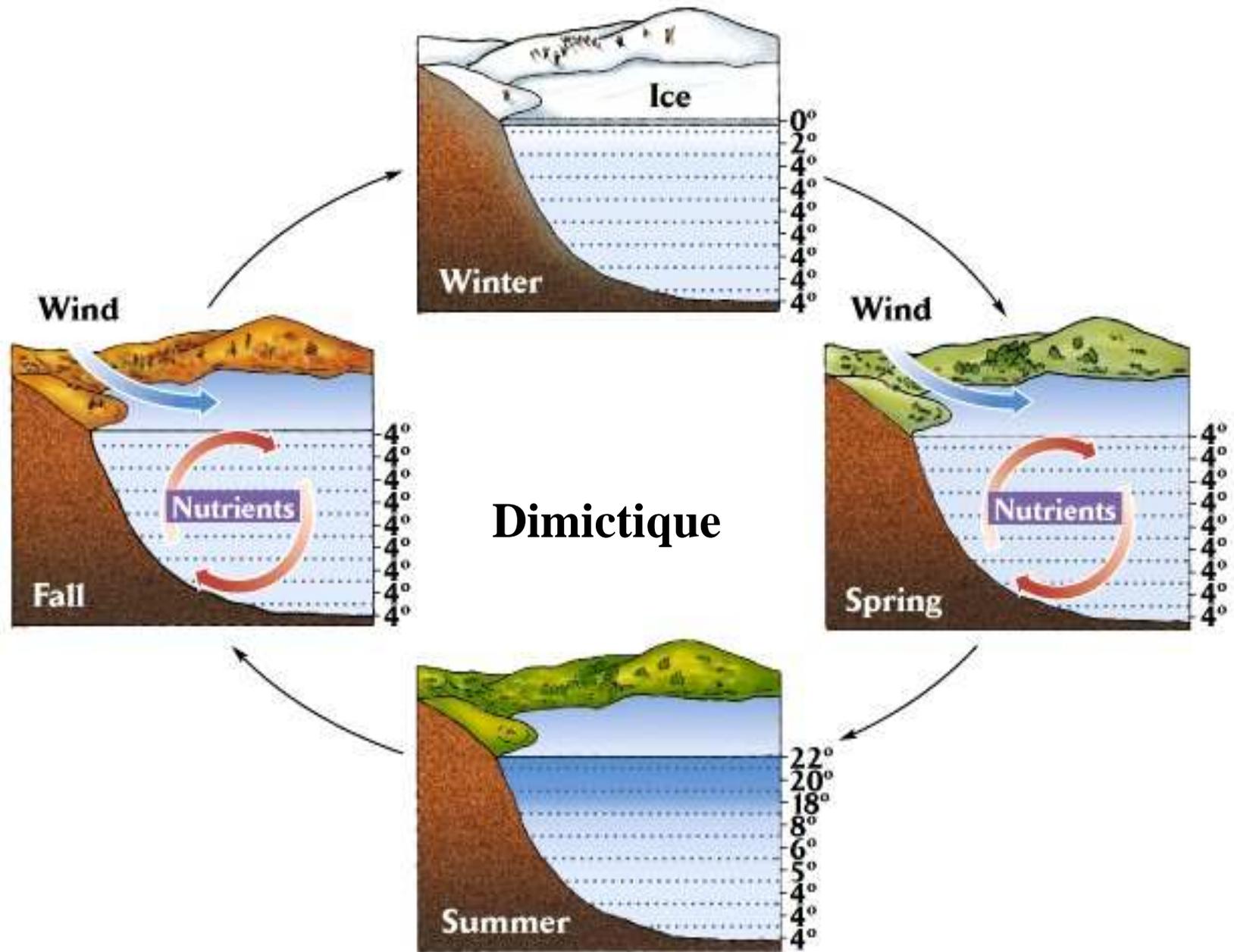
- ✓ **Hélophytes** : “ les pieds dans l'eau ” ou **hélophytes**, végétaux qualifiés de supra-aquatiques supportent une immersion temporaire ou plantes pourvues de racines, à port dressé, avec les parties inférieures le plus souvent immergées, alors que les feuilles et l'inflorescence sont hors de l'eau. Ex : *Carex* sp., *Typha* sp., Prêle aquatique. et les végétaux de marais qui poussent dans la zone des embrun
- ✓ **Pseudohydrophytes** : plantes entièrement immergées en règle générale mais dont le cycle exige une phase exondée des parties végétatives pour la reproduction. Ex : *Sagittaria* sp., *Juncus bulbosa*

2. Hydrophytes : regroupent les espèces qui croissent en pleine eau. Elles sont des plantes réellement aquatiques (algues, bryophytes aquatiques, hydrophytes vasculaires),

- **Rhizophytes** : plantes fixées au substrat (sédiment ou fond) à feuilles flottantes avec ou non présence de feuilles submergées (affleurantes).
Ex : Nymphaea, Lotus, Potamogeton natans.
- **Emménophytes** : plantes intra-aquatiques, entièrement submergées, dépourvues d'organes de flottation. Ex : Myriophyllum, divers Potamogeton, Chara sp.
- **Pleustophytes** : plantes libres non enracinées flottantes à la surface de l'eau à l'exception des racines. Ex : Ceratophyllum sp., Utricularia sp., Lemna sp.

