

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Djellali Bounaâma de Khemis-Miliana

جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض



Polycopié de cours Hydrobiologie

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : M1 Bioclimatologie

Présenté par :

Dr. LAAMA Chahinez

Année Universitaire

2022-2023





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعاما بخميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة والحياة و علوم الأرض

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

المجلس العلمي للكلية

Le Conseil Scientifique de la Faculté



N° : 97/UDBKM/FSNVST/PGRS/2023

Khemis Miliana, le 07/06/2023

EXTRAIT DE P.V DU CONSEIL SCIENTIFIQUE

Du 07 juin 2023

Objet : Expertise polycopié de cours

Suite à l'expertise d'un polycopié de cours de Madame **LAAMA Chahinez**, intitulé « **Hydrobiologie** » par les experts cités dans le tableau ci-dessous

Noms et prénoms	Grade	Université	Expertise
DJEZZAR Miliana	MCA	UDBKM	Avis favorable
BACHARI Nour El Islam	Professeur	USTHB	Avis favorable

Le Conseil Scientifique de la Faculté a émis **un avis favorable**.

La présidente du CSF

Dr. HALLOUZ-BELHADI BOUCHAIB F.



رئيس المجلس العلمي
إمضاء: بلحاج بوشعيب فائزة

Sommaire



Préface

Chapitre I: Rappel sur l'écologie

I. Notions générales.....	3
I. 1. Écosystème.....	3
I. 2. Espèce.....	3
I. 3. Pélagos et Benthos	3
I.4. Biodiversité (diversité biologique).....	3
I.5. Niche écologique et habitat.....	4
I.6. Richesse spécifique	4
I.7. Biomasse	4
I.8. Facteurs écologiques	4
I.9. Organismes vivant dans les écosystèmes aquatiques.....	5
Quiz.....	6

Chapitre II: Paramètres physicochimiques de l'eau

II.1. Etude des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	7
II.1.1. Paramètres physiques	7
a) Température de l'eau	7
b) Transparence et couleur de l'eau	8
II.1.2. Paramètres chimiques de l'eau	9
a) Potentiel d'hydrogène (pH).....	9
b) Oxygène dissous.....	10
c) Dioxyde de carbone.....	11
d) Sels nutritifs (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate)	11
e) Dureté de l'eau	14
II.2. Zonation des lacs	14
II.2.1. Zonation en fonction de la température de l'eau et la densité.....	15
II.2.2. Zonation en fonction de la lumière	16
II.2.3. Zonation en fonction de la concentration en oxygène dissous	17
II.2.4. Zonation en fonction des nutriments.....	17
Quiz.....	18

Chapitre III: Classification et caractérisation des lacs

III.1. Définition et principe	19
-------------------------------------	----

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université Djellali Bounaâma de Khemis-Miliana
جامعة جيلالي بونعامة خميس مليانة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض



Polycopié de cours

Hydrobiologie

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : M1 Bioclimatologie

Présenté par :

Dr. LAAMA Chahinez

Année Universitaire

2022-2023

Préface

Ces dernières années, l'hydrobiologie est indispensable pour l'étude et la caractérisation des écosystèmes aquatiques. Cette discipline traite de la vie des organismes dans l'eau, elle est très liée à l'écologie et à la limnologie. Les applications de l'hydrobiologie couvrent la caractérisation physicochimique et biologique des écosystèmes aquatiques ainsi que l'évaluation de leurs états de santé par l'utilisation des espèces indicatrices végétales et animales. La pollution des eaux ainsi que la biologie et la physiologie des espèces aquatiques sont considérés.

Ce présent polycopié de cours d'hydrobiologie est destiné aux étudiants en Master 1 bioclimatologie de l'université Djellali Bounaâma. L'hydrobiologie est considérée comme une discipline très importante dans la formation académique en bioclimatologie, car elle touche la relation entre deux composantes principales ; l'environnement aquatique et les êtres vivants.

Ce cours peut servir également aux étudiants en écologie et environnement, en aquaculture et en hydrobiologie marine et continentale. Le cours d'hydrobiologie est subdivisé en six principaux chapitres (Figure 1). Chaque chapitre est composé de plusieurs séquences pédagogiques, ce qui permet à l'étudiant d'assimiler facilement les différents concepts de ce cours.

Le premier chapitre consiste à faire un rappel sur l'écologie des milieux aquatiques et les termes utilisés en hydrobiologie. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques physicochimiques de l'eau et la zonation des lacs. Le troisième chapitre concerne la classification et la caractérisation des lacs. Au quatrième chapitre la pollution des milieux aquatiques et l'eutrophisation sont abordées. Le cinquième chapitre traite de la biosurveillance des écosystèmes aquatiques et des indices biologiques utilisés dans l'évaluation de leurs états de santé. Le dernier chapitre décrit la contamination microbienne et les indicateurs de contamination fécale.

Le cours de l'hydrobiologie proposé dans ce polycopié est consolidé par plusieurs activités d'apprentissage à savoir Tp, sortie sur le terrain et travail personnel.

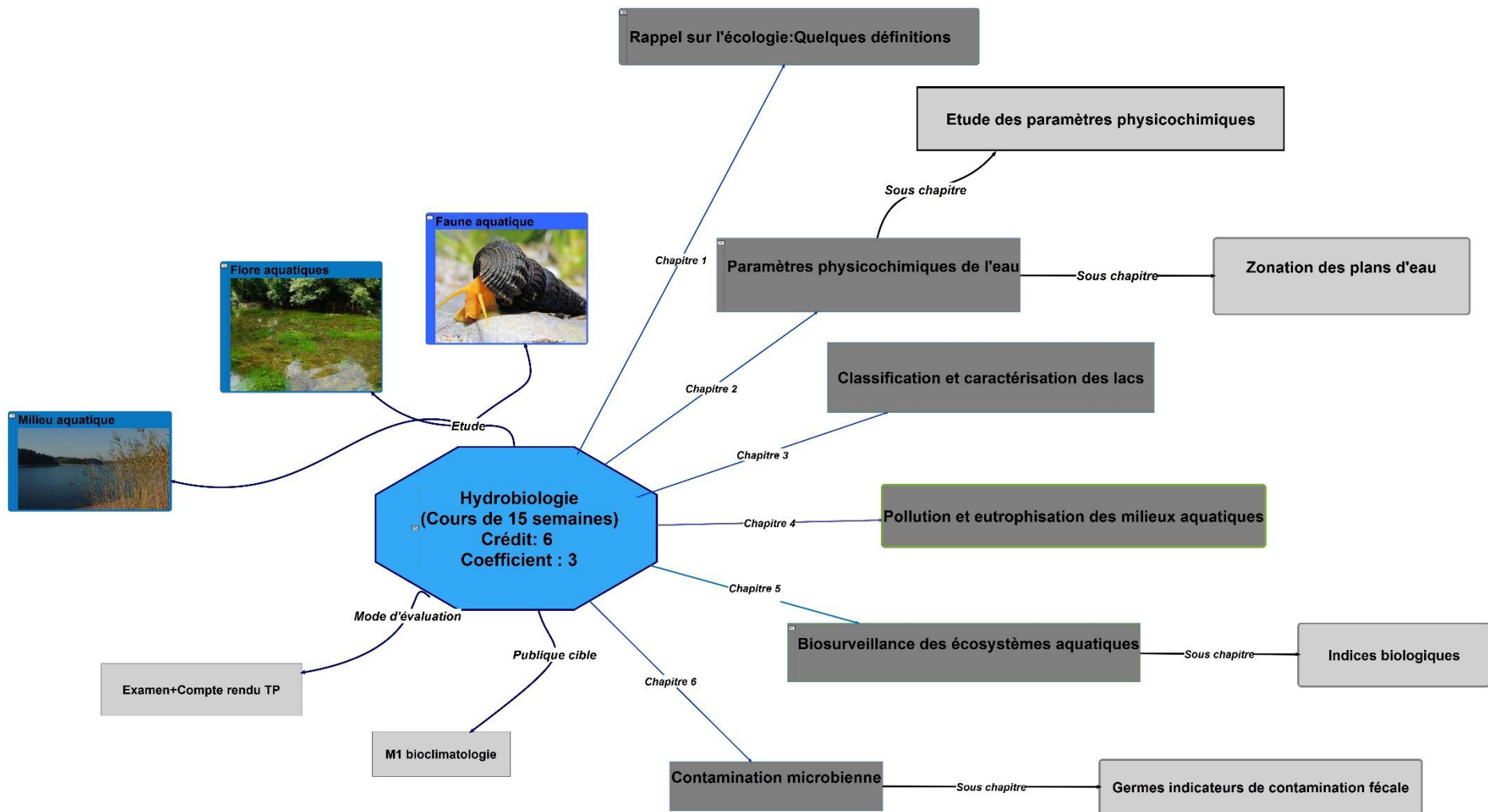


Figure 1 : Carte conceptuelle de module de l'hydrobiologie destiné au master 1 bioclimatologie

