

## **LIMNOLOGIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE**

### **1.LIMNOLOGIE PHYSIQUE (Caractéristiques physiques des eaux douces)**

#### **a) Définition**

Les caractéristiques physiques des eaux douces sont des facteurs physiques individuels ou collectifs qui conditionnent ces dernières (qui les rendent habitables ou inhabitables par les êtres vivants).

#### **b) Caractéristiques concernées**

Ces caractéristiques sont les suivantes :

- La morphologie
- Les mouvements
- La nature de fond
- La zonation
- La lumière
- La température de l'eau
- La conductivité électrique

N.B. : chacune de ces caractéristiques a des attributs (aspects particuliers) permettant de la décrire.

#### **d) Morphologie**

##### **1/ Définition**

La morphologie des eaux douces est un ensemble des caractéristiques liées à la forme de ces dernières.

N.B. : la morphologie est donc une caractéristique collective, c.-à-d. une caractéristique englobant beaucoup d'autres caractéristiques en son sein.

##### **2/ Caractéristiques concernées par la morphologie**

Il s'agit de :

- La longueur
- La largeur
- La profondeur
- Le volume
- La surface
- La section

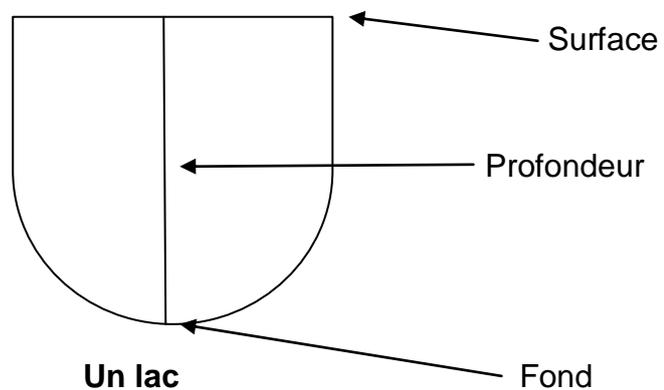
##### **3/ Caractéristique morphologique la plus importante : c'est la profondeur**

###### **a. Raisons :**

- Elle gouverne les mouvements de va et vient des organismes pulmonés benthiques (les organismes pulmonés sont des organismes possédant des poumons; benthique= vivant sur le fond des eaux)
- Elle influence grandement la pénétration de la lumière dans l'eau pour la réalisation de la photosynthèse (moins est la profondeur, plus la lumière atteint le fond et vice et versa).

### **b. Définition**

La profondeur est la distance entre la surface et le fond. Elle peut être maximale, minimale, moyenne.



### **c. Sources**

Elles sont plusieurs :

- Les phénomènes naturels qui créent le bassin du milieu aquatique (tectonisme, volcanisme, etc.).
- La force de l'eau elle-même : l'eau est capable de creuser un lit, ce qui crée la profondeur.
- La sédimentation : l'accumulation des sédiments dans un milieu aquatique donne une nouvelle profondeur différente de celle qui existait avant.
- Les activités humaines : le creusement de sable, pierres, de minerais dans le lit de cours d'eau, dans le bassin des lacs, etc. augmente leurs profondeurs.

N.B. : les sources les plus importantes sont les phénomènes naturels et la force de l'eau.

### **d. Importance écologique**

- Création du volume dans les milieux aquatiques : grâce à la profondeur, la masse d'eau à un volume.
- Augmentation de la zonation: augmentation des zones habitables par les organismes (zone profonde).
- Diversification de la biocénose: grâce à la profondeur, il y a des organismes adaptés à la vie profonde, loin de la lumière (ces organismes sont appelés organismes profonds).

- Augmentation de la productivité primaire : grâce à la profondeur, la production primaire se réalise non seulement horizontalement, mais également verticalement.
- Augmentation de la pénétration de divers facteurs dans les milieux aquatiques. Ex : la température de l'air, la lumière, les gaz dissous atmosphériques.

#### e. Variations

La profondeur des eaux douces varie d'une eau à l'autre, d'un moment à l'autre, d'un coin à l'autre.

- Les variations d'une eau à l'autre sont des variations en fonction des origines des eaux et des facteurs influençateurs (les causes).
- Les variations d'un moment à l'autre sont des variations qui se font dans une même eau en fonction des saisons : exemples, en saison des pluies qui correspond à la période de crue, la profondeur est maximale et en saison sèche qui correspond à la période d'étiage, la profondeur est minimale. La pluie augmente donc la quantité d'eau dans les eaux naturelles (crue=augmentation de la hauteur d'eau ; étiage = diminution de la hauteur d'eau).
- Les variations d'un coin à l'autre sont des variations en fonction de la section, dont il existe deux types : la section régulière et la section irrégulière.
  - Ainsi :
  - Dans une section régulière, la profondeur est maximale au milieu de la section et minimale dans les berges,
  - Dans une section irrégulière, la profondeur est maximale dans une berge et minimale dans l'autre berge (section régulière= section avec les deux berges égales ; section irrégulière = une section avec les berges inégales).

#### f. Dangers

En cas des valeurs élevées, il y a les dangers ci-après :

- La création d'une stratification verticale permanente à cause des gradients de la salinité, la densité, etc. La stratification empêche les contacts entre la surface et la profondeur, donc l'homogénéisation des facteurs physiques, chimiques des eaux douces. Ceci crée deux grandes zones : une zone

habitable par les animaux, par exemple et une zone non habitable par les animaux.

- L'accumulation des déchets toxiques ou non toxiques dans le fond sans aucune chance d'être retournés en surface.
- La répartition inégale de la lumière avec comme corollaire, la création des deux zones, à savoir : une zone photique et une zone aphotique. Cette différence influence grandement la productivité primaire du milieu aquatique.
- La noyade des organismes non adaptés : une personne qui ne sait pas nager par exemple.

**g. Liaisons avec d'autres facteurs**

- La profondeur est en relation avec la nature de fond : en effet, là où elle est élevée, le fond est de type meuble : fond argileux, limoneux, sablonneux (le courant doit être lent) ; là où elle est faible, le fond est de type érodé : fond caillouteux, rocher ou gravier (le courant doit être fort).

**4/ Autres caractéristiques** : longueur, largeur, volume, surface. Pas des données disponibles.

**5/ Annexes** : quelques caractéristiques morphologiques des lacs de plus de 1.000 km<sup>2</sup> de surface. (Schwoerbel, 1987)

Noms	Continents	Surfaces (en km <sup>2</sup> )	Profondeurs maximales (en m)	Volumes (en km <sup>3</sup> )
Caspia Sea	Asie	436400	946	79319
Lac Supérieur	Amérique du Nord	83300	307	12000
Lac Victoria	Afrique	68800	79	2700
Aral Sea	Asie	62000	68	970
Lac Huron	Amérique du Nord	59510	223	4600
Lac Michigan	Amérique du Nord	57850	265	5760
Lac Tanganyika	Afrique	34000	1470	23100
Lac Baïkal	Asie	31500	1620	23000
Lac Malawi	Afrique	30800	758	8400
Lac Slave	Amérique du Nord	30000	614	7000
Lac Bear	Amérique du Nord	29500	137	-
Lac Erie	Amérique du Nord	25300	64	470
Lac Winning	Amérique du Nord	24530	19	3100
Lac Ontario	Amérique du Nord	18760	223	1720
Lac Ladogo	Europe	18734	250	920
Lac Balkhash	Asie	17575	27	112
Lac Chad	Afrique	16500	12	24
Lac Onega	Europe	16500	124	300
Lac Rudolf	Afrique	8600	73	360
Lac Nicaragua	Amérique Centrale	8400	91	80
	Afrique	8300	74	165

Lac Volta	Amérique du Sud	8400	281	893
Lac Titicaca	Asie	6200	702	1732
Lac Issyk kul	Europe	5570	89	180
Lac Varern	Afrique	5364	93	167
Lac Kariba	Afrique	5340	48	140
Lac Albert	Europe	2276	13,4	2,1
Lac Peipus	Afrique	2700	489	538
Lac Kivu	Europe	1888	113	72
Lac Vattern	Europe	1163	64	10
Lac Mälaren				
Volume total de tous les lacs :				
			280000	
Lacs d'eaux douces :				
Réservoirs :				
			150000	
Lacs salés :				
			5000	
			125000	
Volume entrant dans le cycle hydrologique				496 Km <sup>3</sup> /an

## e) Mouvements des eaux douces

### 1/ Définition

Les mouvements des eaux douces sont des formes de mobilité des molécules d'eau dans ces milieux aquatiques.

### 2/ Types

Il existe trois types de mouvement des eaux douces, à savoir :

- Le courant
- La circulation
- La vague

#### a/ Le courant

##### 1. Définition :

Le courant d'une eau est un écoulement de ces molécules dans une direction bien déterminée (direction amont-aval).

L'amont : c'est le côté où vient l'eau et l'aval, le côté où l'eau va

## 2. Permanence

Le courant est en général permanent dans les eaux courantes : ces eaux sont aussi appelées : « milieux lotiques, exemples : rivières, ruisseaux, fleuves, sources rhéochènes ».

Il est momentané ou absent dans les eaux calmes (milieux lenticques, exemples : lacs, marais, étangs).