Temps de Rétention

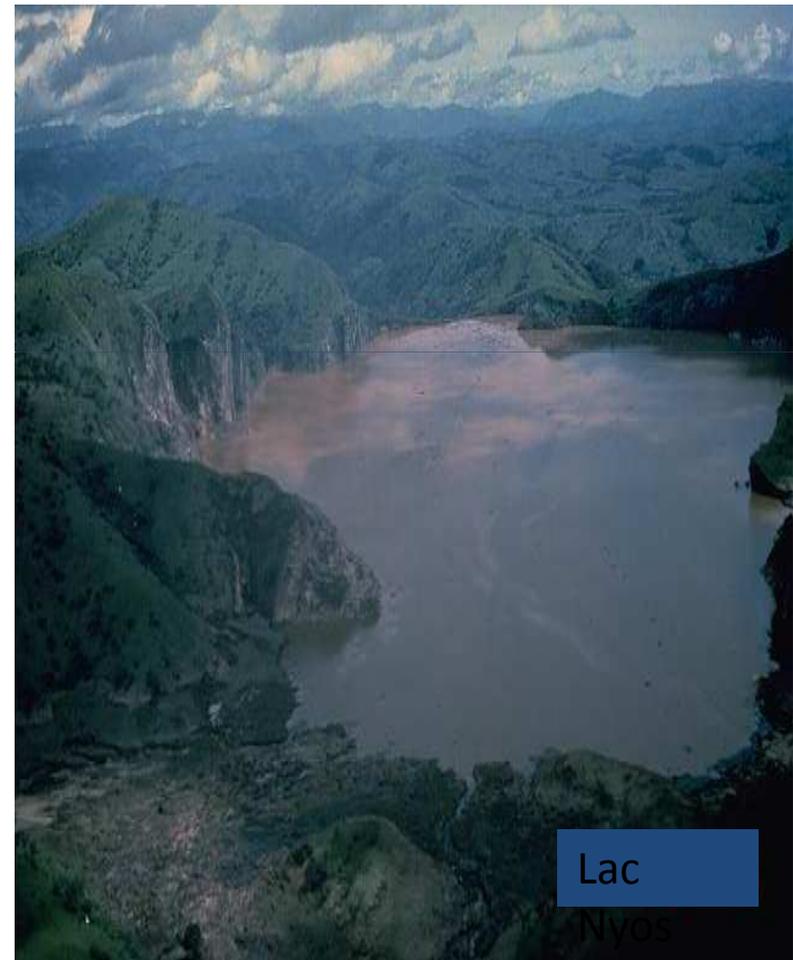
- Temps de rétention ou temps de résidence de l'eau correspond au temps pris par l'eau pour être complètement renouvelée
(volume du lac) / (débit d'entrée et de sortie)
- Peut varier de quelques heures à des milliers d'années
(ex Lake Tahoe = 700 ans)
- Paramètre essentiel pour comprendre l'impact d'une pollution, les effets sur le biotope...



Stratification thermique

Classification des lacs selon leur stratification

- **holomictique** : les eaux se mélangent au moins une fois par an
 - monomictique 1 / ans
 - dimictique : 2 x /an
 - polymictique plusieurs fois/an
- **méromictique** : <les eaux se mélangent moins une fois par an , décennie ou siècle
 - Lac Pavin
 - Lac Nyos , Cameroun, 1 800 morts en 1986



Diversité et Eutrophisation

- Les lacs oligotrophes sont caractérisés par :
 - Forte diversité phytoplanctonique
 - Les communautés benthiques :
 - larves d' [éphéméroptères](#), trichoptères et Plécoptères ou perles
 - petits bivalves
 - Truites
- Les lac eutrophes sont caractérisés par :
 - Les communautés benthiques :
 - Larves de [nématocères](#), chironomidés
 - Vers Tubificinae,
 - Carpe

Caractéristiques des lacs en zone tempérée

| Paramètre | Oligotrophique | Eutrophique |
|---|---|--|
| Production | faible | forte |
| richesse | haute | haute |
| Niveau de biomasse dans l'eau | faible | forte |
| efflorescences algales | rare | fréquent |
| Abondance de Cyanobactéries | faible | forte |
| Distribution verticale des algues | dans hypolimnion | Seulement dans eau de surface |
| Végétation dans zone littorale | Peu ou abondant; végétation émergente et submerge | abondant; plus d'algues filamenteuses et moins de macrophytes |
| Migration des algues | extensive | limitée |
| Caractéristiques des groupes algales | Algues vertes: <i>Desmids</i> , <i>Staurostrum</i> Diatomées: <i>Tabellaria</i> , <i>Cyclotella</i> Algues dorées: <i>Dinobryon</i> | Cyanobactéries: <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> Diatomées: <i>Melosira</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Stephanodiscus</i> , <i>Asterionella</i> |

Diversité et Eutrophisation

Lac Oligotrophique

Lac Eutrophique

Température fraîche et concentration en oxygène élevée (Truite)

Faible concentration en nutriments (N, P)
Faible densité de phytoplancton et de plantes aquatiques



Espèces d'invertébrés à forte exigence en oxygène sont dominantes dans la faune benthique

Les berges pentues et la forte profondeur réduisent le réchauffement d'eau

Température chaude et faible teneur en oxygène favorisant les poissons tolérants

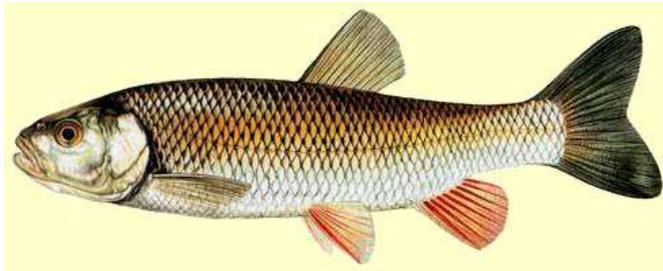
Disponibilité des nutriments (N, P). Fortes densités de phytoplancton et plantes aquatiques



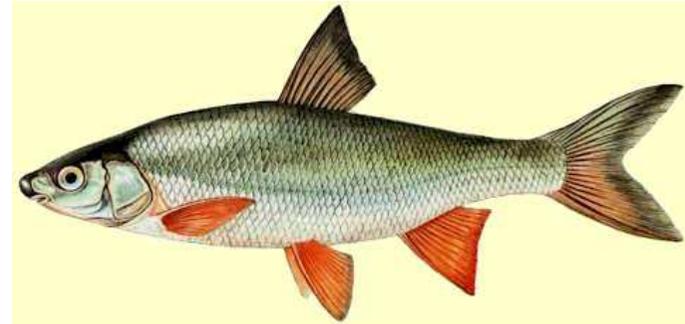
Forte biomasse d'invertébrés benthiques, dominée par des espèces tolérantes aux températures chaudes et oxygène faible

Faible profondeur qui réduit le volume total de l'eau et augmente le réchauffement en été