Sommaire

Préface

Chapitre I: Rappel sur l'écologie

I. Notions générales.....	3
I. 1. Écosystème.....	3
I. 2. Espèce.....	3
I. 3. Pélagos et Benthos	3
I.4. Biodiversité (diversité biologique).....	3
I.5. Niche écologique et habitat	4
I.6. Richesse spécifique	4
I.7. Biomasse	4
I.8. Facteurs écologiques	4
I.9. Organismes vivant dans les écosystèmes aquatiques	5
Quiz	6

Chapitre II: Paramètres physicochimiques de l'eau

II.1. Etude des paramètres physico-chimiques de l'eau.....	7
II.1.1. Paramètres physiques	7
a) Température de l'eau	7
b) Transparence et couleur de l'eau	8
II.1.2. Paramètres chimiques de l'eau	9
a) Potentiel d'hydrogène (pH).....	9
b) Oxygène dissous.....	10
c) Dioxyde de carbone	11
d) Sels nutritifs (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate)	11
e) Dureté de l'eau	14
II.2. Zonation des lacs	14
II.2.1. Zonation en fonction de la température de l'eau et la densité	15
II.2.2. Zonation en fonction de la lumière	16
II.2.3. Zonation en fonction de la concentration en oxygène dissous	17
II.2.4. Zonation en fonction des nutriments.....	17
Quiz	18

Chapitre III: Classification et caractérisation des lacs

III.1. Définition et principe	19
-------------------------------------	----

III.2. Typologie des lacs	19
III.2.1. Lacs Oligotrophes	19
III.2.2. Lacs mésotrophes	20
III.2.3. Lacs eutrophes	21
III.2.4. Lacs dystrophes	21
Quiz	22

Chapitre IV: Pollution et eutrophisation des milieux aquatiques

IV.1. Pollution des milieux aquatiques	22
IV.1.1. Définition	22
IV.1.2. Types de pollution.....	22
IV.1.3. Etats de la pollution.....	23
IV.1.4. Conséquence sur le milieu aquatique.....	24
IV.1.4.1. Effet sur les ressources vivantes.....	24
IV.1.4.2. Effet sur l'environnement	25
IV.2. Eutrophisation des milieux aquatiques	25
IV.2.1. Définition	25
IV.2.2. Conditions d'eutrophisation	26
IV.2.3. Mécanisme d'eutrophisation	26
IV.2.4. Conséquences d'eutrophisation.....	27
Quiz	30

Chapitre V: Biosurveillance des écosystèmes aquatiques

V.1. Définition et objectifs	29
V.2. Avantages de l'utilisation des espèces pour l'évaluation de la qualité des eaux.....	30
V.3. Caractéristiques des espèces utilisées dans la biosurveillance	31
V.4. Indices biologiques	31
a. Indice biologique global normalisé (IBGN)	32
1) Principe.....	32
2) Mode opératoire	32
3) Calcul et expression des résultats	33
b. Indice biologique Macrophytique en rivière (IBMR)	37
1) Principe.....	37
2) Mode opératoire	37
3) Expression des résultats	38
c. Indice biologique des diatomées (IBD)	38
1) Principe.....	39

2) Mode opératoire	39
3) Calcul et expression des résultats	40
d. Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments (IOBS)	41
1) Principe.....	41
2) Mode opératoire	42
3) Expression des résultats	42
Quiz	47

Chapitre VI: Contamination microbienne

VI.1. Définition et origine	48
VI.2. Contamination des écosystèmes aquatiques par les microbes	48
VI.3. Germes indicateurs de contamination fécale	49
VI.3.1. Coliformes totaux	49
VI.3.2. Coliformes thermotolérants	49
VI.3.3. Streptocoques fécaux ou entérocoques	50
VI.3.4. Clostridium Sulfitoréducteurs.....	50
Quiz	50
Références bibliographiques	51

Chapitre I. Rappel sur l'écologie : quelques définitions

L'écologie est la science qui étudie les relations entre les organismes et leur environnement et elle est liée fortement à l'hydrobiologie. Dans ce chapitre, nous aborderons les notions de base de l'écologie des milieux aquatiques, utilisées en hydrobiologie.

I. Notions générales

I.1. Écosystème

Elle désigne l'unité écologique de base (unité structurale et fonctionnelle) dont laquelle peuvent se réduire les systèmes écologiques plus complexes.

Écosystème= Biotope (milieu physique ou environnement) + Biocénose (phytocénose « végétaux », zoocénose « animaux », microcénose « bactéries, champignons, virus »).

I.2. Espèce

C'est un ensemble d'êtres vivants se ressemblant morphologiquement et génétiquement. Ils sont capables de se reproduire entre eux dans des conditions naturelles en donnant une progéniture fertile.

I.3. Pélagos et Benthos

Le pélagos est l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la colonne d'eau, donc ce sont des organismes qui vivent dans la masse d'eau et dont le déplacement peut être actif (poisson) ou passif (plancton). Alors que le benthos est constitué par les êtres vivants qui sont en liaison intime avec le fond et peuvent être fixés sur un support, enfouis dans le sédiment, soit simplement vivant en son contact ou à proximité (Figure 2). Le benthos se divise en : phytobenthos et zoobenthos.

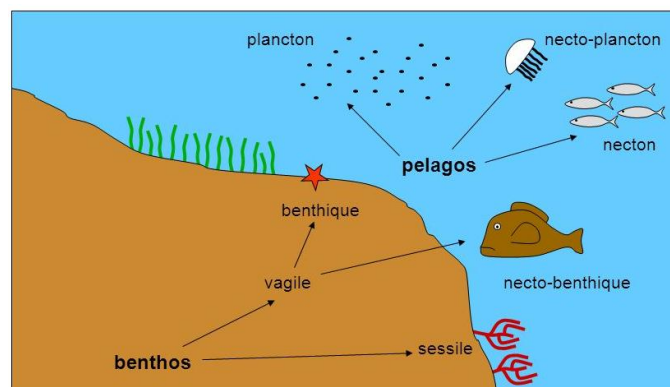


Figure 2: Distinction entre zone pélagique et zone benthique (slideplayer.fr)

Le Benthos est lié fortement au substrat. Ce dernier est la base sur laquelle repose le benthos, il est divisé en catégories :

Chapitre I : Rappel sur l'écologie : quelques définitions

- *Substrat dure*

Il peut être naturel (rocher, coquille, etc...) ou artificiel (pneu, coque de bateau, tissu, épave, etc...).

- *Substrat meuble*

Il est formé par des éléments constitutifs mobiles les uns par rapport aux autres, des galets aux vases (1 μ m à 25cm).

I.4. Biodiversité (diversité biologique)

La biodiversité est la diversité des organismes vivants, qui s'apprécie en considérant la diversité des espèces, celle des gènes au sein de chaque espèce, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes.

I.5. Niche écologique et habitat

La niche écologique est définie comme étant le rôle de l'espèce (profession de l'espèce : proie, prédateur, parasite) alors que l'habitat est le lieu où vivent les individus, et peut se référer à la place occupée par toute la communauté (adresse de l'espèce).

I.6. Richesse spécifique

Elle correspond au nombre total d'espèces présentes dans un biotope.

I.7. Biomasse aquatique

C'est la quantité de matière vivante existante dans un écosystème aquatique par unité de volume ou de superficie. Elle est exprimée en unité massique.

I.8. Facteurs écologiques

Un environnement est constitué par un ensemble de facteurs abiotiques et biotiques (Tableau 1).

$$\text{Environnement} = \Sigma \text{ facteurs abiotiques} + \Sigma \text{ facteurs biotiques}$$

- **Facteurs biotiques**

Ce sont des facteurs qui se rapportent à des organismes vivants ou qui résulte de leur présence.

-

Chapitre I : Rappel sur l'écologie : quelques définitions

▪ Facteurs abiotiques

C'est l'ensemble des facteurs physico-chimiques d'un écosystème auxquels une biocénose donnée est soumise.

Tableau 1 : Facteurs abiotiques et biotiques d'un milieu aquatique

Facteurs abiotiques	Facteurs biotiques
Facteurs hydrologiques Température de l'eau (eurytherme/sténotherme) Salinité (euryhaline/sténohaline) Eclairement Humectation	Action qu'exerce une espèce sur l'autre. Facteur qui se rapporte à des organismes vivants ou qui résulte de leur présence.
Facteurs édaphiques Distance au support (pélagique/benthique) Nature du substrat (dur/meuble) Hydrodynamisme (vague, courant) Pollution	<ul style="list-style-type: none">- Prédation- Compétition- Mutualisme (symbiose/commensalisme)- Parasitisme

I.9. Organismes vivant dans les écosystèmes aquatiques

Ils sont divers, ils se résument par le plancton, le nekton et le seston (Figure 3).