## 3. Sources

Elles sont nombreuses :

- La pente  
Celle-ci crée l'écoulement par gravitation : cas des rivières, ruisseaux, sources rhéochènes, etc.
- Les vents forts  
Ceux-ci, génèrent généralement le courant en surface des eaux calmes (ex : lacs), augmentent ou réduisent le courant dans les eaux courantes (ils augmentent lorsqu'ils viennent dans le même sens que lui ; ils le diminuent en cas contraire).
- Les déversements  
Lorsqu'une eau se jette en dehors de son lit, de son bassin, il crée un cours d'eau qui a déjà un courant lié à l'ampleur du phénomène de déversement. Il en est de même de cours d'eau qui entrent dans d'autres eaux.
- La pluviosité  
Les pluies engendrent des ruissellements en surface qui sont les eaux avec un certain courant dépendant du débit et de la pente.
- Le tectonisme  
Les tremblements de terre de grandes magnitudes dont les épices sont situés dans le bassin du milieu aquatique secouent l'eau et peuvent lui donner une direction d'écoulement. Ils peuvent donc générer un courant.

## 4. Importances écologiques

- La distinction entre les eaux courantes et les eaux calmes. En effet, les eaux courantes ont généralement un courant alors que les eaux calmes n'en ont pas, sauf quelques fois.
- La création des conditions de vie des organismes dits rhéophiles, c.-à-d., les organismes aimant le courant. Le courant permet donc leur respiration, alimentation, évacuation des déchets, reproduction, etc.
- L'aération du milieu aquatique : en effet, le courant agite les molécules d'eau, brasse les masses d'eau superficielles et profondes et ceci engendre la dissolution des gaz, solides atmosphériques. D'où l'aération des milieux aquatiques (apport en oxygène).

## 5. Paramètre le plus important : c'est la vitesse du courant

### a. Raison :

Elle permet d'apprécier le courant (c'est donc un bon indicateur du courant)

Exemples :

- lorsque la vitesse = 0 m/s, le courant n'existe pas : c'est le cas des eaux calmes
- Lorsqu'elle est différente de 0 m/s : le courant existe : cas des eaux courantes.
- Lorsqu'elle est supérieure à 0,75 m/s, le courant est rapide  
Lorsqu'elle est égale ou inférieure à 0,75 m/s, le courant est lent.

## 6. Variations

La vitesse du courant varie et cela en fonction de plusieurs facteurs :

- Les saisons
- La profondeur
- La section du cours d'eau
- Le relief (pente)

**Les variations en fonction des saisons** sont des variations dues à la pluviosité qui augmente le débit. On remarque que :

- La vitesse est maximale en saison de pluie qui correspond à la période de crue, donc du débit élevé.
- Elle est minimale en saison sèche qui correspond à la période d'étiage ou de débit faible.

**Les variations en fonction de la profondeur** montrent que la vitesse est maximale à 20 % de la profondeur et minimale ou nulle sur le fond. La réduction de la vitesse sur le fond est due au frottement des molécules d'eau avec les éléments du fond, ce qui empêche à l'eau de s'écouler normalement. La non obtention de la valeur maximale en surface est due au frottement avec l'air qui crée une résistance à l'écoulement normal et d'autres facteurs tels que la végétation superficielle

**Les variations en fonction de la section** sont maximale dans la berge la plus profonde et minimale dans la berge la moins profonde.

Les variations en fonction de la section dépendent des types de cette dernière :

- Dans une section régulière, la vitesse est maximale au milieu où on a la profondeur élevée et minimale dans les berges où la profondeur est faible.
- Dans une section irrégulière, la vitesse est maximale dans la berge la plus profonde et minimale dans la berge moins profonde.

## 7. Liaisons avec d'autres facteurs

- a. **Le courant est en relation avec la nature de fond** : le courant est rapide là où le fond est érodé (fond caillouteux, rocher). Le courant est lent là où le fond est contraire, c'est-à-dire un fond meuble (fond vaseux, sablonneux, etc.).

Les relations entre le courant et le fond s'expliquent par le fait que les fonds observés dans les milieux aquatiques sont les restes de fond soumis à l'action du courant. Le courant fort, par exemple, exporte toutes les petites particules telles que la vase, le sable, le limon et laisse en place les cailloux, les rochers. Le courant lent, laisse en place tout : le vase, le sable, le limon, etc. Ceux-ci s'accumulent. D'où leur prédominance.

- b. **Le courant est aussi en relation avec les faciès** : le courant est rapide dans un faciès lotique, c'est-à-dire un tronçon de cours d'eau où les molécules d'eau sont agitées. A cet endroit, l'eau fait beaucoup de bruit (on peut dire que l'eau chante). Ce bruit est dû à la collision des molécules d'eau contre le fond des milieux aquatiques (notamment, les cailloux, rochers). En principe, dans ce faciès, la profondeur est faible, le fond est érodé.

Le courant est lent, par contre, dans le faciès lentique, c'est-à-dire un tronçon de cours d'eau où les molécules d'eau sont calmes et l'eau ne fait pas de bruit. Son fond est meuble et la profondeur est grande.

**Attention** : dans cet endroit, le risque de noyade est grand. D'où l'adage : méfiez-vous des eaux calmes.

## 8. Dangers

En cas des valeurs élevées, les dangers du courant les plus importants sont les suivants :

- **la dérivée des organismes non adaptés** : celle-ci est un transport obligé des organismes sous l'effet du courant.
- **La blessure, la cassure des organismes non adaptés.**

## 9. Exemples d'adaptation des organismes au courant :

- Se mettre à l'abri du courant fort (quitter l'eau quand le courant fort règne).
- Vivre caché sous les pierres, cailloux, sous les débits végétaux du fond.
- S'accrocher fort, par encrages, fils, pour ne pas être emporté par le courant.

## b/ Circulation

### 1. Définition :

La circulation est la rotation des molécules d'eau entre le fond et la surface (ainsi, les molécules de la surface vont en profondeur et celles de la profondeur viennent en surface).

## **2. Sources**

**Ce sont des facteurs exogènes (extérieurs au milieu aquatique) tels que :**

- Les vents forts attaquent la surface des milieux aquatiques,
- Les attractions lunaires sur le milieu aquatique,
- Les mouvements tectoniques puissants provoquent suffisamment l'inclinaison du milieu aquatique.

## **3. Importances écologiques:**

- Le brassage des masses d'eau profondes et superficielles (le brassage est un mélange). Ce processus favorise l'oxygénation des milieux aquatiques profonds.
- L'homogénéisation des facteurs physiques et chimiques entre les eaux profondes et superficielles. Ceci est un moyen naturel de rééquilibrer les facteurs physiques, chimiques dont la température, des gaz dissous, les substances solides, etc.

## **4. Dangers**

Il existe deux sortes de danger, à savoir : les dangers pour les milieux aquatiques eux-mêmes et les dangers pour l'environnement terrestre du milieu aquatique

### **a. Dangers pour les milieux aquatiques eux-mêmes**

Le danger principal pour les milieux aquatiques eux-mêmes est :

- La remise en surface des substances dangereuses telles que le CO<sub>2</sub>, le H<sub>2</sub>S, le CH<sub>4</sub> ou des substances eutrophiantes telles que le PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> du fond (ou de la profondeur).

En effet, les substances dangereuses ainsi présentes, lorsqu'elles sont en concentrations élevées, peuvent provoquer divers dégâts dans le milieu aquatique. Par exemples,

- Le CO<sub>2</sub> (à égal ou plus de 15 % dans l'air) va asphyxier les animaux aérobies en surface,
- Le CH<sub>4</sub> (à au moins 5 % dans l'air) va exploser, tuant ainsi beaucoup d'êtres vivants en surface
- Le H<sub>2</sub>S va irriter les voies respiratoires, les yeux ou la peau des organismes.

Les substances eutrophiantes, lorsqu'elles sont en concentrations élevées (mg/l), vont polluer inorganiquement le milieu aquatique. Cette pollution par les substances eutrophiantes est appelée « **eutrophisation** ».

**En principe**, l'eutrophisation engendre beaucoup des conséquences néfastes sur le milieu aquatique dont les deux principales sont les suivantes :

- La multiplication exagérée des bactéries parmi lesquelles on peut avoir des pathogènes et les non-pathogènes. Les pathogènes sont donc nocives pour la santé animale ou humaine. Les non-pathogènes sont des hétérotrophes dont les actions décompositrices vont consommer l'oxygène dissous. Ceci peut provoquer la mort des organismes aérobies dont les poissons.

N.B. : l'eutrophisation se produit occasionnellement sur nos milieux aquatiques : le lac Kivu, le lac Tanganyika. Cela fait peur à la population. Il est interdit d'utiliser l'eau des lacs au moment de l'**eutrophisation**.

- La multiplication exagérée des algues unicellulaires parmi lesquelles, il y a des toxiques et de non-toxiques. Les toxiques sont nocifs pour les consommateurs animaux ou humains. La masse de toutes ces algues en surface va former un écran contre la pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui va influencer négativement la productivité primaire dans l'ensemble du milieu aquatique.

#### **b. Dangers pour l'environnement terrestre du milieu aquatique**

Le plus grand danger est l'échappement éventuel des substances dangereuses volatiles telles que le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub>, le H<sub>2</sub>S rendues en surface vers l'atmosphère. Si cela arrive, c'est la catastrophe : en effet,

- Le CO<sub>2</sub> va asphyxier les animaux dans l'environnement immédiat et en distance, car le CO<sub>2</sub> est plus lourd que l'air et monte donc lentement dans l'atmosphère.
- Le CH<sub>4</sub>, va exploser et brûler tout sur son passage en route derrière le CO<sub>2</sub>
- Le H<sub>2</sub>S, va irriter les animaux, qui peuvent échapper aux attaques de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>.

### **5. Variations**

La circulation varie d'une eau à l'autre : ces variations sont dues à la combinaison de plusieurs facteurs dont :

- La profondeur
- L'état stratifié ou non
- Les saisons
- Les facteurs exogènes
- Etc.