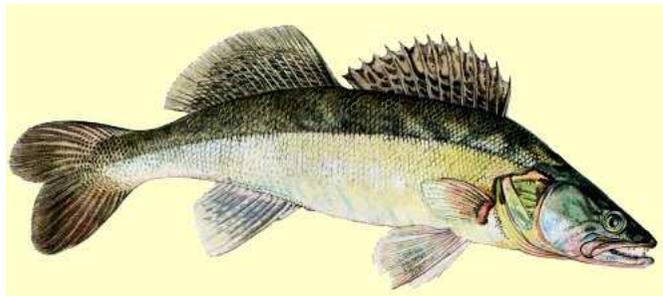
Lac Eutrophique (Bourget)



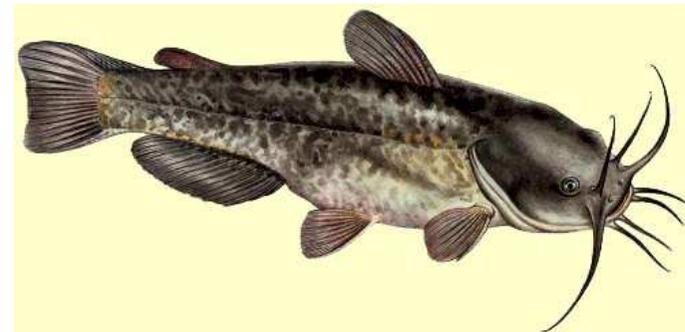
Leuciscus cephalus



Chondrostoma nasus

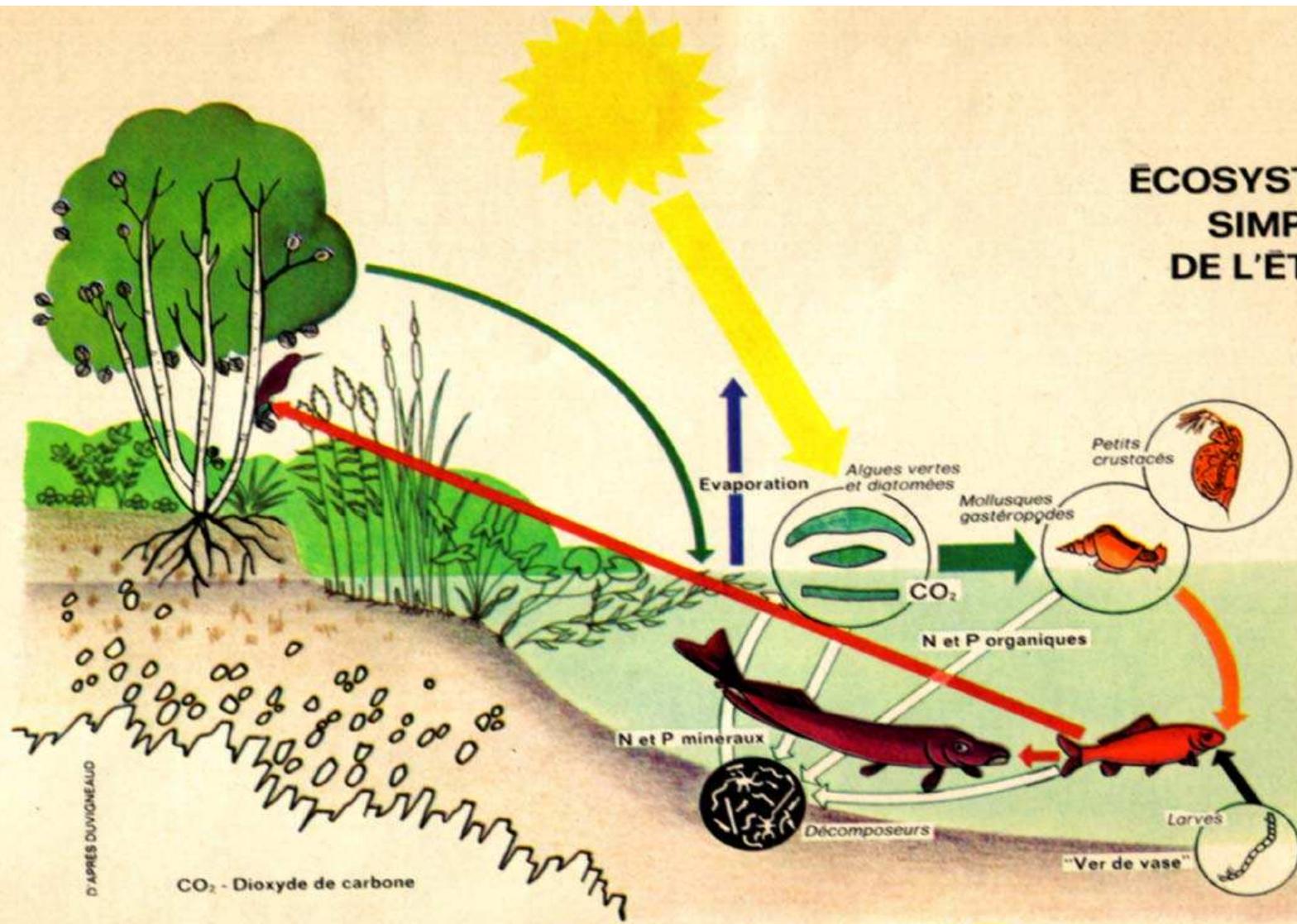


Stizostedion lucioperca



Ictalurus melas

ECOSYSTÈME SIMPLIFIÉ DE L'ÉTANG



D'APRÈS DUVIGNEAUD

CO₂ - Dioxyde de carbone

- Energie
- Producteur
- Consommateur de 1^{er} ordre
- Consommateur de 2^e ordre
- Consommateur de 3^e ordre
- Décomposeur