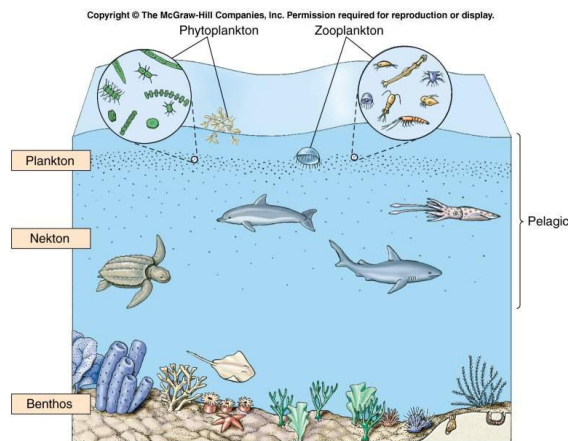


Figure 3 : Principales espèces vivant dans un milieu aquatique (Slideplayer.com).

• Plancton

C'est l'ensemble des êtres vivants qui se trouve en suspension dans les eaux, il peut être végétal (phytoplancton) ou animal (zooplancton). Il est caractérisé par son déplacement passif dont les mouvements propres ne permettent pas de s'affranchir du mouvement de la masse d'eau qui l'entraîne.

Chapitre I : Rappel sur l'écologie : quelques définitions

• Necton

C'est l'ensemble des organismes vivants qui se déplacent activement dans l'eau (nage) c'est-à-dire sans être asservis aux courants pour leurs déplacements.

• Seston

Le seston est un terme utilisé en écologie aquatique pour désigner l'ensemble des particules, vivantes ou non, suspendues dans la colonne d'eau. Il comprend à la fois les organismes microscopiques, tels que le phytoplancton et le zooplancton, ainsi que les débris organiques et minéraux. Le seston joue un rôle important dans la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, étant une source de nourriture pour de nombreux organismes filtreurs, comme les bivalves et certains poissons.

Quiz : Cocher la ou les bonnes réponses

1/ L'écologie est la science qui s'intéresse à l'étude de :

- Habitat de la faune et de la flore
- Climat des zones
- Facteurs biotiques et abiotiques
- Interactions entre les espèces
- Taxonomie

2/ Quels sont les principales composantes de l'écosystème aquatique

- Eau de mer
- Phytoplancton
- Air
- Poisson
- Benthos
- Oxygène dissous

Chapitre II. Paramètres physico-chimiques de l'eau

Ce chapitre permet de définir les principaux paramètres physico-chimiques de l'eau. Ces paramètres sont d'une grande importance, car ils permettent d'acquérir des connaissances sur la qualité des écosystèmes aquatiques et leurs fonctionnements.

II.1.1. Paramètres physiques de l'eau

a) Température de l'eau

La température est un facteur écologique important, elle influe l'activité biologique et la répartition des espèces. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz. La susceptibilité des organismes aux maladies, aux parasites ou aux substances toxiques dépend aussi de la température. De même, une élévation de température influence doublement la physiologie des espèces en augmentant le métabolisme d'une part, et en réduisant la solubilité de l'oxygène dans l'eau.

En fonction des exigences des espèces, on définit deux catégories d'espèce (Figure 4):

- **Espèce Sténotherme ou homéotherme**

Il se dit d'un organisme incapable de supporter de grandes variations et des écarts important de température. La sténothermie concerne à la fois des sténobiotés terrestres, aquatiques ou aériens.

Ces organismes peuvent être divisés en trois catégories :

- les sténothermes "froids" pour des températures inférieures à 14 °C,
- les sténothermes "tempérés" pour des températures comprises entre 14 et 18 °C,
- les sténothermes "chauds" pour des températures comprises entre 18 et 43 °C.

Au-delà de 43 °C, l'organisme devient extrémophile.

- **Espèce Eurytherme**

Elle correspond à des espèces susceptibles de supporter les grandes variations de température.

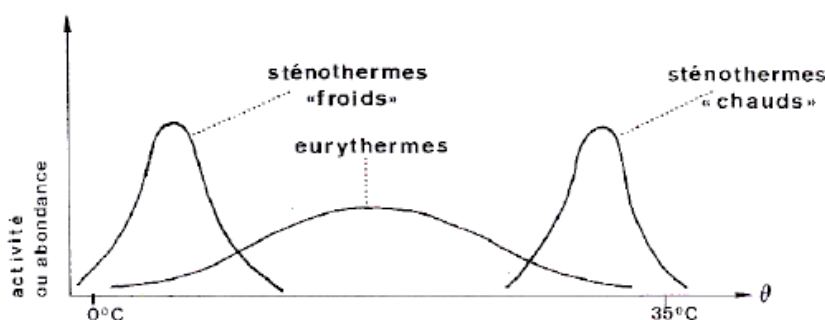


Figure 4: Tolérances thermiques des espèces (Dajoz, 1996)

b) Transparence et couleur de l'eau

Ces deux facteurs sont très importants pour les processus biologiques de l'eau et particulièrement pour la photosynthèse. La couleur propre de l'eau dans les écosystèmes est bleue. Cependant, les couleurs vertes, jaunes, brunes de certaines eaux ne sont donc qu'une altération, d'ordre :

- Physique: diffraction de la lumière sur des particules en suspension ;
- Chimique: Dissolution des matières humiques ou aux pollutions chimiques, exemple : colorants des tanneries, des teintureries ;
- Naturelle : bloom algale ou eutrophisation des milieux aquatiques.

La transparence de l'eau est la faculté d'une eau à laisser passer la lumière sur une profondeur déterminée. Elle dépend de la richesse de l'eau en phytoplancton et en Matières en Suspension. La transparence est influencée par la densité planctonique, les teneurs en MES et la turbidité. Elle est l'un des indicateurs de l'état de santé des lacs. Généralement, plus une eau est transparente, meilleure est sa qualité. Elle se mesure entre autre par le disque de Secchi.

• *Détermination de la profondeur de Secchi*

C'est la profondeur à laquelle le disque disparaît de la vue de l'observateur correspond à la couche transparente, et au-delà de celle-ci c'est la couche obscure. Elle est définie en utilisant le disque de Secchi (Figure 6). Ce dernier est un cercle en bois ou en métal de 20 cm de diamètre, il possède deux pointes en noir et 2 pointes en blanc. Il est fixé à une longue corde graduée et il est lentement descendu dans le plan d'eau pour définir la couche transparente.

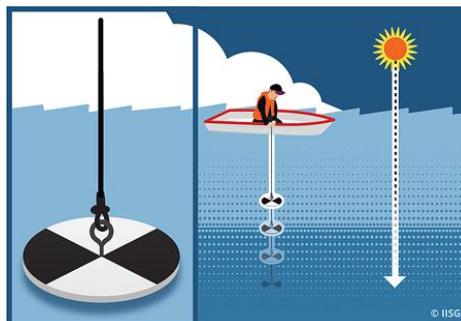


Figure 6: Disque de Secchi utilisé pour la détermination de la transparence de l'eau (<http://limnoloan.org/waterquality/secchi-dis/>)

• *Turbidité de l'eau*

Elle représente l'opacité d'un milieu trouble (exprimée en NTU). C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc...

• *Matière en suspension (MES)*

Ce sont des particules dont la taille est supérieure à 1 micron, exprimée en mg/L, elles peuvent être :

- Minérales (sable, limon, argile et composés chimiques inorganiques) ;
- Organiques (débris d'organismes et composés chimiques organiques) ;
- Vivantes (bactéries, phytoplancton, zooplancton, algues microscopiques, poissons) ;
- Terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, débris déversés par l'homme) ;
- Origine éolienne (particules transportées par le vent) ;
- Météorique.

La présence des MES modifie la transparence de l'eau et diminue la pénétration de la lumière ce qui entraîne une diminution notable de la bioproduktivité des écosystèmes aquatiques. L'énergie reçue par le plan d'eau subit, soit une absorption par le phytoplancton pour la photosynthèse, soit une réflexion par les particules inorganiques. La diminution de la transparence de l'eau provoquée par la présence des MES entraîne la diminution de la pénétration de la lumière (Figure 5).

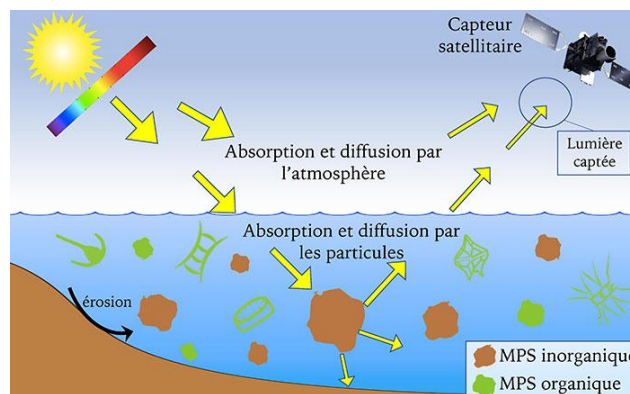


Figure 5: Relation entre la lumière et les MES

(https://www.ismer.ca/images/actualites/2019/06_juin/asf_schema.jpg)

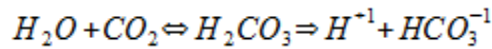
II.1.2. Paramètres chimiques de l'eau

a) Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est une grandeur utilisée pour caractériser le degré d'acidité ou de basicité d'un milieu. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Le pH de l'eau change en fonction de la réaction chimique suivante :



Lorsque la concentration en CO_2 augmente, l'eau devient acide ($\text{pH} < 7$), car la concentration de ions H^+ augmente dans l'eau. Le changement du pH du milieu est dû à la modification des concentrations en CO_2 (respiration, photosynthèse, échange avec l'air) ou en CO_3 (précipitation), certains rejets industriels ou les apports des eaux continentales.