Ainsi, par exemples :

- Dans les eaux tropicales, la circulation a lieu en toutes les saisons et à des moments différents dans chaque saison
- Dans les eaux tempérées, la circulation a lieu en deux saisons : en Automne et au Printemps. Ces circulations sont appelées « circulation automnale et circulation printanière ». La circulation n'a pas lieu en Hiver et en Été. Ces périodes sont appelées « les stagnations hivernale et estivale ».
- Dans les eaux polaires, la circulation a lieu une à seule période : la période de lumière.
- Dans certaines eaux peu profondes et non stratifiées, la circulation est complète : les molécules d'eau rotent entièrement entre la surface et le fond.
- Dans certaines eaux profondes et stratifiées en permanence, la circulation est incomplète ou irrégulière : la circulation se passe seulement dans la partie non-stratifiée du milieu aquatique ou échoue en chemin.
- Dans d'autres eaux, il n'a pas de circulation.

## **6. Importance limnologique scientifique : c'est classification des lacs en fonction de la circulation**

Il existe plusieurs classifications

### **1. Classification selon la fréquence de la circulation**

**On distingue** trois types de lacs : les lacs monomictiques, les lacs dimictiques et les lacs polymictiques .

- **Lacs monomictiques : lacs avec seule circulation par an. Ex. : lacs polaires**
- **Lacs dimictiques : lacs avec deux circulations par an. Ex. : lacs tempérés avec une circulation au printemps (circulation printanière) et une circulation en**

autonome (circulation autonome). Il y a des eaux (stagnation hivernale et stagnation estivale).

- Lacs polymictiques : lacs avec plusieurs circulations par an. Ex. : lacs tropicaux. (cas des lacs Kivu et Tanganyika).

## **2. Classification selon la nature de la circulation**

On distingue trois types des lacs : lacs anamictiques, lacs oligomictiques et lacs méromictiques.

- Lacs anamictiques : lacs sans circulation, lacs avec stagnation permanente : lacs très stratifiés (de la surface jusqu'au fond). Ex. :
- Lacs oligomictiques : lacs avec circulation faible et irrégulière. Ce sont des circulations qui échouent en chemin. Ex. :
- Lacs méromictiques : lacs avec circulation partielle (circulation superficielle uniquement) ex. : lac Kivu.

## **3. Classification selon les deux critères combinés (nature-fréquence).**

Ex. :

- Lacs monomictiques oligomictiques,
- Lacs monomictiques méromictiques,
- Ex. :
- Lacs dimictiques oligomictiques,
- Lacs polymictiques oligomictiques
- Lacs polymictiques oligomictiques
- Lacs polymictiques méromictiques
- Lacs polymictiques normaux.

## **c/ Vague**

### **1. Définition**

La vague est un mouvement ondulatoire des molécules d'eau en surface ou en profondeur.

### **2. Sources**

Les sources de la vague (c'est-à-dire, les facteurs causaux) sont généralement des facteurs exogènes du milieu aquatique et qui sont essentiellement :

- Les vents forts soufflant à la surface du milieu aquatique.
- La pression atmosphérique qui augmente ou diminue en surface des eaux douces
- Les mouvements des embarcations
- Les mouvements tectoniques

### **3. Importance écologique**

- l'aération du milieu aquatique due à l'agitation des molécules ou des masses d'eau en surface
- Le brassage des masses d'eau superficielles et profondes : ceci occasionne l'homogénéisation des facteurs physiques ou chimiques aux niveaux où se produit la vague.

### **4. Dangers**

Les dangers majeurs de la vague sont trois :

- L'érosion côtière dans le bassin du milieu aquatique
- La dérive des organismes vivants ou des êtres inertes du milieu aquatique vers l'extérieur ou en profondeur de celui-ci. A ces endroits, les conditions de vie ne sont plus favorables (la dérive est le déplacement obligé d'un organisme ou d'un objet vers une destination inconnue).
- Les accidents de navigation : le cas de naufrage des embarcations et de noyade des hommes dans les milieux aquatiques.

### **5. Synonymes**

La vague est aussi appelée « onde ou seiche ».

### **6. Occurrence**

La vague se produit tant dans les eaux calmes que dans les eaux courantes.

### **7. Parties**

8. La vague a deux parties, à savoir : le ventre et le nœud.

Le ventre est le creux de la vague et le nœud, son sommet.

### **9. Classifications de la vague**

Il existe trois classifications de la vague, à savoir :

- La classification basée sur le nombre de nœuds,
- La classification basée sur la position de la vague et
- La classification basée sur les deux critères combinés.

#### **Classification 1**

Selon cette classification, on distingue deux types de vague : la vague uninodale et la vague plurinodale.

La vague uninodale est une vague avec un seul nœud et deux ventres,

La vague plurinodale est une vague avec plusieurs nœuds et donc plusieurs ventres.

#### **Classification 2**

Selon cette deuxième classification, Il existe aussi deux types de vague. Il s'agit de vague superficielle et de vague profonde.

La vague superficielle est une vague qui se produit en surface du milieu aquatique. Elle est aussi appelée « vague supérieure ».

La vague profonde est une vague qui se produit en profondeur du milieu aquatique. Elle est aussi appelée « vague inférieure ».

### **Classification 3**

Selon la troisième classification, qui est en fait la combinaison des deux premières, on distingue 4 types de vague :

- La vague uninodale superficielle,
- La vague uninodale profonde,
- La vague plurinodale superficielle et
- La vague plurinodale profonde.

#### **f) Nature de fond**

##### **1/ Définition**

La nature de fond des eaux douces est la nature des éléments géologiques qui composent leurs fonds.

##### **2/ sources**

Les sources de la nature de fonds sont diverses. On peut citer :

- La géologie locale : ceci est lié à la roche-mère présente dans le bassin du milieu aquatique et qui libère les différentes particules.
- Le transport actif par les eaux adjacentes : ceci implique les éléments minéraux fins tels que le sable, le vase, etc. emportés par le courant aquatique, celui des eaux de ruissellement.
- Les rejets par l'homme : les masses de terre ou de sable que l'homme jette dans le milieu aquatique ou ses environs.

##### **3/ importance écologique**

- Réglementation naturelle de la distribution des organismes vivants aquatiques benthiques : certains organismes vivent sur le sable, d'autres sur la vase, etc. selon leur mode de vie.
- Réglementation naturelle des formes adaptatives des organismes cités ci-dessus.

##### **4/ Dangers**

### **Le plus grand danger de la nature du fond :**

- Piégeage de certains éléments chimiques ou complexes chimiques :  $Ca^{++}$ ,  $PO_4^{---}$ . Ceci appauvrit le milieu aqueux du milieu aquatique et peut entraîner la perte de productivité du milieu aquatique.

### **5/ Variations**

La nature de fond varie en fonction du parcours du milieu aquatique :

- Dans le faciès lotique, le fond est érodé
- Dans le faciès lentique, le fond est meuble.

Ces variations sont dictées par le courant.

### **6/ Types du fond**

Selon la granulométrie des éléments du fond, on distingue deux types de fond, à savoir : le fond meuble et le fond érodé.

Le fond meuble est un fond composé de sable, argile ou vase. Il est souvent rencontré dans le faciès lentique des eaux courantes ou dans la profondeur des eaux calmes. Il est lié à la présence d'un courant faible ou nul, incapable de les transporter ailleurs.

Le fond érodé est un fond formé des cailloux, graviers ou rochers trouvés dans ces milieux. Ce sont des éléments géologiques ayant résisté à la force du courant rapide.

Ici, on peut évoquer aisément qu'il existe une relation étroite entre la vitesse du courant et la nature du fond.

### **7/ Mesures**

Méthodes granulométriques : méthodes basées sur la taille des particules.

### **h) Zonation**

#### **1/ Définition**

La zonation des eaux douces est la répartition naturelle de ces milieux en zones écologiques (zones habitables) selon la profondeur, la largeur ou longueur.

#### **2/ Sources**

- Phénomènes naturels : le relief, les facteurs créant le bassin hydrographique, la précipitation, le courant, etc.
- Activités humaines

### 3/ Importance écologique

- Détermination de la distribution équilibrée de la biocénose aquatique,
- Détermination de la distribution des facteurs physico-chimiques.

### 4/ Dangers

Les dangers de la zonation sont nombreux :

- Le piégeage de certains éléments chimiques indispensables dans une zone : ceci provoque donc son appauvrissement dans une ou d'autres zones où ils seraient imposants.
- L'accumulation de substances toxiques ou dangereuse dans certaines zones : ceci constitue un risque réel pour les autres zones ou le milieu terrestre environnant (cas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.).
- L'inaccessibilité de certains organismes vivants importants tels que les poissons cachés dans certaines zones (ex. : zones profondes).

### 5/ Variations

**La zonation des eaux douces varie d'une eau à l'autre.**

#### 1. Cas des eaux calmes profondes

Dans les eaux calmes telles que le lac, la zonation s'établit horizontalement et verticalement.

**Lorsque la zonation s'établit horizontalement**, c'est-à-dire, en allant d'une extrémité vers une autre, en passant par le centre du milieu aquatique, on distingue deux zones distinctes, à savoir :

La zone littorale et la zone pélagique

Ces deux zones sont différentes selon leurs positions, profondeurs, végétations et leurs organismes autres que la végétation.

La zone littorale est la zone de bordure. Elle est peu profonde (maximum 10 m). Elle est colonisée par une ceinture végétale composée des phanérogames fixées et non fixées.

Elle a une largeur moyenne de 10 m. Mais cette valeur est souvent controversée à cause de difficulté liée à son estimation.

La zone pélagique est la zone de large ou d'eau profonde. Elle a une grande profondeur. Elle est colonisée par les macrophytes flottants et le phytoplancton. Elle est aussi appelée « zone limnétique ». Elle a une largeur déterminée par la différence entre le diamètre du bassin et la largeur de la zone littorale.