La Communauté Autotrophe

- ✓ Les algues vertes désignent un ensemble d'algues dont les pigments photosynthétiques principaux sont les chlorophylles a et b. Taille très diverse
- ✓ Les Xanthophyceae ou sont des algues unicellulaires colonial et filamenteuse. Elles des algues brunes, quoique de couleur vert-jaune, généralement d'eau douce, se déplaçant grâce à deux flagelles . Peusont planctoniques.
- ✓ Les chrysophycées (*Chrysophyceae*) sont des algues de couleur jaune doré que l'on rencontre généralement en eau douce Possède des carotenes et la plus part sont unicellulaires.
- ✓ Le cryptophycée sont peu représenté, sont unicellulaires et motiles. Peu etre abondant en conditions de peu lumineaire pendant l'hiver.
- ✓ Les Euglénoïdes sont t principalement d'algues aquatiques unicellulaires. Les flagellés de ce groupe, qui comprend environ mille espèces, se trouvent couramment dans les eaux douces chargées de matières organiques

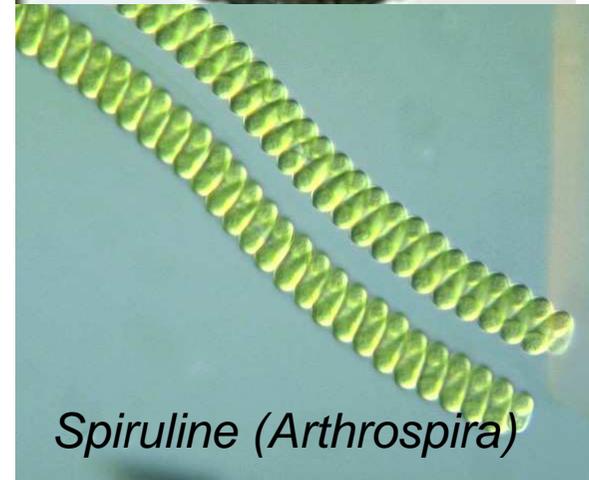
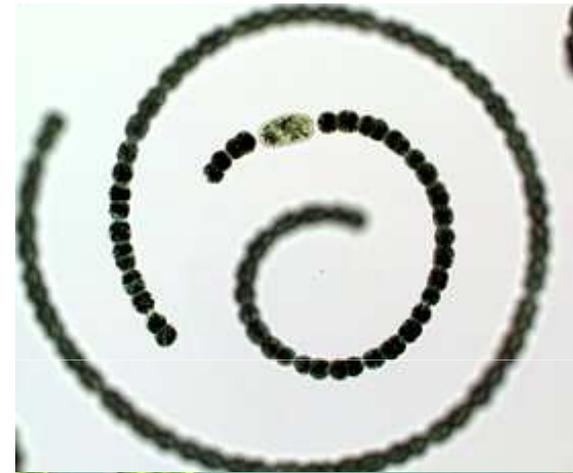
Phytoplankton d'eau douce

| | |
|-----------------------|---------------------------|
| <u>Cyanobactéries</u> | Cyanophyta or Myxophyceae |
| <u>Algues vertes</u> | Chlorophyta |
| <u>Xanthophycées</u> | Xanthophyceae |
| <u>Algues Dorées</u> | Chrysophyceae |
| <u>Diatomées</u> | Bacillariophyceae |
| <u>Cryptophycée</u> | Cryptomonadineae |
| <u>Dinoflagellées</u> | Dinophyceae |
| <u>Euglénoïdes</u> | Euglenophyceae |

Cyanobactéries

- Bactéries (procaryotes)
- Photosynthèse
- Certaines peuvent fixer le diazote
- Associée l'eutrophisation des eaux
- Donnant un mauvais goût à l'eau (poissons)
- 40 spp. sécrètent des cyanotoxines qui sont généralement des neurotoxines (PSP)
- Certaines sont bénéfiques

Anabaena circinalis



Spiruline (Arthrospira)

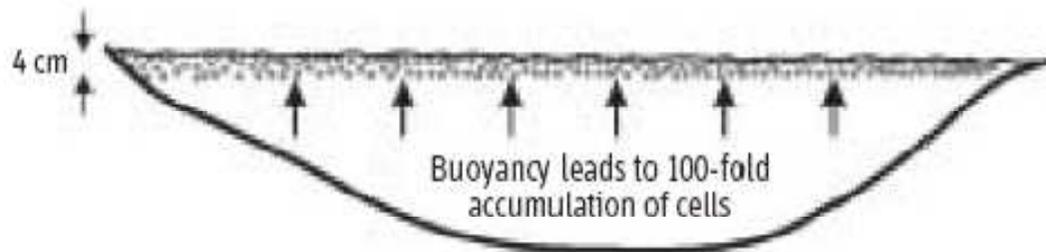


La formation de Biofilm dans lacs Eutrophisés



moderate risk level:

- 50 $\mu\text{g/l}$ chlorophyll-a
- or 100 000 cells/ml
- possibly 20 $\mu\text{g/l}$ of microcystin in top 4 m of water body



100-fold accumulation to high risk level scum:

- 5 000 $\mu\text{g/l}$ chlorophyll-a
- or 10 000 000 cells/ml
- possibly 2 000 $\mu\text{g/l}$ of microcystin in top 4 cm of water body



1000-fold accumulation if wind sweeps scums from 100 m into 10 m:

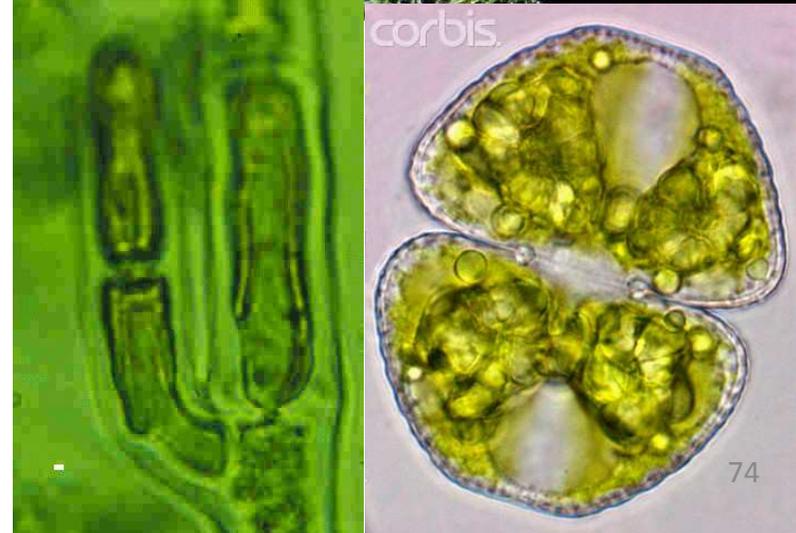
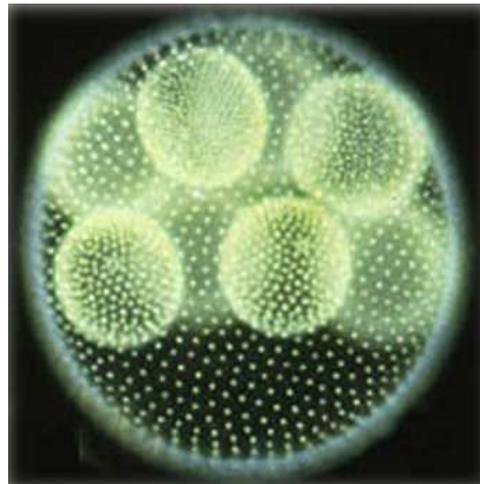
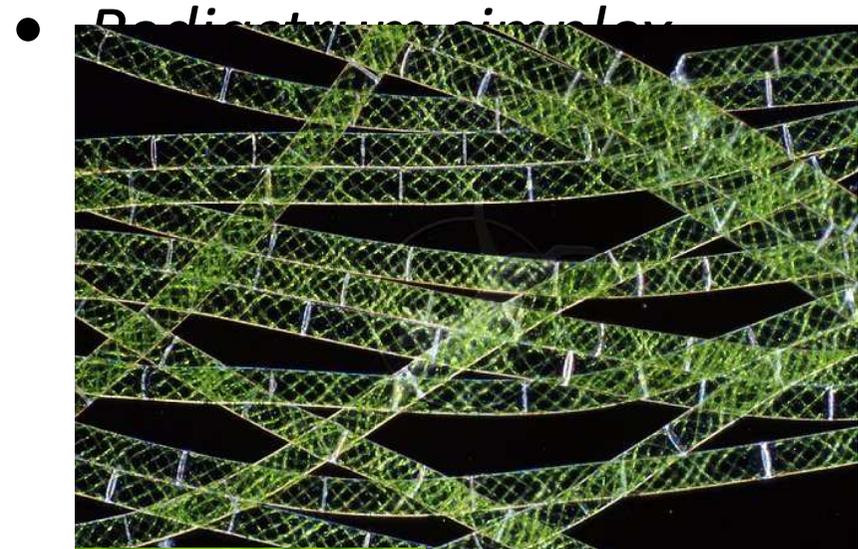
- 50 000 $\mu\text{g/l}$ chlorophyll-a
- or 100 000 000 cells/ml
- possibly 20 000 $\mu\text{g/l}$ of microcystin concentrated in one bay of the water body

Les cyanotoxines

| Toxin or toxin group | Classification by principal target organ systems | Toxin-producing genera | LD ₅₀ (i.p. mouse) | References |
|-----------------------------------|---|---|---|---------------------------|
| Microcystins | Hepatotoxins | <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Hapalosiphon</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Snowella</i> , <i>Woronichinia</i> | 25->1000 µg/kg | [10, 19, 26, 125-128] |
| Nodularins | Hepatotoxins | <i>Nodularia</i> | 30-60 µg/kg | [8, 26, 129] |
| Anatoxin-a, homoanatoxin-a | Neurotoxins | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Arthrospira</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Raphidiopsis</i> | 200-375 µg/kg | [8, 10, 18, 26, 130-135] |
| Anatoxin-a(s) | Neurotoxin | <i>Anabaena</i> | 20-40 µg/kg | [8, 26, 132] |
| Saxitoxins | Neurotoxins | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Planktothrix</i> | 10-30 µg/kg | [26, 127, 132, 136-140] |
| Cylindrospermopsin | General cytotoxin (multiple organ systems affected, incl. liver, kidney, gastrointestinal tract, heart, spleen, thymus, skin) | <i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Raphidiopsis</i> , <i>Umezakia</i> | 2.1 mg/kg (24 hours) 200 µg/kg (5-6 days) | [8, 10, 17, 132, 141-145] |
| Aplysiatoxin, debromoaplysiatoxin | Dermal toxins; probable gastro-intestinal inflammatory toxin | <i>Lyngbya</i> | 107-117 µg/kg | [146-152] |
| Lyngbyatoxin A | Possible gastro-intestinal inflammatory toxin | <i>Lyngbya</i> | 250 µg/kg (?LD ₁₀₀) | [153] |

Algues vertes

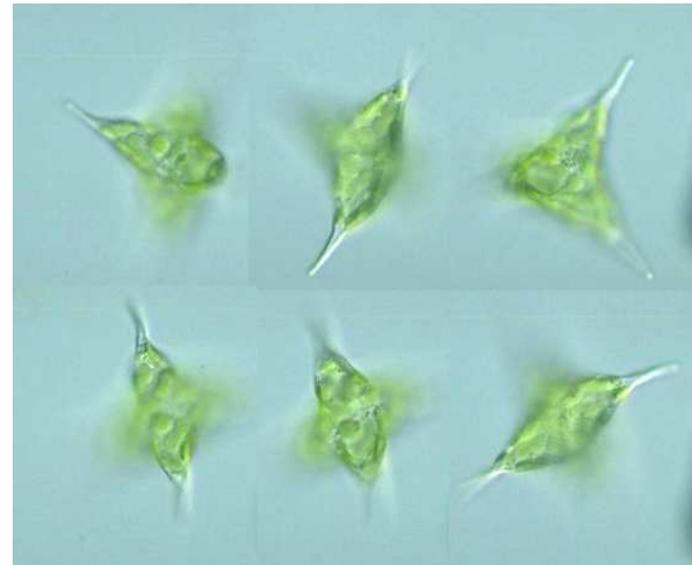
- Les pigments photosynthétiques principaux sont les chlorophylles a et b.
- Taille et formes très diversifié



Xanthophyceae

- Algues brunes
- Unicellulaires, coloniales et filamenteuses
- Se déplaçant grâce à deux flagelles
- Peu sont planctoniques.