Généralement, le pH des eaux naturelles doit être compris entre 6,7 et 8,6. Le pH ne pose pas de problèmes majeurs, sauf dans le cas de milieux fortement eutrophisés.

b) Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel à la vie aquatique ; Il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température et la pression. La teneur en oxygène dissous dans les écosystèmes aquatiques varie en fonction des processus physiques, chimiques et biologiques : de la photosynthèse, la respiration des organismes, Les échanges air-mer et la biodégradation.

L'oxygène dissous est indispensable à tous les êtres vivants, il est utilisé pour l'oxydation de la nourriture qui libère l'énergie nécessaire à toutes les activités vitales (nage, chasse, reproduction, croissance, etc...). Une teneur de 5 mg O_2 /L est suffisante pour la plupart des espèces (Figure 7).

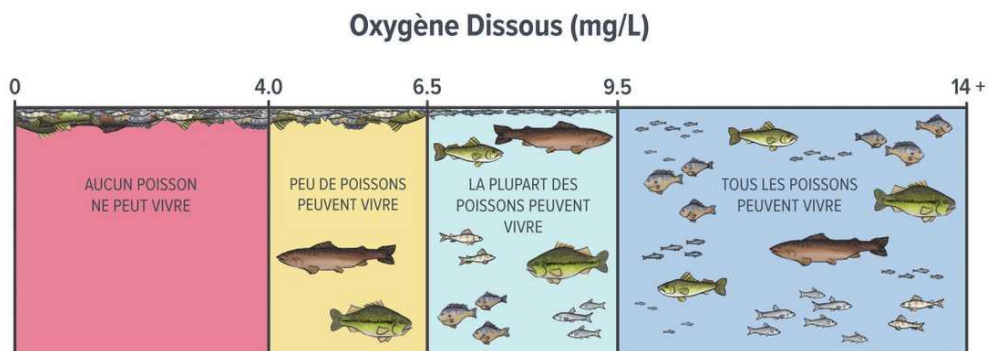
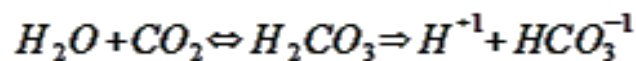


Figure 7: Effet de la concentration en oxygène dissous sur le développement de vie aquicole (<https://datastream.org/fr/guide/dissolved-oxygen>)

Pour ce paramètre, nous abordons une notion importante c'est la **saturation en oxygène**. Elle correspond à la concentration en oxygène dissous à l'équilibre. Elle varie en fonction de la salinité et de la température de l'eau, de l'altitude et de la pression atmosphérique. L'oxygène étant moins soluble à chaud qu'à froid, la saturation en oxygène diminue lorsque la température augmente. Une eau est saturée en oxygène lorsqu'elle ne peut plus dissoudre ce gaz. Ainsi, plus le degré de saturation de l'eau en oxygène est élevé, plus il devient difficile pour l'eau de dissoudre ce gaz.

c) Dioxyde de carbone

D'une part le CO₂ provient de la diffusion par l'atmosphère, d'une autre part, il provient de l'activité biologique des organismes aquatiques (respiration et décomposition de la matière organique). La concentration optimale de gaz carbonique dans l'eau est de 1,5 à 5 mg/l. En outre, il se combine assez facilement avec des sels de métaux alcalins ou alcalino-terreux pour former des carbonates ou des bicarbonates qui constituent alors une réserve de CO₂ facilement mobilisable. Le gaz carbonique rentre en réaction avec l'eau pour former l'acide carbonique (réaction ci-dessous) :



Le CO₂ joue un rôle dans les fluctuations du pH de l'eau. La dissolution du CO₂ dans l'eau entraîne la libération des ions H⁺, donc le pH de l'eau devient acide (pH < 7). Il rentre aussi dans le processus de la photosynthèse (processus biochimique), car la fixation de CO₂ par les autotrophes (végétaux) entraîne la diminution des ions H⁺ dans l'eau, donc le pH de l'eau serait > à 7 (alcalin).

d) Sels nutritifs (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, silicate)

Les éléments nutritifs sont des descripteurs hydrologiques indispensables à l'étude ou la caractérisation d'un écosystème aquatique. Indirectement, ils peuvent avoir des répercussions sur les activités humaines telles que la pêche et la conchyliculture, car leur disponibilité conditionne la production primaire sur laquelle se développe ensuite l'activité biologique du milieu.

Les nutriments sont donc présents à divers concentration dans les milieux et sont disponibles sous plusieurs formes assimilables ou non par les végétaux. Le cycle de l'azote joue un rôle clés dans le cycle de la matière dans l'environnement aquatique à travers la

réaction de nitrification /dénitrification (Figure 8). Cette réaction se réalise en deux étapes par les bactéries chimiotrophes ; Nitrosation (nitrosomonas) et nitratisation (nitrobacter).

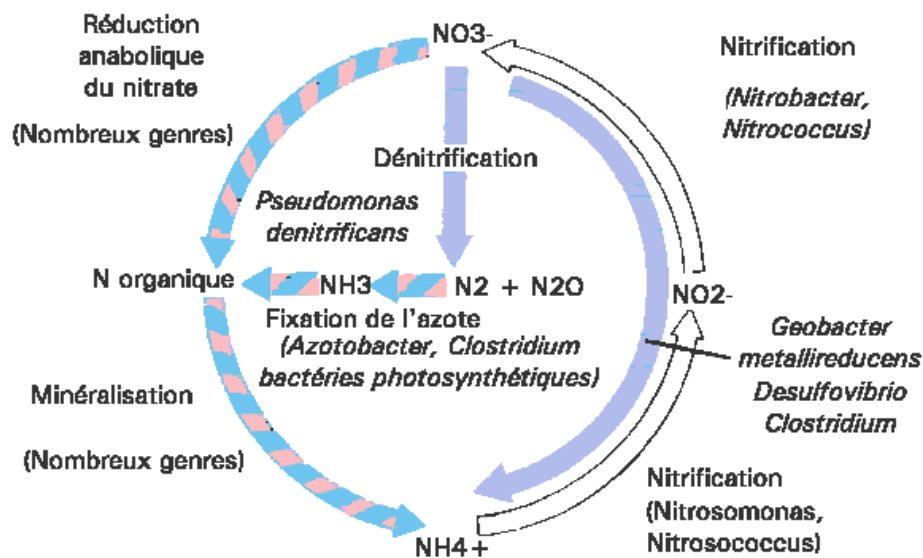


Figure 8 : Cycle d'azote

(<http://www2.gch.ulaval.ca/agarnier/bcm20329/bcm3a.htm>)

• Ions ammonium

Il existe sous deux formes en fonction des conditions du milieu; soit l'ammonium NH_4^+ ou l'ammoniac (azote ammoniacal) NH_3 . La quantité relative de NH_3 et NH_4^+ est fortement influencée par des facteurs physicochimiques qui sont par ordre d'importance : le pH du milieu, la température et la salinité.

Le NH_3 est considéré comme très toxique par rapport au NH_4^+ , 300 à 400 fois plus pour les organismes aquatiques surtout les poissons. Le NH_3 pénètre facilement par les branchies des poissons alors que le NH_4^+ ne peut pas pénétrer dans les membranes lipidiques (par les canaux branchiaux) à cause de sa charge et de sa taille. En effet, le NH_3 provoque la mort des poissons par :

- Anoxie : colmatage des branchies ;
- Intoxication : inhibition de fixation et transport d'oxygène par l'hémoglobine.

• Nitrite (NO_2^-)

C'est une forme oxygénée de l'azote, peu stable, elle s'insère entre la réaction d'oxydation de l'ammonium et de réduction de nitrate. La présence de nitrite d'origine naturelle est rare du

fait même que l'azote ammoniacal est à l'état de trace ainsi que la cinétique de transformation des nitrite en nitrate est plus rapide que celle de l'azote ammoniacal en nitrite .

Une eau renfermant des nitrites même avec faible concentration peut être considérée comme toxique pour les poissons, donc ils peuvent être considérés comme des indicateurs de pollution des eaux.

- **Nitrate (azote nitrique) (NO_3^-)**

C'est la forme la plus oxydée de l'azote et il se trouve naturellement dans les eaux. Il rentre dans le cycle d'azote comme un support principal dans la croissance de phytoplancton. Ils sont facilement assimilables par les végétaux et ils contribuent à leur croissance, en présence d'autres éléments indispensables à son développement.

- **Phosphate**

Est une forme inorganique, dissoute de phosphore. Il est important pour la flore aquatique, leur présence dans l'eau est liée aux caractéristiques des terrains traversés et la décomposition de la matière organique.