**Lorsque la zonation s'établit verticalement**, c.- à- d. de la surface vers la profondeur, on distingue deux zones distinctes, à savoir : la zone superficielle et la zone profonde.

Ces deux zones sont différentes selon leurs positions, profondeurs, expositions à la lumière solaire, etc.

La zone superficielle est la zone supérieure et photique. Elle va de la surface jusqu'à une profondeur où la lumière solaire arrive.

La zone profonde : est la zone inférieure et aphotique (obscur), où s'accumulent les sédiments et débris animaux et végétaux morts. Elle va donc de là où s'arrête la lumière jusqu'au fin fond du milieu aquatique

## **2. Cas des eaux calmes peu profondes (ex. : étangs)**

Ici, la zonation complète est toujours difficile à établir à cause des faibles profondeurs et taille. Ainsi, la zonation des ces milieux comprend une seule zone horizontale (c'est la zone littorale) et une seule zone verticale (c'est la zone superficielle). Horizontalement, on considère la zone littorale à cause de la ressemblance de ces milieux (étangs) avec la zone littorale des lacs.

Verticalement, on considère aussi une seule zone : zone superficielle à cause de la ressemblance de cette zone avec celle des milieux calmes profonds.

## **3. Cas des eaux courantes**

Dans les eaux courantes, la zonation s'établit horizontalement seulement, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval. On a donc trois grandes zones distinctes : le rhitron , le potamon et le crenon. Ces milieux sont différents entre eux selon leurs positions, profondeurs, nature de fond, vitesse de courant.

- Le crénon est la zone de source de cours d'eau. Il a un courant très lent.
- Le potamon est la zone à eau calme, à grande profondeur et généralement à fond meuble. Bref, c'est le faciès lentique du courant d'eau.

N.B. : Un cours d'eau peut avoir un ou plusieurs potamons.

- le rhitron est la zone d'embouchure ou toute autre zone à eau agitée, à fond érodé et à faible profondeur. Bref, le faciès lotique est le rhitron du cours d'eau. Un cours d'eau peut avoir un, deux ou plusieurs rhitrons.

## **g) Lumière dans l'eau**

### **1/ Définition :**

La lumière dans l'eau est l'ensemble de toutes les lumières qui atteignent la masse d'eau et celles qui y sont produites.

### **2/ Sources**

Les sources de la lumière dans l'eau sont nombreuses. On peut citer :

- Le soleil : la lumière solaire est la source principale
- Les lampes autour du milieu aquatique ou sur le milieu : ex. : lampes de pêcheurs, les phares des embarcations, les lampes des maisons environnantes (sources secondaires).
- Les organismes bioluminescents (insectes aquatiques,...) (source secondaire).
- La lune (source secondaire).

### **3/ importance écologique**

- Participation dans le processus de la photosynthèse dans le milieu aquatique.
- Eclairage dans l'eau : cet éclairage permet la vue, les contacts entre congénères, partenaires sexuels ou autres et la reconnaissance des biotopes.
- Chauffage des molécules d'eau et des particules présentes dans le milieu aquatique : ceci rend l'habitat aquatique favorable à la vie.

### **4/ Dangers**

- Facilitation de la prédation : en effet, la lumière attire généralement tous les animaux en général. Les prédateurs profitent alors de la concentration des proies autour de la lumière ou dans la zone lumineuse pour les localiser facilement et les manger ou capturer en abondance.  
N.B. : la pêche sous éclairage est toujours profitable aux pêcheurs

### **5/ Variations**

Elles sont diverses.

La lumière dans les eaux douces varie en fonction de la position géographique (la latitude) :

- Elle est maximale dans les eaux équatoriales et minimales dans les eaux polaires.
- Exemple :

- Variation de l'irradiante solaires directes et de la radiation diffuse en fonction de la position du soleil.

Position solaire (en °)	Irradiante solaire directe en %	Radiation de flux (en %)
2	80	-
5	58	17
10	35	15
15	21	14
20	13	13
30	5,9	11
40	3,4	9,8
50	2,1	8,0
60	2,1	7,4
70	2,1	7,1
80	2,1	-
90	2,1	-

**La lumière dans les eaux douces varie aussi en fonction de la photopériode :**

- Elle est de 12 heures dans les eaux tropicales,
- Elle est de 12 heures et plus dans les eaux tempérées et
- Elle est de 6 mois continus dans les eaux polaires.

**La lumière solaire varie de même en fonction de la profondeur :** ces variations touchent à la fois la radiation lumineuse et l'intensité lumineuse.

La radiation lumineuse est l'ensemble des spectres qui composent la lumière solaire et qui sont répartissables en deux groupes: les spectres visibles et les spectres invisibles.

Les visibles sont le violet, le bleu, le vert, le jaune et le rouge.

Les invisibles sont l'ultra violet et l'infra rouge.

L'intensité lumineuse est l'énergie que la lumière contient dans l'ensemble des spectres et qui est souvent exprimée en termes de chaleur stockée dans les spectres.

**Constats :**

**L'énergie lumineuse solaire diminue avec l'augmentation de la profondeur :** elle est donc maximale en surface et minimale ou nulle en profondeur (cette profondeur peut être celle du fond si l'eau douce est peu profonde ou d'un point profond quelconque si elle est profonde). **La conséquence de ces variations est la création des deux zones de chaleur dans le même milieu aquatique : la zone supérieure chaude et la zone inférieure froide.**

## **La radiation lumineuse solaire diminue sélectivement avec l'augmentation de la profondeur:**

- D'abord, le nombre de spectres est maximal de 8 en surface et minimal de 2 en profondeur.
- Ensuite, les types de spectres varient aussi :  
En surface, on a tous les spectres : les UV, V, B, V, J, O, R, IR.  
En zone intermédiaires, on a tous les spectres moins les UV et IR qui ont disparus (ont été absorbés) dans les premiers mètres de profondeur et  
En zone profonde, on a seulement les B et V. Ce sont en fait les deux spectres qui confèrent leurs couleurs à l'eau. Les autres spectres sont absorbés au cours du trajet.
- Enfin, si l'eau est profonde, la radiation lumineuse solaire (et même son énergie) n'atteint jamais le fond. Il se crée alors deux zones, à savoir: une zone photique et une zone aphotique. Les deux zones sont séparées par un plan imaginaire appelé « plan de compensation »

### **La zone photique :**

C'est la zone superficielle éclairée par la lumière solaire. Elle est aussi appelée « zone éclairée ». Elle est le siège de la photosynthèse et la respiration : les deux processus s'y déroulent. Mais la photosynthèse est supérieure à la respiration. D'où, on a toujours un gain d'oxygène dans cette zone et qui peut diffuser dans l'autre zone (zone aphotique).

### **La zone aphotique**

C'est La zone non éclairée (une zone où la lumière n'arrive jamais. Elle est aussi appelée «zone sombre ou obscure » pour les raisons ci-dessus évoquées. Elle est située en dessous du plan de compensation dans la profondeur du milieu aquatique. Elle est le siège de la respiration seulement quand la photosynthèse est inexistante faute de lumière.

La respiration qui s'y déroule emprunte l'oxygène de la zone photique. Le déficit en oxygène peut s'y produire si la respiration est intense.

### **Le plan de compensation**

C'est la petite zone située à l'interface des deux zones précédentes (zones photique et aphotique). Elle est le siège des trois processus : la photosynthèse, la respiration et l'atténuation de la lumière. Mais, la photosynthèse est égale à la respiration : c.-à-d. l'oxygène produit par la photosynthèse est entièrement consommé par la respiration.

## 6/ Phénomènes modificateurs.

### a. Définition

Les phénomènes modificateurs de la lumière sont des phénomènes optiques qui affectent la lumière solaire ou autre qui est en contacts avec le milieu aquatique et qui influence son énergie et sa radiation.

### b. Phénomènes concernés

Il s'agit de :

- Réflexion,
- Absorbation,
- Transmission (réfraction).

En gros : la lumière touchant le milieu aquatique **se réfléchit, s'absorbe et se transmet.**

**La réflexion** : c'est le renvoi dans une autre direction la lumière reçue. Elle se fait en surface du milieu aquatique où la masse d'eau en surface et les particules se comportent comme un miroir. Elle est maximale en lumière rasante et minimale en lumière verticale.

**L'absorption** : c'est la retenue de la lumière reçue dans les diverses molécules : molécules d'eau, celles des substances dissoutes, des matières en suspensions (MES) dont le phytoplancton. Cette absorption varie d'un spectre à l'autre :

- Elle est maximale pour les spectres à grandes longueurs d'onde : jaune, orange et rouge.
- Elle est minimale pour les spectres à faibles longueurs d'onde : Bleu, Vert en particulier. C'est pour cette raison que ces deux spectres, étant les moins absorbés, atteignent les grandes profondeurs.

**La transmission (ou dispersion)** : c'est l'envoi d'une partie de lumière reçue à d'autres. Elle se fait d'une molécule à une autre. Ces molécules sont celles de l'eau, des substances dissoutes (minérales ou organiques) et des MES. La transmission se fait en déviant légèrement l'angle de lumière incidente (mais pas en ligne droite). Ce genre de transmission est appelé « réfraction » : elle approche souvent le fin fond vers la surface.

## 7. Atténuation de la lumière dans l'eau

### a. Formule

<b>Atténuation = dispersion + absorption</b>
--

Cette formule signifie que la lumière s'atténue à cause de la dispersion et de l'absorption.

## 8. Coefficient d'extinction

La lumière dans les eaux douces ou autre eau a un coefficient d'extinction.

Celui-ci peut être calculé à partir de la loi de Beer-Lambert :

$$I_z = I_0 \cdot e^{-kz}$$

Où

$I_z$  = irradiance en profondeur  $z$  ,

$I_0$  = irradiance en surface (irradiante directe ).