- Tetraedriella



Algues dorées

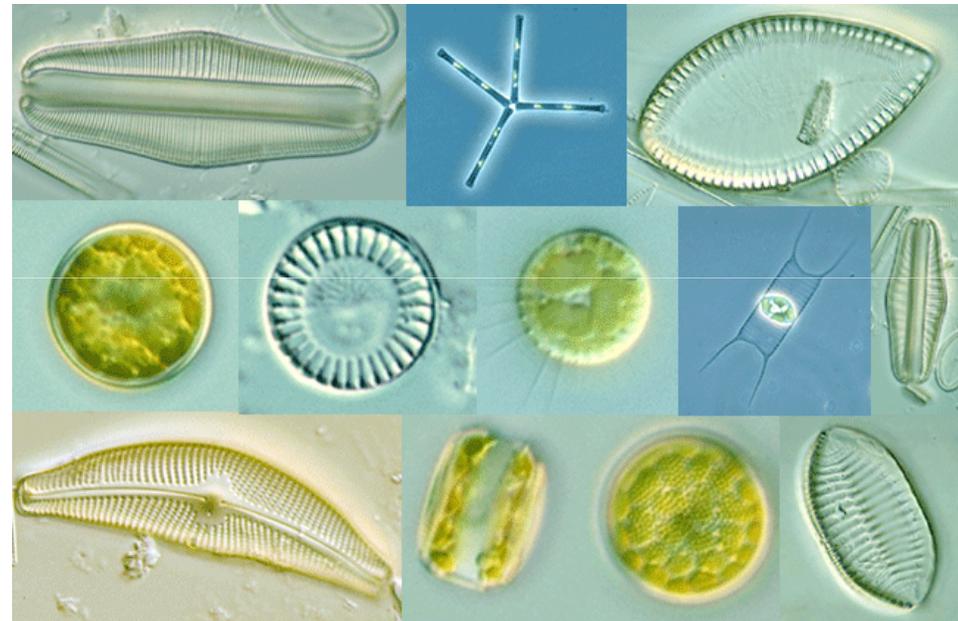
- couleur brun-jaune
- Elle possèdent deux flagelles
- la plupart vit en colonies (un individu mesure à peu près 50 micromètres)



- Formation des Kystes dans conditions défavorables

Bacillariophyta Diatomées

- Sont des microalgues jaunes et brunes unicellulaires
- Les seuls organismes unicellulaires à posséder une structure externe siliceuse
- (taille de 2 μm à 1 mm) présentes dans tous les milieux aquatiques



Les cryptophycée

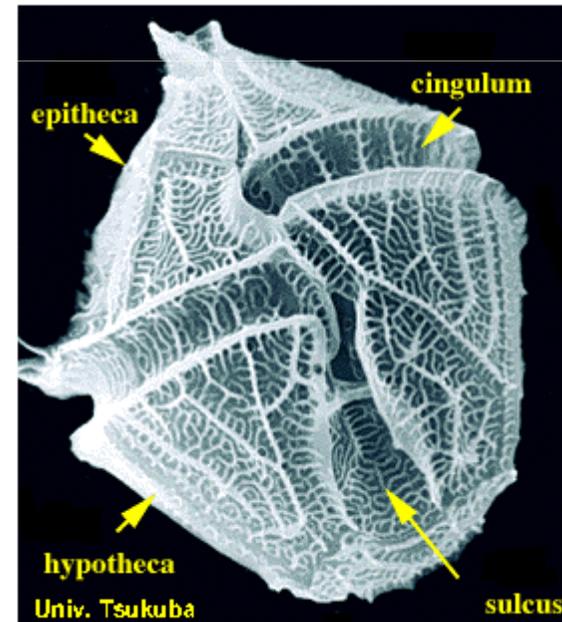
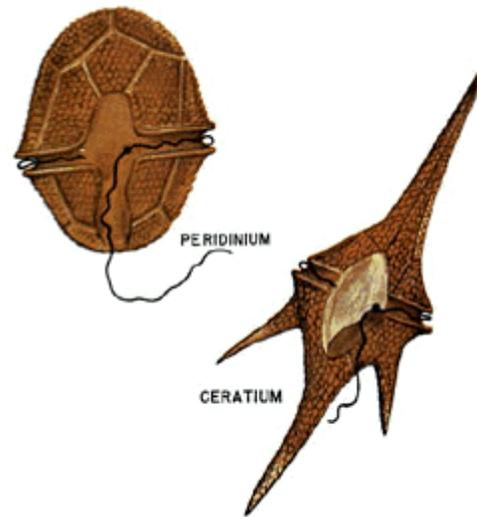
- unicellulaires et mobiles
- Deux flagelles de longueur différente
- taille 10-50 μm
- Peu représentées dans l'eau douce