Dans les écosystèmes aquatiques sains, le phosphore est normalement le moins abondant des nutriments, donc le premier à limiter la productivité biologique. En effet, le phosphore est considéré comme étant un facteur limitant pour le développement végétal (eutrophisation) dans les milieux aquatiques. Sa présence dans les écosystèmes aquatiques doit être surveillée pour éviter des changements du biotope en particulier les fortes croissances végétales et leurs conséquences (figure 9).

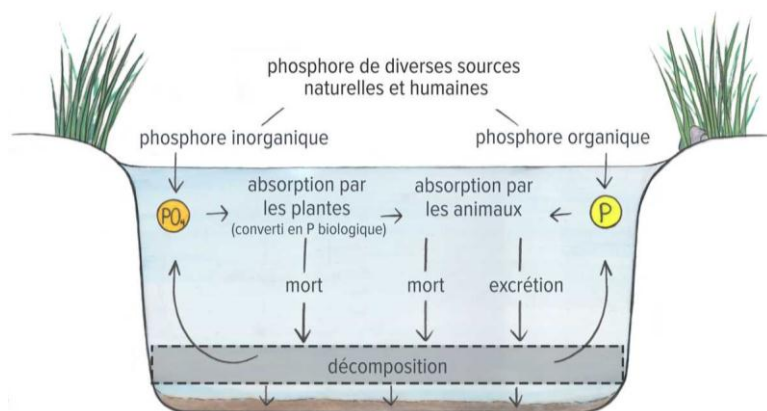


Figure 9: Cycle de phosphore

(<https://datastream.org/fr/guide/phosphorus>)

• Silicate

Le silicium est le troisième élément nutritif important gouvernant le fonctionnement de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques. Le développement de l'une des grandes classes de phytoplancton telles que les diatomées, algues unicellulaires, comportant un squelette de silice (SiO_2) est tributaire de silicium, il sert à l'élaboration de leur squelette en silice (SiO_2) et constitue ce que l'on appelle la silice biogénique (BSi).

Le tableau 2 résume l'origine de l'ammonium, le nitrite, le nitrate et le phosphate dans l'écosystème aquatique.

Tableau 2 : Origine des sels nutritifs en milieu aquatique.

Ammonium (NH_4^+)	Nitrite (NO_2^-)	Nitrate (NO_3^-)	Phosphate (PO_4^{3-})
Décomposition de l'azote organique (Ammonification)	Oxydation bactérienne de la MO (Voie aérobique)	Oxydation des NO_2^-	Rejets industriels
Réduction de NO_3^- (Dénitrification)	Dégradation de la MO	Apports dus à l'agriculture et à l'élevage	Rejets domestiques (Détergent)
Dégradation des tissus organiques	Réduction des NO_3^- (Voie anaérobique)	Eaux usées	Lessivage des terres cultivées
Excrétion des animaux Protéines animales et végétales		eaux industrielles	Engrais
		Engrais	Pesticides
			Décomposition de la MO

e) Dureté de l'eau

Est un paramètre caractérisant la teneur d'eau en calcium et magnésium (dureté totale). Une eau eucalcique est une eau naturelle neutre ou basique riche en carbonate de calcium. La dureté de l'eau correspond à la mesure de titre hydrotimétrique, généralement exprimé en degrés français (Tableau 3).

Tableau 3: Classification de l'eau en fonction de sa dureté

(<https://sites.ensfea.fr/physique-chimie>)

TH (°f)	0-5	5-10	10-20	20-40	>40
Qualité de l'eau	Très douce	douce	moyenne	dure	Très dure

II.2. Zonation des lacs

Par définition, la zonation est la répartition d'un plan d'eau en couche, zone ou strate. Ces couches sont considérées comme une structure physique, elles sont définies par un ensemble

de caractéristiques physiques (lumière, température, densité, turbulence) et chimiques (O_2 , sels nutritifs) qui déterminent leur mode de fonctionnement dont il dépend l'organisation des communautés biologiques.

Cette notion de zonation est très employée en limnologie. Toutefois, les différentes zones sont définies par leur nature en se recoupant sans superposition stricte, tant sur le plan horizontal que vertical.

II.2.1. Zonation en fonction de la température de l'eau et la densité

Le réchauffement des eaux superficielles en période estivale se traduit par une stratification (zonation) de la masse d'eau à gradients différents (Figure 10). On distingue 3 zones :

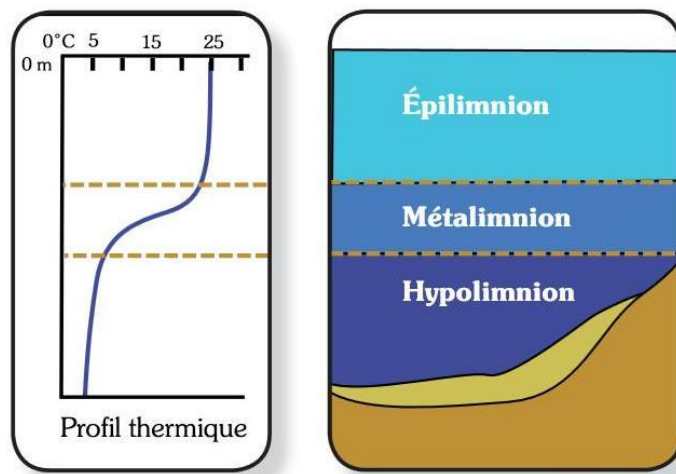


Figure 10 : Zonation d'un lac en fonction de la température en période estivale
(<https://www.lacs-sentinelles.org/fr>)

▪ Epilimnion

Elle correspond à une couche de surface dans laquelle la température est élevée et les courants sont actifs, car elle est influencée par les conditions climatiques.

▪ Métalimnion (Thermocline)

Elle correspond à la zone du saut thermique où le gradient¹ de la température est important et qui est en fonction de la profondeur (diminution rapidement/ saut thermique), elle coïncide avec la pycnocline (saut de densité). La Thermocline constitue une barrière physique, car elle bloque les échanges entre les eaux profondes riches en sels nutritifs et les eaux superficielles pauvres. La notion de *cline* est très importante dans la zonation des plans d'eau, elle est définie comme étant une couche fine où les propriétés physiques (température, salinité, densité) ou chimiques (nitrate, phosphate, oxygène) présente un fort gradient

¹ Taux de décroissance de la température de l'eau en fonction de la profondeur

verticale. Sa présence limite fortement les échanges entre les masses d'eau et la diffusion turbulente.

▪ Hypolimnion

C'est la couche profonde où la température est faible, le gradient y est pratiquement nul ; les températures sont basses et stables.

II.2.2. Zonation en fonction de la lumière

La zonation du plan d'eau en fonction de la lumière est directement liée aux propriétés physico-chimiques de l'eau notamment la turbidité et les MES. La quantité de lumière reçue diminue exponentiellement avec la profondeur, dans laquelle on distingue 3 couches (Figure 11).

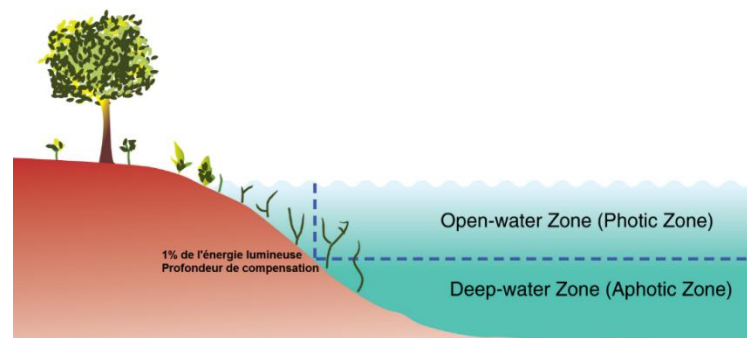


Figure 11 : Zonation d'une plage en fonction de la lumière (Wikipedia modifiée).

• Couche euphotique

Une couche superficielle où l'intensité lumineuse est maximale. Au niveau de cette couche s'élabore la végétation photophile : qui exige un éclairage important. La profondeur de la couche euphotique est variable, elle est largement conditionnée par la concentration en MES. Sa limite inférieure est définie arbitrairement par la profondeur à laquelle parvient 1% de l'intensité lumineuse de surface, mesurée dans le spectre visible (350 à 700 nm) (Figure 12).

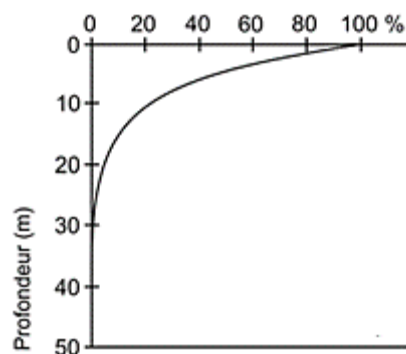


Figure 12 : Profil vertical de la lumière (Quéguiner, 2009)

- **Profondeur de compensation**

C'est une limite bathymétrique où les végétaux présente un équilibre entre la respiration et la photosynthèse, elle correspond à 1% de lumière transmise, elle se situe à environ 50m dans les zones marines. Au niveau de cette limite s'élabore la végétation sciaphile.