$Z$  = profondeur en m

$n$  = coefficient d'extinction

Le coefficient d'extinction est donc donné par la formule :

$$n = \frac{\ln I_0 - \ln I_z}{Z}$$

## 9. Conséquences de la lumière des eaux

- La couleur de l'eau,
- La transparence de l'eau

### a. Couleur de l'eau

Elle est dictée par deux facteurs :

- la qualité de la lumière disponible et transmise et
- la qualité chimique de l'eau.

Elle varie donc d'une eau à l'autre.

**1/ Cas d'un lac oligotrophe** (un lac ayant peu de matières nutritives :  $PO_4^{---}$ ), **profond, peu minéralisé et peu chargé en MES.**

**Celui-ci a généralement une couleur bleue.**

Ce bleu s'explique par le fait que le spectre dominant est le bleu et sa dispersion et transmission est en majorité facilitée par les molécules d'eau comme il y a peu des minéraux, matières en suspension, matières nutritives.

**2/ Cas d'un lac mésotrophe** (lac contenant plus des matières nutritives, des substances dissoutes et MES que le précédent) : **il a généralement une couleur verte.**

Cela s'explique par le fait que le spectre dominant est le vert et sa dispersion est facilitée par les particuliers de  $CaCO_3$  qui sont en abondance dans ces conditions.

Le spectre bleu n'existe plus ou il est peu abondant car il est absorbé au maximum par le phytoplancton pour sa photosynthèse et ce phytoplancton est abondant dans ces conditions. Les autres spectres n'existent plus étant totalement absorbés.

**3/ Cas d'un lac eutrophe** (lac très productif et très riche en substances dissoutes et MES) : **celui-ci a généralement une autre couleur : soit le jaune soit le brun pour les mêmes raisons déjà évoquées ci-dessus.**

#### **b. Transparence de l'eau**

Elle dépend de l'intensité absorbée et dispersée dans la colonne d'eau.

### **10.MESURES**

Par :

**Luxmètre** : un appareil qui mesure la radiation totale dans la masse d'eau.

**Pyrhéliomètre** : un appareil qui mesure la radiation incidente (en surface) par différence de température entre un corps clair (surface polie) et un corps noir, par thermocouple et conversion des valeurs mesurées en cal. M-2 en radiation solaire totale (300-3000 nm).

**Quant mètre** : un autre appareil ; il mesure la PAR incidente exprimé par unité de surface et par unité de temps. Le PAR est, photosynthetical active radiation en anglais ou spectre photo synthétiquement actif.

#### **h) Température de l'eau**

##### **1/ Définition**

La température de l'eau est la chaleur résiduelle dans la masse d'eau (exprimée en °C).

##### **2/ Sources**

- La température de l'air : elle est la source principale ; elle est intimement liée à la température de l'eau, elle est généralement supérieure à la température de l'eau, sauf dans les thermales.
- La température des apports internes d'eaux chaudes : cas des sources chaudes dans le bassin lacustre.
- La température des apports externes d'eaux rejetées par les centrales thermiques, la sidérurgie, les coulées de lave, etc.

##### **3/ Importance écologique**

- Gouverner les activités métaboliques, physiologiques et comportementales des organismes aquatiques et les réactions chimiques libres.

#### **4/ Dangers**

- La restriction de la croissance et de la distribution des plantes, des animaux et microorganismes aquatiques en cas des valeurs extrêmes (les valeurs extrêmes de la température de l'eau sont causées souvent par des rejets thermiques émanant des centrales thermiques et par des coulées de laves volcaniques).

#### **5/ Variations**

La température des eaux douces varie en fonction de plusieurs facteurs : les saisons, les heures du jour, les types de milieux (lotiques)/lentiques).

**a/ Concernant les variations en fonction des milieux**, il faut noter que tout dépend des milieux considérés.

**1. Dans les milieux lentiques profonds (lacs profonds)** : la température varie en fonction de la profondeur en modifiant la densité de couches d'eaux. Ce genre de variations est appelée « stratification thermique verticale.

Dans cette stratification, on distingue trois couches d'eaux de densité et température distinctes : l'épilimnion, la thermocline et l'hypolimnion.

**L'épilimnion** : est la couche supérieure d'eau chaude et de densité faible.

**la thermocline** : est la couche inférieure où la température descend en discontinue. Elle est aussi appelée métalimnion.

**L'hypolimnion** : est la couche inférieure froide et à densité élevée. La thermocline forme une barrière aux mélanges des couches épilimnion et hypolimnion. La circulation se fait uniquement dans l'épilimnion. Ajoutons que la stratification thermique n'est pas observable à tout moment dans les milieux lentiques profonds à cause des mouvements des eaux (le courant, la vague ou la circulation) qui la contrarient.

**Donc**, elle a lieu lorsque les eaux sont calmes, c'est-à-dire, eaux dépourvues de tout mouvement. Le volcanisme interne peut modifier l'allure de la stratification thermique.

Ainsi, dans les lacs dimictiques (ex. : lacs tempérés de haute attitude), on a la stratification thermique au printemps et en été : la stratification thermique est donc saisonnière. Pendant les autres saisons (hiver et automne), il n'y a pas stratification thermique à cause de circulation dominante. En automne et stagnation hivernale (eau de surface 0 °C et celle de fond 4 °C)

Dans les lacs polymictiques (ex. : lacs tropicaux, équatoriaux), on peut avoir une stratification thermique plusieurs fois au cours de l'année. Tout dépend du temps.

## **2. Dans les milieux lentiques peu profonds (lacs peu profonds, marais, étangs)**

La stratification est nulle ou temporaire. La température ne varie donc généralement pas en fonction de la profondeur.

Là où la stratification s'est produite, elle est uniquement diurne (stratification qui se développe pendant la journée).

La nuit, c'est la circulation qui prend place à cause du refroidissement en surface et de l'action du vent.

Le lac Géorges (Uganda) ou le lac Ihéma (Rwanda) sont dans ce cas-ci.

## **3. Dans les milieux lotiques**

En principe, la température ne varie pas en fonction de la profondeur. Il n'y a donc pas stratification. L'écoulement turbulent fait que le mélange des eaux soit assuré de façon permanente.

La température varie, par contre, en fonction du parcours (variations longitudinales) ou de section (variations transversales).

Ces variations peuvent être causées par le refroidissement ou échauffement liés à la distance parcourue à la source ou par des rejets thermiques aux confluences.

Dans ce dernier cas, on peut avoir des contacts entre masses d'eau de températures différentes.

Ceci va créer de différence des densités entre ces masses, ce qui va créer des hétérogénéités locales qui peuvent être longitudinales, transversales ou verticales, importantes et peuvent subsister sur des parcours assez longs.

**b/ Concernant les variations en faveur des saisons**, il faut noter que la température moyenne est plus élevée en saison des pluies qu'en saison sèche à cause des écarts entre la température maximale et la température minimale qui sont moins élevées en saison humide et plus élevées en saison sèche.

**c/ Concernant les variation en fonction des heures du jour**, il faut noter que la température de l'eau est maximale entre 14 h et 16 h et, est minimale entre 4 h et 6 h du matin.

## **6/ Classification des eaux**

La température de l'eau est utilisée comme critère pour classier les eaux douces.

Ainsi, on a 4 classes d'eau, à savoir :

- les eaux froides,
- les eaux chaudes,
- les eaux tempérées et
- les eaux thermales.

**Les eaux froides** sont des eaux ayant une température de 0° à 17 °C.,

Les eaux tempérées : sont des eaux avec une température de 18 à 29 °C,

Les eaux chaudes : sont des eaux avec une température de 30 à 40 °C,

Les eaux thermales : sont des eaux avec une température supérieure à 40 °C

## **7/ Bilan thermique**

Il est possible d'établir le bilan thermique d'une eau douce.

A cet effet, on utilise la formule suivante :

$$S = R_n - E - Q \pm H$$

Où :

R<sub>n</sub> : est l'énergie solaire reçue

E : est l'énergie perdue par évaporation

Q : est l'énergie des échanges air-eau

H : est l'énergie perdue ou reçue des apports d'eaux froides ou chaudes.

Ces énergies sont convertissables en température.

## **8/ Calcul dans les eaux courantes**

La température des eaux courantes peut être déterminée, par calcul, en fonction de la distance parcourue.

La formule utilisée est la suivante :

$$T_z = T_o + C \cdot \ln(1 + z)$$

Où :

$T_z$  : est la température à la distance  $z$  parcourue à partir de la source,

$T_o$  : est la température à la source (à l'origine),

$C$  : est une constante caractéristique du milieu considéré,

$Z$  : est la distance parcourue en m à partir de la source,

$\ln$  : est le logarithme népérien.

## 9/ Mesures :

La température de l'eau peut être mesurée à l'aide de plusieurs appareils, dont notamment :

**Le thermomètre à mercure** : attention : placer l'appareil horizontalement dans l'eau pour lecture afin d'éviter l'influence de la température de l'air.

**Le thermomètre digital** : avec sonde

**Le thermomètre couplé au conductimètre ou oxymètre.**

## I) Conductivité électrique

### 1/ Définition

La conductivité électrique d'une eau est le pouvoir de celle-ci à condition de courant électrique grâce aux électrolytes qu'elle contient.

### 2/ Sources

- Composition solaire (en sels) de l'eau : la conductivité électrique dépend des sels dissouts qui peuvent avoir plusieurs origines (décomposition de la roche-mère, sédimentation, rejets des sels, etc).

### 3/ Importance écologique

**Directe** : inconnue

**Indirecte** : la conductivité électrique permet d'apprécier les autres facteurs écologiques tels que les matières en suspension (MES), le pH et la salinité. Ainsi, les valeurs élevées de la conductivité électrique traduisent :

- des pHs anormaux
- des salinités et sédimentations élevées.