Dinoflagellés

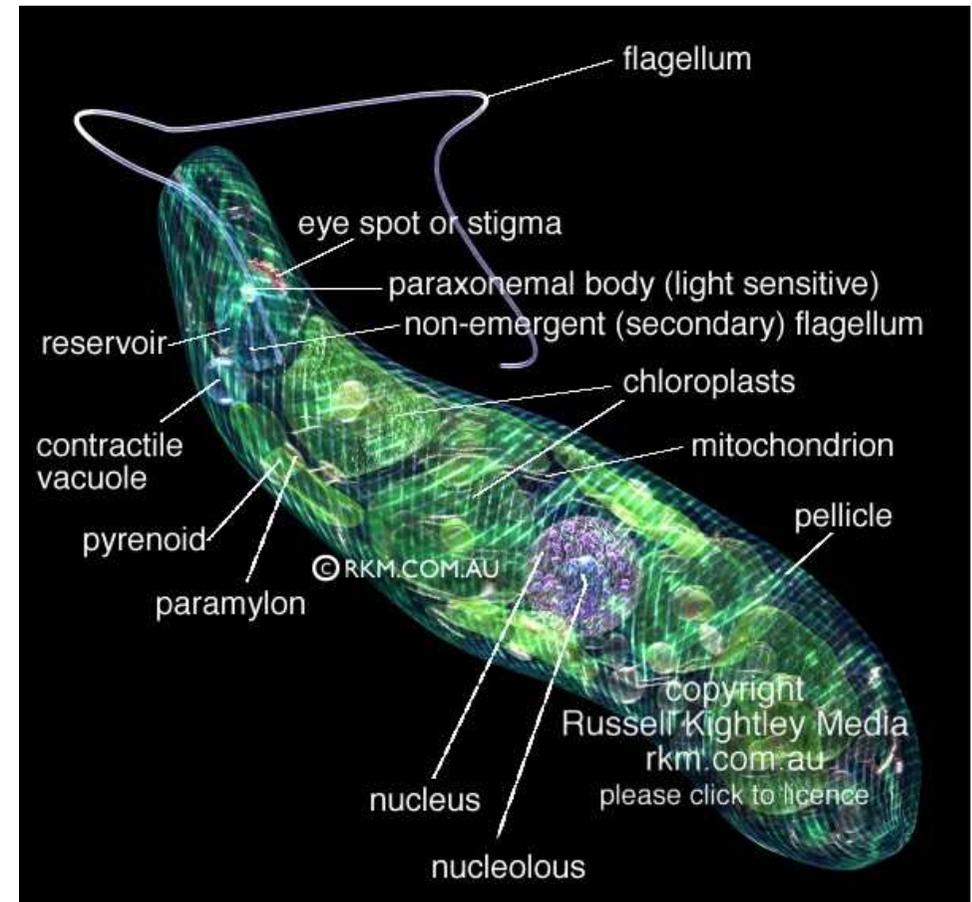
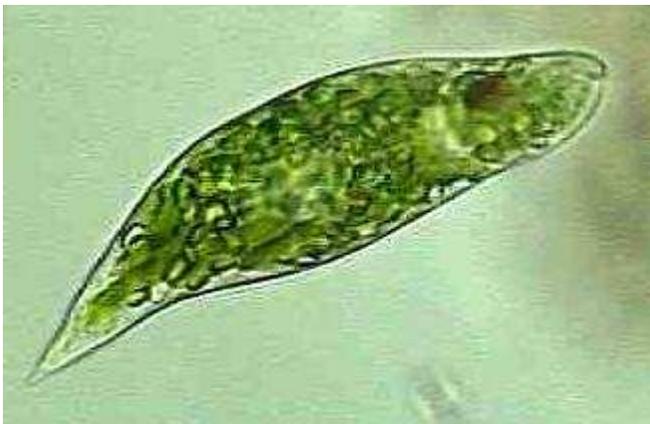
- Deux flagelles perpendiculaires dont le mouvement produit un tourbillon
- Membrane cellulosique rigide

Dinoflagellates



Les Euglénoides

- Unicellulaires
- Mobiles
- existe environ 1000 espèces
- eaux chargées de matières organiques



Mesures de la biomasse phytoplanctonique

1- Mesure directe par la technique des biovolumes

Dénombrement (microscope), identification et mesure \blacktriangle conversion en C ($\mu\text{m}^3/\mu\text{gC}$)

2- Dosage de la chlorophylle a par spectrophotométrie

Filtration, extraction et dosage \blacktriangle conversion en C ($\mu\text{gC}/\mu\text{gChla}$)

3- Dosage des pigments par HPLC

Filtration, extraction, chromatographie

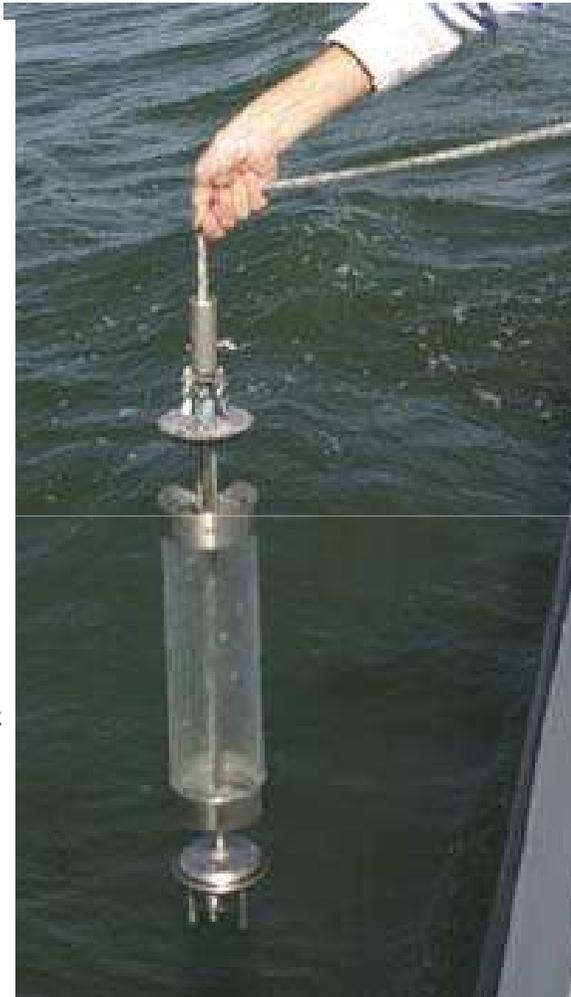
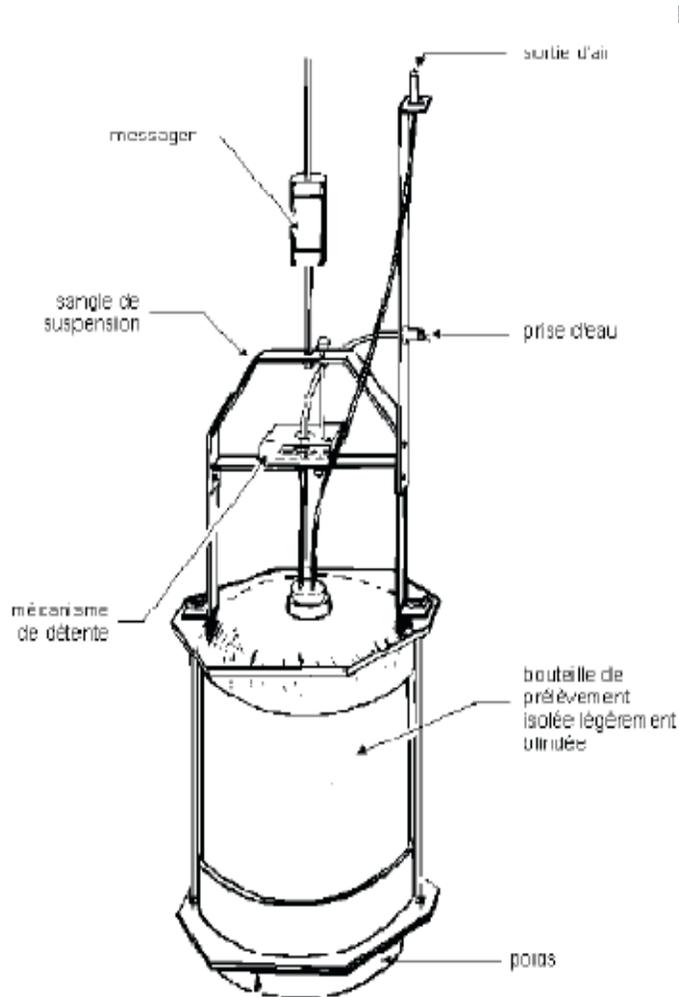
Ex: fucoxanthine (diatomées, chrysophycées), alloxanthine (Cryptophycées), chlorophylle b et lutéine (algues vertes), zéaxanthine (cyanobactéries)