- **Couche aphotique**

C'est la couche obscure.

II.2.3. Zonation en fonction de la concentration en oxygène dissous

Il existe deux strates séparées par une couche fine transitoire (Figure 13).

- ✓ **Strate oxique**

C'est la couche superficielle où la concentration d'oxygène en surface est plus élevée à cause de la pénétration de l'air et de l'activité photosynthétique.

- ✓ **Oxycline**

Elle correspond à la profondeur de compensation (1% de l'intensité lumineuse). Le gradient d'oxygène dissous est important, car à ce niveau la photosynthèse est compensée par la respiration.

- ✓ **Strate anoxique**

Au fond, l'oxygène est plus réduit à cause de l'activité des microorganismes aérobies, ainsi que la respiration des microorganismes aquatiques.

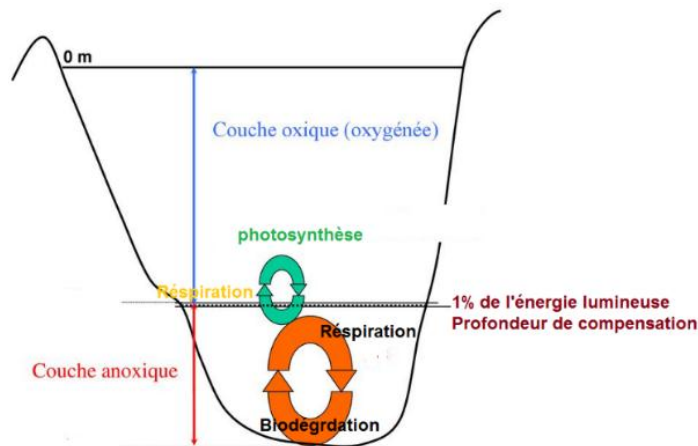


Figure 13 : Zonation du plan d'eau en fonction de la concentration en Oxygène dissous

II.2.4. Zonation en fonction des nutriments

De point de vue production de biomasse, un plan d'eau peut être divisé en deux zones, séparée par la profondeur de compensation (Figure 14):

▪ Zone trophogène (couche nutritive ou couche d'accumulation)

C'est la zone supérieure du plan d'eau où l'énergie solaire est maximale, le développement des organismes autotrophes est important, à cause de la teneur en éléments nutritifs. Donc, la production primaire est possible. Ces processus peuvent présenter des variations saisonnières très marquées et culminent lorsque la production est maximale.

▪ Zone tropholytique (zone de dégradation)

Cette zone est caractérisée par le manque de lumière. Les organismes hétérotrophes séjournent, car la respiration est l'activité dominante et la production primaire est négligeable. Au niveau de cette couche, les processus sont inversés avec des gradients faibles et réguliers ; ce n'est qu'à l'interface eau-sédiment ou même dans celui-ci (premiers décimètres) qu'on observe à nouveau des gradients très élevés de biodégradation.

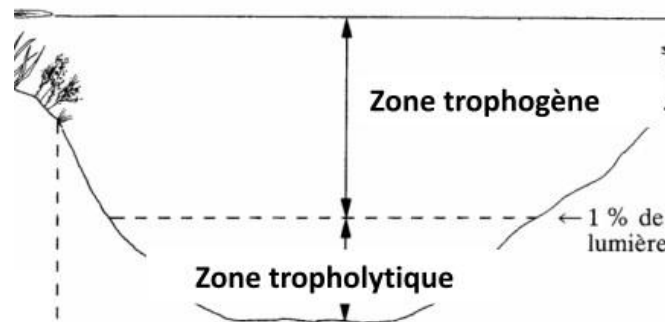


Figure 14: Zonation de lac en fonction de la teneur en nutriment (www.hesge.ch/hepia).

Les zonations réalisées en fonction des paramètres physicochimiques ne sont pas forcément superposables. Elles influent la répartition des espèces végétales et animales. La zonation réalisée en fonction de la lumière est primordiale, car elle définit celle de l'oxygène dissous et des nutriments.

Quiz

1/ L'étude des propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques a pour objectif de :

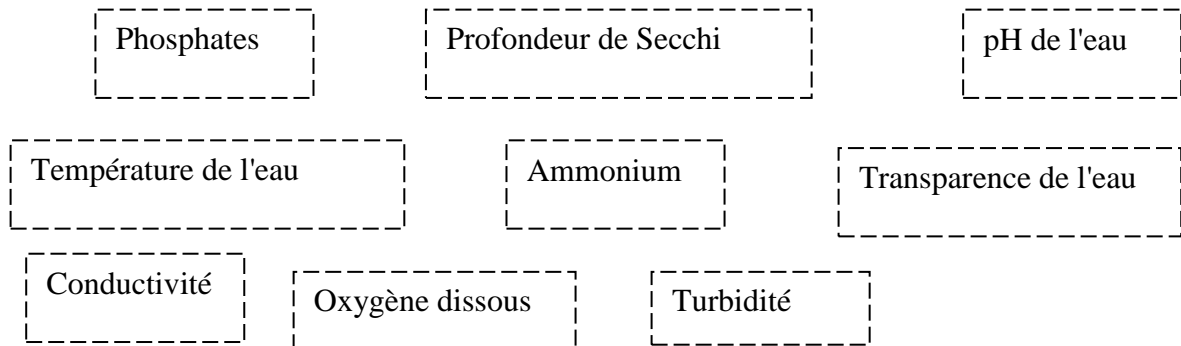
- Étudier de la qualité de l'eau
- Élaborer d'un plan de gestion de l'eau
- Inventorier des espèces vivant dans le plan d'eau
- Bioindication de la qualité de l'eau
- Comprendre le fonctionnement de l'écosystème aquatique

Chapitre II : Paramètres physicochimiques de l'eau

2/ Existe-t-il une superposition entre les différentes couches réalisées en fonction de la lumière et de la température ?

- Oui
- Non

3/ Classification des paramètres caractérisant la qualité d'eau



Paramètres physiques	Paramètres chimiques

Chapitre III. Classification et caractérisation des lacs

Dans ce chapitre, on entame la classification trophique des lacs et leurs caractéristiques en fonction des conditions du milieu.

III.1. Définition et principe

Les caractéristiques physico-chimiques d'un lac conditionnent sa bioproduktivité, ainsi, que sa pyramide écologique. La détermination du niveau trophique (concentration en sels nutritifs) d'un lac vise à le positionner sur l'échelle trophique. Par leur évolution, on distingue les lacs Oligotrophes, Mésotrophes, Eutrophes. Cette évolution peut ainsi conduire à l'existence des cas intermédiaires entre deux types de lacs.

La classification des lacs est réalisée principalement en fonction de la teneur des sels nutritifs, mais elle peut prendre plusieurs critères en considération telles que la transparence de l'eau, la teneur en chlorophylle-a et celle du phosphore (Figure 15).

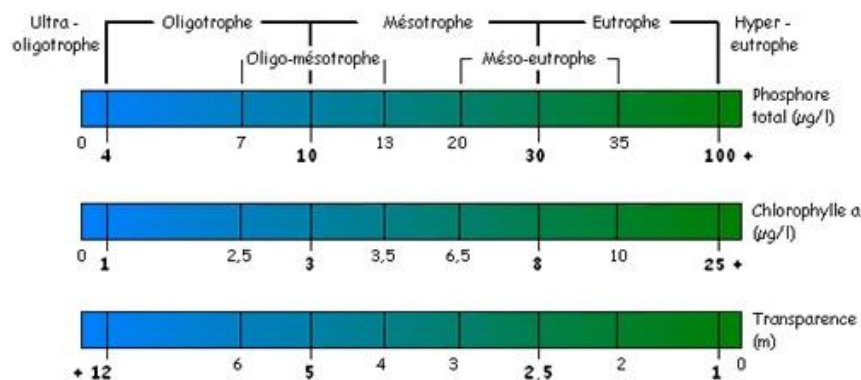


Figure 15 : Niveau trophique utilisé pour le classement des lacs (obvcapital.org).

III.2. Typologie des lacs

On distingue principalement quatre types de lac.

III.2.1. Lacs Oligotrophes

C'est un milieu pauvre en éléments nutritifs, et peu productif (Figure 16). La croissance des algues est limitée par le peu de phosphate présent et il n'y a pas de prolifération d'algues, il est caractérisé par :

- Grandes surfaces et des profondeurs importantes.
- Couche transparente importante, elle peut atteindre 14 m.

- Absence des macrophytes.
- Production primaire faible.