#### **4/ Variations**

La conductivité électrique varie en fonction des plusieurs facteurs dont :

- La profondeur (cas des eaux calmes)
- Le parcours du cours d'eau (cas des eaux courantes),
- La température de l'eau.

**a/Variations de la conductivité électrique en fonction de la profondeur** : celles-ci sont caractérisées par une augmentation de la conductivité électrique avec la profondeur, de la même manière que la salinité.

Elles sont présentes dans les eaux calmes profondes

Elles sont stables dans les lacs stratifiés en permanence (ex. : lac Kivu)

Elles n'existent pas dans les eaux courantes, les eaux calmes peu profondes ou les eaux calmes profondes non stratifiées en permanence. Dans ces eaux, l'écoulement des molécules d'eau ou leur circulation fréquente favorisent l'homogénéisation de la salinité entre le fond et la surface et ceci annule donc les variations de la conductivité en fonction de la profondeur.

**b/ Variations de la conductivité électrique en fonction du parcours d'eau** :

Celles-ci sont caractérisées par une augmentation de la conductivité électrique de l'amont vers l'aval à cause de l'abondance des ions transportés par le courant.

**c/ Variations de la conductivité électrique en fonction de la température** :

Celles-ci sont caractérisées par une augmentation de la conductivité électrique avec la température, de l'ordre de + 2,5 % par degré Celsius.

En effet, la température affecte la mobilité des ions, ce qui permet leur contact pour engendrer la conductivité électrique.

#### **5/ Relations empiriques avec la productivité piscicole**

Lorsque la conductivité «électrique est faible (valeurs entre 0,150 et 0,750 mS/cm) : la productivité piscicole est bonne.

Lorsque la conductivité électrique est élevée (valeurs supérieures à 3 mS/cm) : la productivité piscicole est médiocre. Dans de telles eaux, les conditions écologiques sont défavorables à la biocénose et à beaucoup d'utilisations industrielles.

## **6/ Mesures**

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un appareil appelé « conductimètre » Généralement, la trousse de cet appareil comprend une sonde de 1m de câblage qui est couplé d'une sonde de température.

**Unité :** mS/cm (m = mili, S= siemens).

## 2. LIMNOLOGIE CHIMIQUE (caractéristiques chimiques des eaux douces)

### a) Définition :

Ce sont des facteurs (ou paramètres) chimiques qui conditionnent les eaux douces (qui le rendent habitables par les êtres vivants ou non, qui les rendent utilisables ou non).

### b) caractéristiques concernées

Il s'agit de :

- Gaz dissous
- Solides dissouts
- pH et
- matières organiques

Les première, deuxième et quatrième caractéristiques sont des caractéristiques collectives (englobant deux ou plusieurs caractéristiques individuelles).

### d) Gaz dissous

#### 1/ Définition

Ce sont les gaz mélangés avec les molécules d'eau (ils restent à l'état moléculaires).

#### 2/ Gaz concernés

Il s'agit de :

- oxygène (O<sub>2</sub>)
- dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- sulfure d'Hydrogène (H<sub>2</sub>S)
- azote gazeux (N<sub>2</sub>)
- méthane (CH<sub>4</sub>)

Ce sont les 5 principaux gaz.

#### 3/ Principe de solubilité

La solubilité de gaz dissous dans l'eau obéit à la loi de Henry exprimée par la formule suivante :

$$[x] \text{ phase liquide} = [x] \text{ phase gazeuse} \times K$$

où

[ x ] phase liquide= la concentration du gaz X en phase liquide

[ x ] phase gazeux = la concentration du gaz en phase gazeux.

K = le coefficient de solubilité appelé aussi (constante de Henry »).

La concentration du gaz X en phase gazeuse peut être calculée en utilisant la formule des gaz parfaits suivante :

$$[ x ] \text{ phase gazeuse} = p X / RT$$

Où

pX= la pression partielle du gaz dans la phase gazeuse

R = la constante des gaz parfaits ; elle équivaut à 1,987 calories/mole. °C

T= la température absolue en °K (degré kelvin) avec comme correspondance

$$1 \text{ °K} = \text{°C} + 273.$$

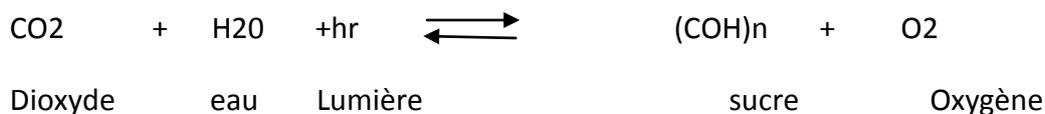
Cette concentration est donc directement proportionnelle à la pression partielle et inversement proportionnelle à la température.

#### 4/ Oxygène

##### a/ Sources

Il existe deux sources :

- La photosynthèse : source principale ; elle est éclaircie par la formule suivante :



de carbone

- Les échanges air-eau nocturnes: source secondaire ; cette source s'explique par les faits suivants:
  - La nuit, il n'existe pas de photosynthèse dans les milieux aquatiques
  - Les animaux et les micro organismes respirent et consomment de l'O<sub>2</sub>
  - Cette respiration crée un déficit en O<sub>2</sub> dans le milieu aquatique
  - L'oxygène de l'air entre donc dans l'eau pour venir combler ce déficit
  - Le jour, ce sont les échanges contraires : l'Oxygène quitte l'eau pour l'air.
- Les réactions chimiques internes : réduction du CO<sub>2</sub> magmatique :  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{O}_2$

## b/ Importance écologique

- Participation dans la respiration des organismes vivants aquatiques : les animaux (le jour et la nuit), les micro organismes (le jour et la nuit) et les plantes (la nuit seulement).

La réaction ci-après montre la place de l'oxygène dans la respiration :



- Participation dans les réactions d'oxydation chimique dans les milieux aquatiques.  
Ex. : l'oxydation du sulfure d'hydrogène.  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{--} + \text{H}_2\text{O}$

## c/ Dangers

- Toxicité sur les organismes anaérobies (ex. : les bactéries anaérobies stricts vivant en profondeur des milieux aquatiques).

## d/ Variations

L'oxygène dissous présent dans les eaux douces varie en fonction des plusieurs facteurs dont :

- Les saisons
- Les heures du jour
- La vitesse du courant
- La profondeur
- La décomposition des matières organiques (M.O)
- La respiration
- La présence des matières en suspension (M.E.S)
- La température de l'eau
- La pression atmosphérique et
- La couverture végétale.

## Exemples

### En effet,

- L'oxygène dissous est maximal en saison sèche à cause de la photosynthèse élevée due à l'éclairement intense en cette période. En plus, les vents forts fréquents favorisent l'aération élevée des milieux aquatiques.
- Il est maximal pendant les heures ensoleillées (entre 12-14h) pour les mêmes effets de la saison sèche.
- Il est maximal aux endroits aux courants rapides à cause de la ré-aération intense due à la turbulence des molécules d'eau qui augmente la solubilité de ce gaz.
- Il est maximal quand la décomposition des matières organiques est faible : cela indique que les bactéries décomposeuses, qui sont aérobies, sont en faibles quantités, d'où le gain considérable en O<sub>2</sub>.

- Il est maximal en faibles quantités de matières en suspension car les M.E.S. forment un écran considérable contre la pénétration de la lumière dans l'eau et contre les échanges air-eau. Quand elles sont en faibles quantités, la pénétration de la lumière dans l'eau et les échanges air-eau sont parfaits.
- Il est maximal à la température faible car la température élevée diminue l'oxygène dans l'eau (problème de solubilité).
- Il est maximal à pression atmosphérique élevée aussi car la pression atmosphérique augmente la solubilité de ce gaz dans l'eau.
- Il est maximal à faible couverture végétale car la couverture végétale forme un écran contre la pénétration de la lumière dans l'eau.
- Il est maximal en surface et minimal en profondeur : cela veut dire que l'oxygène dissous diminue avec l'augmentation de la profondeur. Ces variations de l'O<sub>2</sub> donnent lieu en plusieurs profils :
  - Le profil orthograde
  - Le profil hétérograde
  - Le profil déformé dans la thermocline
  - Le profil déformé dans l'hypolimnion

#### Profil orthograde

C'est une variation dans laquelle il y a une diminution linéaire de l'O<sub>2</sub> en fonction de la profondeur. C'est le cas des eaux peu profondes (lacs peu profonds) avec des hétérotrophes en toutes les couches de la profondeur. Cependant, il existe des cas où le profil orthograde se manifeste avec l'augmentation linéaire de l'O<sub>2</sub> en fonction de la profondeur. Dans ces conditions, les hétérotrophes diminuent en fonction de la profondeur. Un tel profil est appelé « *profil orthograde positif* »

#### Profil hétérograde

C'est une variation dans laquelle il y a une diminution stratifiée de l'O<sub>2</sub> de la même manière que celle de la température avec trois zones : Epilimnion, thermocline et hypolimnion.

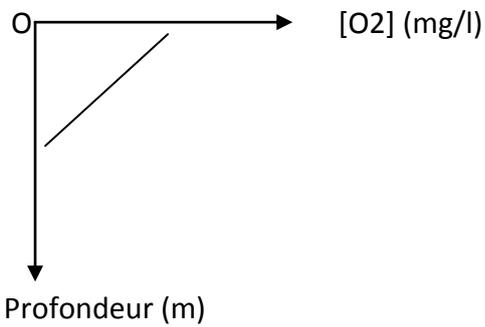
#### Profil déformé dans la thermocline

C'est un profil hétérograde dans lequel il y a une augmentation en bosse de l'oxygène dans la thermocline. Cette augmentation est anormale pour cette couche en pleine diminution. C'est le cas des eaux calmes, comme les lacs, dans lesquelles il y a injection d'eau froide très oxygénée au niveau de la thermocline.