4- Mesure de la production primaire: $n\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \blacktriangle (\text{CH}_2\text{O})_n + \text{O}_2$

Mesure du dégagement d'oxygène

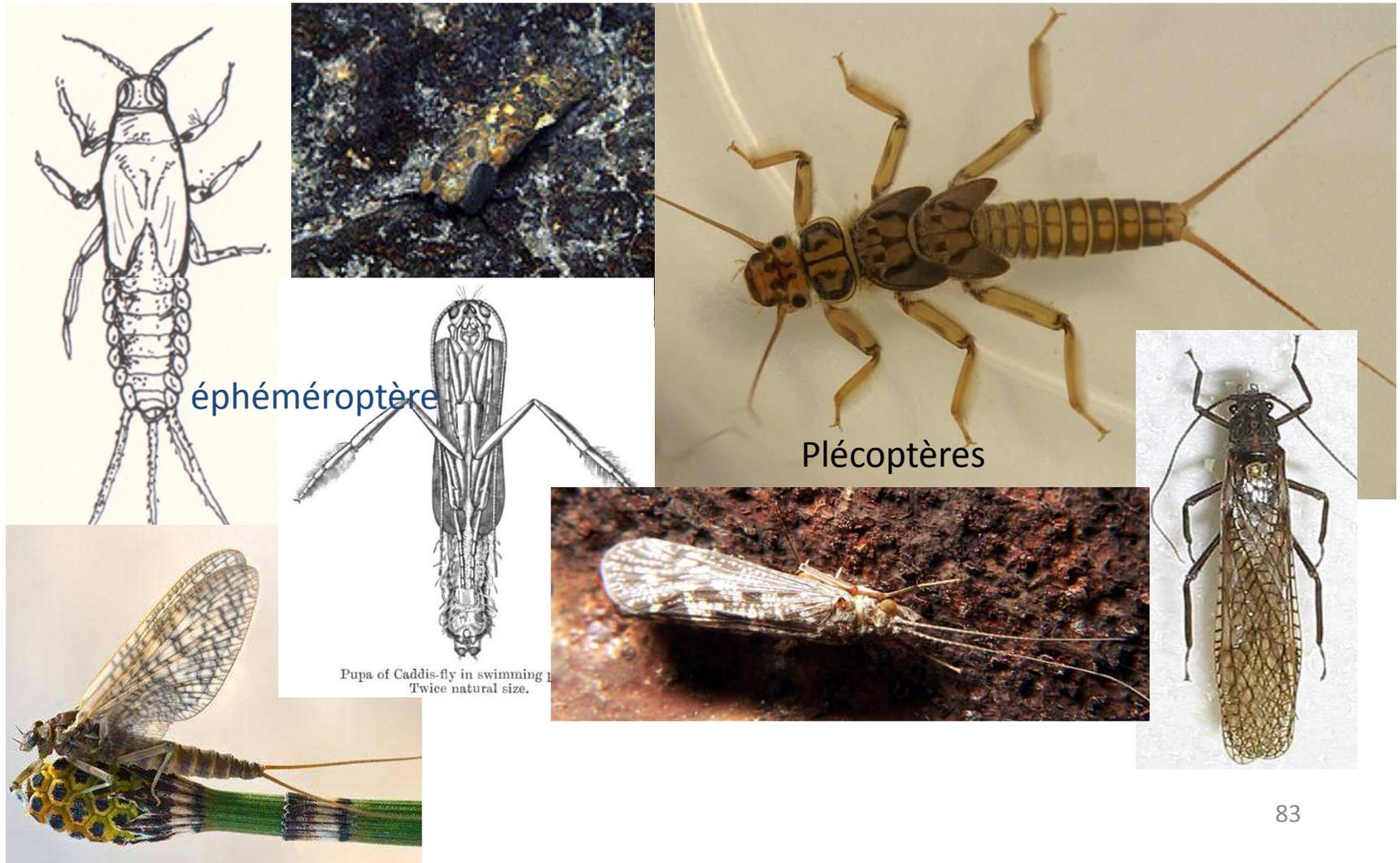
Mesure de l'assimilation en carbone: ^{14}C radioactif

Matériels de collection



Cet appareil est constitué d'une bouteille ambrée d'un litre, attachée à un harnais lesté. Un bouchon de caoutchouc, traversé par les tuyaux d'entrée et de sortie, ferme le goulot de la bouteille. Le tuyau d'entrée est attaché à un obturateur qui s'ouvre s'il est déclenché

Larves de lacs Oligotrophes



Larves des lacs Eutrophes

nématocères