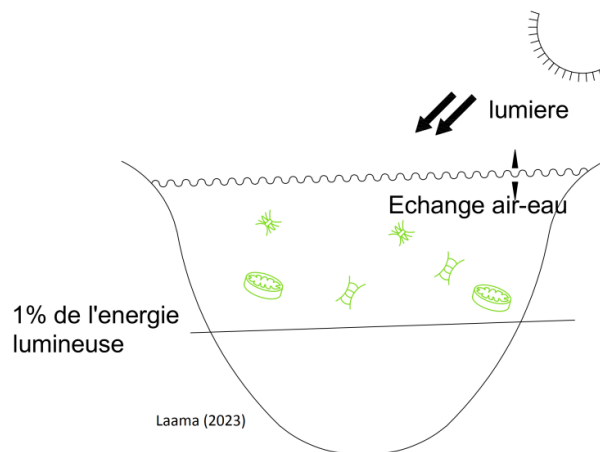


Figure 16 : Lac oligotrophe

III.2.2. Lacs mésotrophes

Ce sont des milieux moyennement riches en éléments nutritifs, c'est un stade intermédiaire entre un lac oligotrophe et un lac eutrophe. Ses caractéristiques sont les suivantes (Figure 17) :

- Plus petits et moins profonds que le lac oligotrophe.
- Couche trophogène plus au moins importante.
- Présence de macrophytes ce qui augmente la production primaire du milieu.

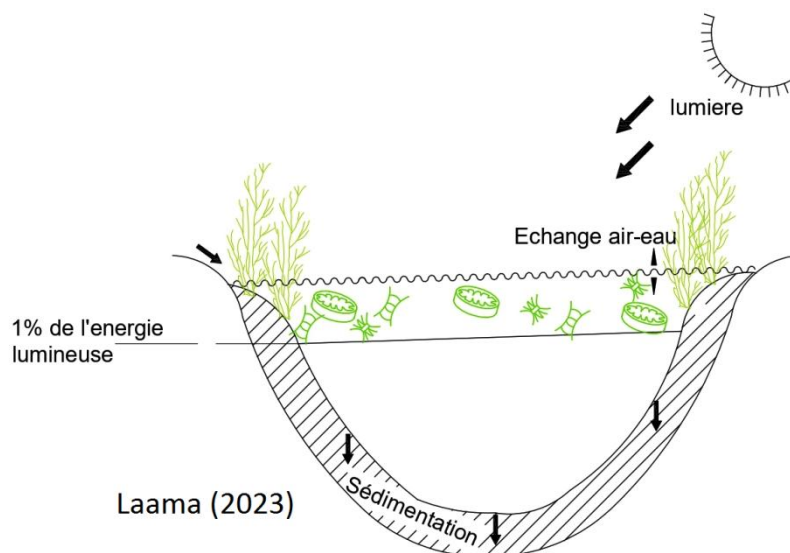


Figure 17 : Lac mésotrophe.

III.2.3. Lacs eutrophes

Ce sont des lacs caractérisés par des concentrations élevées en éléments nutritifs, ils sont très fertiles et bioproductifs. Ils possèdent les caractéristiques suivantes (Figure 18) :

- Taux de sédimentation maximale, suite à l'augmentation des matières organiques.
- Possèdent des surfaces différentes et peu profonds.
- Dominance des macrophytes.
- Couche trophogène fine et proche de la surface de l'eau.
- Production primaire est à son maximum.

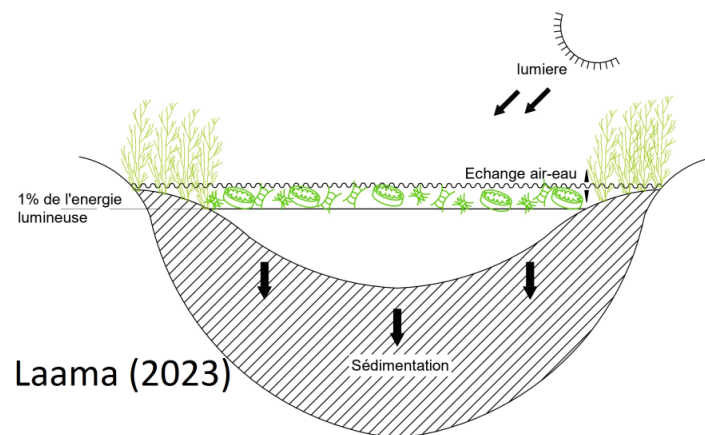


Figure 18 : Lac eutrophe.

III.2.4. Lacs dystrophes

La dystrophie lacustre peut être provoquée à n'importe quelle phase de l'évolution trophique d'un lac. Elle peut être provoquée naturellement comme elle peut être due à une perturbation anthropique à cause d'un apport excessif en éléments nutritifs notamment en phosphore. Ces lacs sont caractérisés par un taux de sédimentation très important, ils sont fortement chargés en matière humiques et parfois le milieu devient anoxique.

Quiz

1/ Mettre dans l'ordre l'évolution d'un lac de barrage nouvellement construit

Eutrophe

Mésotrophe

Oligotrophe

Chapitre IV. Pollution et eutrophisation des milieux aquatiques

Dans la première partie de ce chapitre, la pollution des milieux aquatique et ses origines sont définies. Dans la deuxième partie les conditions et les conséquences de l'eutrophisation sont abordées.

IV.1. Pollution des milieux aquatiques

IV.1.1. Définition

Selon l'OMS, la pollution des milieux aquatiques est définie comme étant:« toute modification des propriétés physiques ,chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides , gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit la santé à des fin domestique, commerciales, industrielles agricoles, récréative et autre, soit de la faune sauvage et aquatique » .

Selon Schweitzer et Noblet (2018), La pollution de l'eau est définie par la présence de composants ou de facteurs chimiques, physiques ou biologiques produisant une dégradation d'un plan d'eau donné.

Remarque

Le niveau de contamination nécessaire pour altérer une masse d'eau dépend fortement du type de plan d'eau, son emplacement et les types d'utilisations bénéfiques qu'il soutient. Une l'eau jugée impropre à la consommation humaine peut convenir à d'autres usages, comme l'habitat, l'irrigation ou les loisirs.

IV.1.2. Types de pollution

Un polluant est définie comme, tout agent physique, chimique ou biologique dans un milieu aquatique, qui y provoque, par sa concentration dans l'eau, des perturbations préjudiciable au bon équilibre de l'écosystème et en réduit les possibilités d'usages de l'eau. Le Tableau 4 représente les principaux types de pollution selon leur nature : physique, chimique et microbiologique.

Ces dernières années, nous avons constatés l'apparition d'un autre type de pollution c'est la pollution plastique (microplastique et nanoplastique). Elle représente un grand risque pour la vie aquatique.

Tableau 4 : Nature et origines de pollution d'après C. Lévêque, Écosystèmes aquatiques (Hachette, 1996).

Type de pollution		Nature	Source
Physique	Pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrale thermique et électrique
	Matière en suspension		Rejets urbains, Erosion des sols
	Pollution radioactive	Radio-isotope	Installation nucléaire
Chimique	Fertilisant	Nitrate, phosphate	Agriculture, Lessivage des sols
	Métaux et métalloïde	Mercure, cadimuin, plomb, aluminium, arsenic	Industrie, agriculture, pluie acide, combustion
	Pesticides	Insecticides, herbicides, fongicides	Agriculture, Industrie
	Organochlorés	PCB, solvant	Industrie
	Composés organique de synthèse	Nombreuses molécules	Industrie, Rejets domestique
	Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière, Transport
Microbiologique		Bactérie, Virus, champignons	Effluents urbains et d'élevage

IV.1.3. Etats de la pollution

Deux états de pollution sont considérés à savoir :

a) Pollution aigue (accidentelle)

Elle se caractérise par sa soudaineté et occasionne souvent des dégâts spectaculaire (mortalité massives de poissons à titre exemple). Elle peut être :

- *Volontaire* comme vidanges de citerne, déversement délibérés de toutes sortes de produits, etc...
- *Involontaires* par exemple une rupture de canalisation, panne de station d'épuration, fuites de cuves, etc...

b) Pollution chronique

Elle provient d'un déversement plus ou moins permanent entraînant une modification progressives du milieu ; changement d'aspect de l'eau, dégradation de la faune et la flore, dépeuplement. Ces apports sont multiples, ils peuvent être soit :

Ponctuel

Elle est concentrée sur une faible superficie, elles sont relativement faciles à identifier, à mesurer et à traiter.

Diffus

Il correspond à l'infiltration d'eau polluée en faible concentration sur des superficies étendues.

Intégrés

Ils sont constitués par des apports d'eau douce qui proviennent des fleuves, et qui sont chargés par les différents types de polluants.

IV.1.4. Conséquence sur le milieu aquatique

La pollution aquatique est considérée comme un grand problème auquel est confronté l'environnement, elle a des effets négatifs sur la santé humaine en plus d'autres organismes respectifs. Les conséquences de la pollution des milieux aquatiques sont multiples, elles sont résumées en deux catégories :

IV.1.4.1. Effet sur les ressources vivantes

La majorité des espèces bactériennes causent différentes maladies chez les poissons.