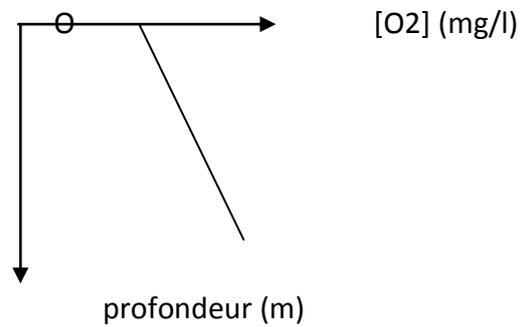
#### Profil déformé dans l'hypolimnion.

C'est aussi un profil hétérograde, mais dans lequel il y a une augmentation en bosse anormale de l'O<sub>2</sub> dans l'hypolimnion. C'est le cas des eaux calmes (lacs) dans lesquelles il y a une injection d'eau froide très oxygénée au niveau de l'hypolimnion.

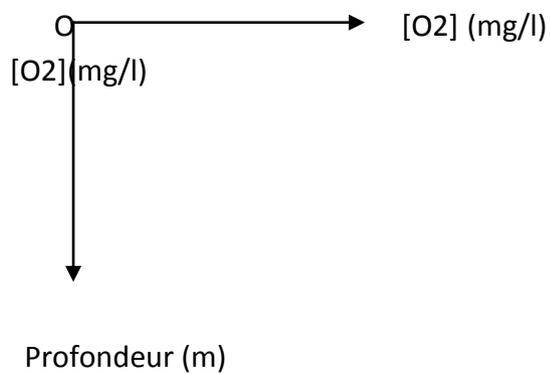
## Exemples



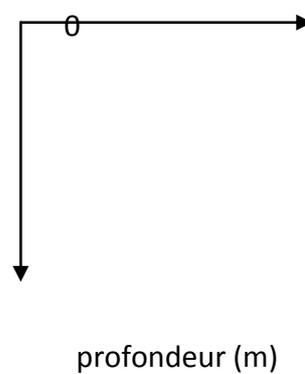
Profil orthograde



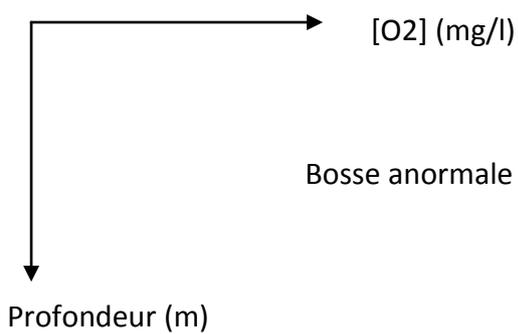
profil orthograde positif



Profil hétérograde



profil déformé dans la thermocline



Profil déformé dans l'hypolimnion

## e/ Bilan oxygénique

### 1. définition

Le bilan oxygénique (ou bilan en oxygène) est la différence entre toutes les entrées en oxygène dans les milieux aquatiques et toutes les sorties en oxygène dans ces mêmes

milieux à un moment donné. (les entrées en oxygène sont dues à la photosynthèse et les échanges air-eau et les sorties, à la respiration et les échanges eau-air).

## 2. formules utilisées

Le bilan est donné par la formule suivante :

$$\frac{dO_2}{dt} = P - R \pm D$$

Où

P= la quantité de l'O<sub>2</sub> produite par la photosynthèse,

R = la quantité de l'O<sub>2</sub> consommée par la respiration

D = la quantité de l'O<sub>2</sub> obtenue par la ré-aération (échange air-eau) ou perdue dans le transfert eau-air.

Il est positif la nuit car c'est à ce moment que l'O<sub>2</sub> de l'air entre dans l'eau pour pallier au déficit créé par l'absence de la photosynthèse et la présence de la respiration.

Il est négatif le jour car c'est à ce moment que l'O<sub>2</sub> de l'eau va dans l'air à cause de la sursaturation créé dans le milieu aquatique par la photosynthèse malgré la présence de la respiration (P>R). Il y a donc un gain en oxygène le jour.

La formule différentielle est utilisée car le bilan est instantané.

Le D (ou quantité de re-aération) peut être calculé par la formule suivante :

$$D = K_r \times [O_2 \text{ en saturation calculée} - O_2 \text{ mesuré}].$$

Où

K<sub>r</sub> = constante de ré-aération.

L'O<sub>2</sub> en saturation calculée est donné par la formule suivante :

$$O_2 \text{ en saturation (\%)} = \frac{K_1}{K_2 + T} \text{ ou } \frac{475 \text{ (gr.}^\circ\text{C.cm}^{-3}\text{)}}{33 + T}$$

Où

T= température du milieu aquatique au moment de la mesure

## f/ Mesures

Par les moyens suivants :

- La méthode classique (manuelle) de Winkler avec comme réactifs le sulfate de manganèse, le réactif de WILNKLER (NaOH, Ki), l'acide phosphorique, le thiosulfate de sodium.
- L'oxymètre : un petit appareil utilisé pour mesurer l'O<sub>2</sub> et les autres gaz dissous.

## 5/ Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

### a/ sources

- La respiration
- La décomposition des matières organiques
- La dissolution des roches carbonatées en pH acide
- Les pluies acides (riches en acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ou en CO<sub>2</sub> atmosphérique)
- Les échanges air-eau diurnes

En effet, pendant le jour, la photosynthèse se déroule dans les milieux aquatiques. Celle-ci consomme du CO<sub>2</sub> et provoque à la fin un déficit en CO<sub>2</sub> dans ces milieux malgré les apports dus à la respiration. Ainsi, pour pallier à ce déficit, il y a des échanges air-eau en CO<sub>2</sub>. La situation contraire se passe la nuit ou il y a un gain dans les milieux aquatiques (respiration opérationnelle, photosynthèse absente).

### Jour

### Nuit

Air

CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

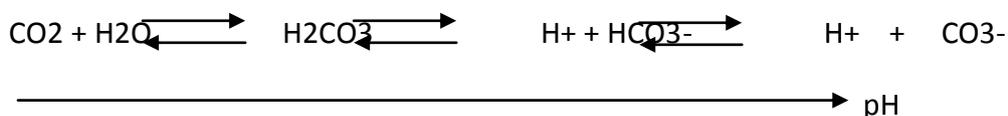
CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>

### b/ Importance écologique : double

- Le CO<sub>2</sub> intervient comme source de carbone pour la photosynthèse de certaines plantes (plantes du type Fontinalis : ex mousses).
- Le CO<sub>2</sub> intervient dans le chimisme de l'eau en participant comme élément dans le système tampon du pH (le système tampon du pH est un processus qui maintient le pH constant).

#### 1. Equation du Système tampon



où

CO<sub>2</sub> = dioxyde de carbone; il est aussi appelé CO<sub>2</sub> libre car c'est un gaz.

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = acide carbonique ; il est aussi CO<sub>2</sub> agressif car c'est un acide.

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = bicarbonate; il est aussi appelé CO<sub>2</sub> semi-combiné

CO<sub>3</sub><sup>--</sup> = carbonate ; il est aussi appelé CO<sub>2</sub> combiné.

### Constats

Le système tampon est une série des réactions équilibrées entre les différentes formes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> lui-même, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>--</sup>), les hydrogènes et l'eau.

Le CO<sub>2</sub> participe dans ce système comme un élément parmi tant d'autres.

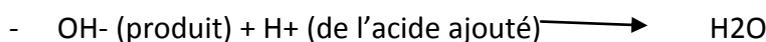
Les équilibres varient en fonction du pH.

#### 2. Réactions du fonctionnement du système

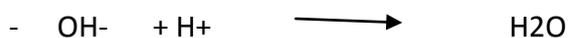
##### a. Première situation : on ajoute un acide dans le milieu aquatique

Le bicarbonate et le carbonate entrent en action

##### 1. Bicarbonate en action: deux réactions



##### 2. Carbonate en action : deux réactions



##### b. Deuxième situation : on ajoute une base dans le milieu aquatique

Le bicarbonate seul entre en action avec une seule réaction :



Conclusion: on obtient les éléments du système : donc le pH ne change pas. Autrement dit, une acidification ou basification des eaux naturelles déplace l'équilibre du système vers la gauche ou la droite, mais n'aboutit qu'à la production des formes du CO<sub>2</sub> existant dans une eau : D'où le pH ne change pas.

##### c/ Danger : un seul

- Toxicité pour les animaux car il bloque leur respiration lorsqu'il est en concentrations élevées (15% et plus ) dans le milieu ; il asphyxie donc les animaux.

#### d/ Variations

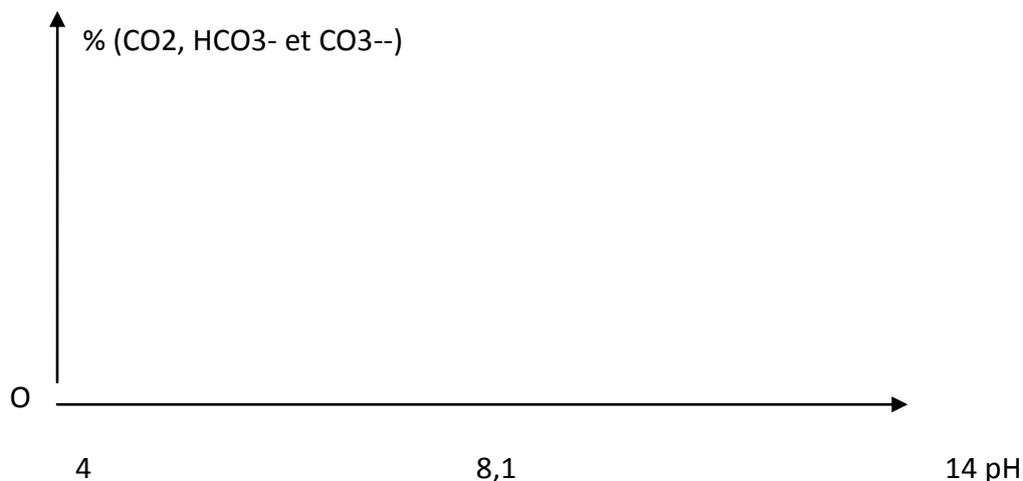
La concentration en CO<sub>2</sub> dans les milieux aquatiques varie et cela en fonction des plusieurs facteurs dont :

- Les heures du jour
- La vitesse du courant
- La profondeur
- La décomposition des matières organiques
- La photosynthèse
- Le volcanisme
- Le pH.

Les heures diurnes favorisent la consommation du CO<sub>2</sub> dans les milieux aquatiques à cause de la photosynthèse qui consomme ce gaz. Ceci diminue donc la concentration de ce gaz. Dans ces conditions, les variations journalières du CO<sub>2</sub> sont inverses à celles de l'O<sub>2</sub>.

Le CO<sub>2</sub> varie en fonction du pH. Il en est de même de ses autres formes ( HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>--</sup>).

#### Exemples



Le CO<sub>3</sub> est de 100% à pH 14 et devient nul à pH 8,1. A ce moment, le HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> est 100% et devient nul à pH 4 où il cède la place à CO<sub>2</sub>—qui règne à 100% seul.

Généralement, dans les eaux naturelles dont le pH varie entre 6 et 9, le CO<sub>2</sub> est moyen, le HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> est maximal et le CO<sub>3</sub><sup>--</sup> est moyen aussi. Du moins, les 3 formes du CO<sub>2</sub> sont présentes, mais en des concentrations variables. Il existe donc une relation entre le pH et les autres formes du CO<sub>2</sub> (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>--</sup>).

#### e) Solubilité

la solubilité du CO<sub>2</sub> dans les eaux naturelles est très faible : 0,5 mg/l à 25°C.

#### f) Importance écologique : une seule

le CO<sub>2</sub> dissous présent dans les milieux aquatiques peut être extrait pour être utilisé comme conservatif dans les industries des boissons.

#### h) Bilan en CO<sub>2</sub>

le bilan en CO<sub>2</sub> est similaire à celui d'O<sub>2</sub>.

La formule utilisée pour son calcul est la suivante :

$$\frac{dCO_2}{dt} = R - P \pm D$$

Où les termes R, P ont été définis précédemment (cfr O<sub>2</sub>).

D'après cette formule, on remarque que le bilan de CO<sub>2</sub> est complémentaire à celui d'O<sub>2</sub>.

Ici, on a R > P et D positif le jour et négatif la nuit. Alors que pur CO<sub>2</sub>, on avait P > R et D est positif la nuit et négatif le jour.

Ces variations de D sont essentiellement dues à la ré-aération diurne (échanges air-eau pendant le jour) et transfert eau-air nocturne.

#### i/ Mesures

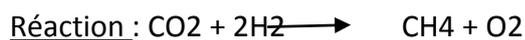
Gazomètre : petit appareil manuel permettant de mesurer le CO<sub>2</sub> et les autres gaz dissous dans les milieux aquatiques.

#### 3/ Méthane

a/ Formule : CH<sub>4</sub>

b/ Sources : Deux

- La décomposition anaérobie des matières organiques végétales ou animales dans les milieux aquatiques (source principale).
- La réduction du CO<sub>2</sub> magmatique par les bactéries méthaniques (source secondaire) :



#### Genres des bactéries concernées

- Méthanobactérium
- Méthanosaruna
- Methanobacillus
- Methanococcus.

c/ Importance écologique: une seule

- Source de carbone pour les bactéries chimio-autotrophes: chimio-autotrophes sont des organismes tirant leurs énergies de synthèse des matières organiques à partir des réactions chimiques.

d/ Danger: un seul

- Le méthane est explosif lorsqu'il est en contact avec l'atmosphère en ayant une concentration égale ou supérieure de 5%. De ce fait, il constitue un risque pour les milieux aquatiques riche en lui :

Ex. : le lac Kivu avec 50km<sup>3</sup> du CH<sub>4</sub>.

e/ Variation

Les concentrations et volumes de méthane varient en fonction des plusieurs facteurs dont la profondeur.

- La profondeur augmente l'accumulation du méthane par le fait qu'il y a son accumulation dans les zones profondes des milieux aquatiques.

N.B: le bilan est présent dans les marais, certains lacs : ex :le lac Kivu où sa formation est estimée à 46 litres/m<sup>2</sup>/an.

f/ Importance écologique: une seule

- Le méthane est une source d'énergie exploitable par la population environnante des eaux qui le contiennent.

9/ Mesures

Gazomètre : petit appareil manuel permettant de mesurer le méthane et les autres gaz dissous.

4/ Hydrogène sulfuré

a/ Sources

Deux majeures :

- Décomposition anaérobie des matières organiques soufrées par les bactéries.

Ex : protéines ou peptides

- Réduction de sulfate :  $\text{SO}_4^{--} + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$ .

#### b/ Importance écologique

Trois majeures :

- Source du nutriment soufrée (ex :  $\text{SO}_4^{--}$ ) pour les producteurs primaires.  
Ex :  $\text{SH}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SO}_4^{--} + 4\text{H}_2$
- Source d'énergie pour les bactéries chimio-autotrophes
- Source d'hydrogène et d'électron chez les bactéries photosynthétiques sulfureuses :  
Le sulfure d'hydrogène est utilisé ici à la place de l'eau pour donner des hydrogènes et des électrons au photosystème II de la phase lumineuse de la photosynthèse.

#### c/ Dangers

Deux majeures :

- Toxicité pour les animaux à pH basique irritation des voies respiratoires.
- Toxicité élevée de l'ion hydrosulfure ( $\text{HS}^-$ ) à pH acide pour les animaux aussi : l'ion hydrosulfure est généralement plus toxique que le sulfure d'hydrogène lui-même.

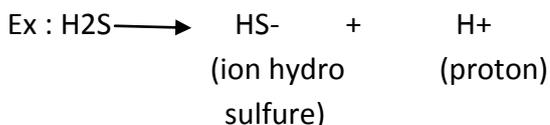
#### d/ Variations

- Variation en fonction de la profondeur : dans les eaux calmes profondes, on trouve plus d'Hydrogène sulfuré en profondeur accumulé dans la vase et le sédiment du fond.

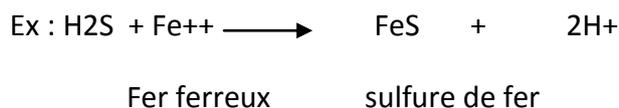
#### e/ Réactions spécifiques

##### 4 majeures

1. Ionisation spontanée à pH basique : pour donner l'ion hydrosulfure et le proton



2. Combinaison avec les métaux lourds (ex : Fe) à pH acide et en condition réductrice –  $\text{O}_2$ ) : pour donner des composés insolubles.



Le sulfure de fer insoluble précipite pour constituer la réserve de fer dans le sédiment.

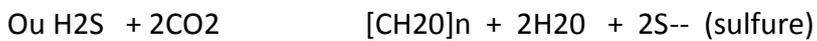
Conséquence : déferalisation du milieu aqueux.

3. Oxydation par les bactéries aérobies : pour donner le sulfate.



2 Genres de bactéries responsables : Beggiatoa et Thiothrix

4. Oxydation par les bactéries anaérobies : pour donner l'acide sulfurique ou le sulfure



1 Genre des bactéries responsables: Chromatium

5/ Azote gazeux

a/ Sources

Deux majeurs :

- Echanges air-eau (source principale) :

Atmosphère

- Dénitrification bactérienne dans l'eau

Dénitrification : Transformation de méthane en azote libre



1 Espèce de bactéries responsables: Trhiobacillus dentitrificus

b/ Importance écologique

- Source de nutriment azoté ( $\text{NO}_3^-$ ) pour les plantes : l'azote libre donne ce nutriment grâce au processus appelé : fixation (fixation biologique).

Fixation : Transformation de  $\text{N}_2$  en nitrate, nitrite ou ammonium.



Plusieurs groupes d'organismes vivants responsables :

- Algues bleues à hétérocystes : Genres : Anabaena, Aphanizomenon, Nodularia, Nestoc.
- Algues bleus cocoïdes
- Bactéries photosynthétiques : 1 seul Genre : Polodictyon

Parmi ces groupes, les algues bleues à Hétérocystes sont les plus grandes fixations du  $\text{N}_2$ , suivies des algues bleues cocoïdes.

c/ Danger

un seul majeur :

- Toxicité pour les animaux et les plantes : d'où, à cause de cette toxicité, il est habituellement fixé en  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NO}_2^-$  (nitrite) afin de diminuer sa toxicité pour qu'il soit utilisé par les plantes.

d/ Variations

cfr celles de H<sub>2</sub>S de la profondeur.

e/ Réactions spécifiques: réaction de fixation

4 étapes essentielles.

1/  $N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$  : réduction de l'Azote libre en ammoniac

2/  $NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + H^+ + \frac{1}{2} O_2$  : Ammonification, c'est-à-dire, la transformation de l'Ammoniac en ammonium.

3/  $NH_4^+ + O_2 \longrightarrow NO_2^- + 2H^+$  : nitrosation (oxydation de l'ammonium en nitrite)

4/  $NO_2^- + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow NO_3^-$  : Nitration (Oxydation de la nitrite en nitrate).