- Augmentation de la fréquence des maladies humaines dont la typhoïde, l'intoxication alimentaire, gastroentérite, diarrhée, dysenterie bacillaire, paratyphoïde, clonorchiose et des infections des yeux et de la peau.
- Mortalité massive des espèces animales par manque d'oxygène dans l'eau.
- Diminution de la bioproduktivité des zones humides, des lagons et des deltas.
- Prolifération des algues toxiques.
- Accumulation des métaux lourds (mercure, cadmium, etc...) dans certains organismes aquatiques tels que les coquillages, les poissons présente un risque potentiels pour la consommation humaine.
- Diminution de la biodiversité et la disparition de nombreuses espèces aquatiques.
- Dépôts de la matière organique dans le fond de milieu entraîne la disparition de certaines prairies tels les herbiers de *Posidonia oceanica* et affecte la faune benthique.
- Affecte le système immunitaire des poissons soit directement, soit indirectement par la modification de la qualité de l'eau.

IV.1.4.2. Effet sur l'environnement

La plupart des organismes aquatiques sont très sensibles à toute variation dans l'environnement, ils réagissent à toute pollution de différentes manières (la mort ou la migration vers d'autre habitat).

- Apparition des déchets flottants ou en suspension dans l'eau diminue la qualité esthétique des milieux aquatiques.
- Accumulation de déchets inesthétique sur les plages et dans les ports.
- Augmentation de la turbidité de l'eau réduit le taux d'oxygène dans l'eau.
- Dégradation des zones humides et végétation submergées.
- Envasement des lagons et des eaux côtières.
- Eutrophisation des lagons, des baies et des golfes semi fermé qui se manifeste par salissure des plages par les algues en décomposition.

IV.2. Eutrophisation des milieux aquatiques

IV.2.1. Définition

L'eutrophisation est un mot grec, il dérive du mot eutrophe, il désigne bien nourri. Ce phénomène est défini comme une prolifération algale suite à l'enrichissement des eaux en sels nutritifs notamment en phosphates (Figure 19). Elle est définie par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques comme étant "Un enrichissement de l'eau par des sels nutritifs qui provoque des changements structurels de l'écosystème tels que : augmentation de la production d'algues et des plantes aquatiques, épuisement des espèces de poissons, détérioration générale de la qualité de l'eau et autres effets qui réduisent et empêchent l'utilisation".



Figure 19 : Eutrophisation des plans d'eau (www.planet-vie.ens.fr)

IV.2.2. Conditions d'eutrophisation

Plusieurs conditions doivent être réunies, afin de développer le phénomène d'eutrophisation telles que :

- Augmentation continue de l'apport de nutriments, principalement l'azote et le phosphore jusqu'à ce qu'il dépasse la capacité de la masse d'eau à se purifier lui-même, elle dépend principalement de trois facteurs : Utilisation d'engrais, Rejet des eaux usées dans les plans d'eau et la réduction de la capacité d'auto-purification (Figure 20).



Figure 20: Diversement des eaux usées en milieu naturel (Eniscuola.net)

- Zone abritée où l'hydrodynamisme est faible et l'absence de renouvellement d'eau.
- Température ambiante et éclairage suffisant.

IV.2.3. Mécanisme d'eutrophisation

Ce phénomène est illustré dans la Figure 21. Lorsque les conditions de l'eutrophisation sont réunies, la biomasse végétale commence à se développer de manière incontrôlée, générant progressivement une diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau.

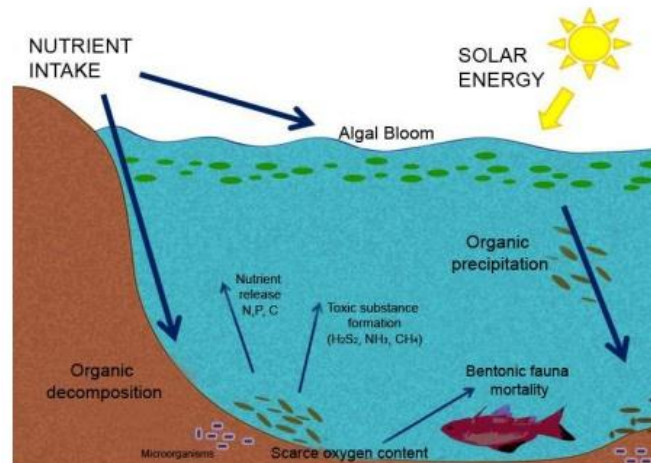


Figure 21 : Mécanisme d'eutrophisation des milieux aquatiques (Feem re-elaboration from Arpa Umbria 2009 in Eniscuola.net)

Des proliférations d'espèces végétales opportunistes, adaptées à ces nouvelles conditions environnementales, vont alors remplacer les espèces présentes initialement, induisant des changements dans la structure et le fonctionnement de l'ensemble des communautés (végétaux, zooplancton, faune benthique, poissons, etc.).

Dans les eaux profondes, une grande quantité de substance organique s'accumule, représentée par les algues mortes. Pour la dégradation de ces algues, une consommation excessive d'oxygène est nécessaire par les micro-organismes. Un environnement anoxique est ainsi créé sur le fond du lac, avec la croissance d'organismes capables de vivre en l'absence d'oxygène (anaérobie), responsables de la dégradation de la biomasse.

Les micro-organismes, décomposant la substance organique en anoxie, entraîne l'émission de gaz toxiques (CO_2 , H_2S et CH_4).

L'absence d'oxygène réduit la biodiversité causant, en certains cas, voire la mort d'espèces animales et végétales. Tout cela se produit lorsque le taux de dégradation des algues par micro-organismes est supérieur à celui de la régénération de l'oxygène, qui est en été, déjà présente à des faibles concentrations.

Tout ce processus favorise la prolifération de certaines algues toxiques.

IV.2.4. Conséquences d'eutrophisation

L'eutrophisation des milieux aquatique génère des conséquences sur l'environnement et sur l'homme, Nous citons :

Chapitre IV : Pollution et eutrophisation des milieux aquatiques

- Les cycles biologiques s'accélèrent, la production de matière organique et de déchets, augmentent ; leur dégradation appauvrit encore le milieu en oxygène.
- Production d'oxygène par photosynthèse reste importante en surface seulement.
- Turbidité de l'eau ne permet pas la pénétration des rayons lumineux en profondeur et par conséquent la diminution de la photosynthèse (Figure 22).



Figure 22 : Nappe d'algue sur la surface empêche la pénétration de la lumière et la diffusion d'oxygène (eniscuola.net)

- Répartition des espèces du zooplancton et du phytoplancton est profondément modifiée.
- Coloration des eaux.
- Forte désoxygénation du milieu.
- Changement d'espèce et perte de biodiversité.
- Modification de la qualité organoleptique du milieu.
- Acidification du milieu et libération des toxines.
- Menace de l'environnement et l'économie du pays, car elle a des impacts sur la production conchylicole, la pêche, le tourisme, ainsi que la santé humaine.
- Mortalité du poisson à cause de manque d'oxygène (Figure 23).



Figure 23 : Mortalité de poisson (eniscuola.net)

Quiz

1/ Quel est le facteur déclencheur de l'eutrophisation des plans d'eau ?

- Oxygène dissous
- Faible courantologie
- Orthophosphates
- Lumière

2/ La pollution de l'eau est une perturbation anthropique liée principalement à l'industrie.

- Vrai
- Faux

3/ En fonction de type d'activité, définir la type de pollution générer

Rejet des eaux usées	Station pétrolière	Agriculture
Rejets des stations électriques	Station de dessalement d'eau de mer	Aquaculture en mer

Pollution chimique	Pollution physique	Pollution microbiologique
---------------------------	---------------------------	----------------------------------

Chapitre V. Biosurveillance des écosystèmes aquatiques

Ce chapitre traite les principes de la biosurveillance des écosystèmes aquatiques ainsi que les indices biologiques.

V.1. Définition et objectifs

La biosurveillance des écosystèmes aquatiques constitue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale, afin de préserver l'environnement contre les menaces causées essentiellement par l'homme (pollution). La biosurveillance consiste à utiliser les espèces végétales et animales pour évaluer l'état de santé des écosystèmes aquatiques.

La biosurveillance des écosystèmes aquatiques présente de nombreux objectifs, nous citons principalement :

- Évaluer la qualité des milieux aquatiques ;
- Protéger la qualité des ressources en eau ;
- Réduire les rejets de substances dangereuses ;
- Mesurer la réponse et le rétablissement des communautés aquatiques suite à des perturbations anthropiques (espèce sensible, espèce résistante, espèce tolérante);
- Protéger la biodiversité ;
- Améliorer la compréhension des relations entre les composantes physiques, chimiques et biologiques d'un écosystème.
- Protection de la santé publique.

Les bioindicateurs, bioaccumulateurs, ... etc. réfèrent dans le processus d'analyse de divers indicateurs biologiques qui s'inscrit dans la bio-surveillance de la qualité des écosystèmes aquatiques.

▪ **Bioindicateur**

C'est un organisme ou un ensemble d'organisme qui, par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques, permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème aquatique et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications naturelles ou provoquées.

▪ **Bioaccumulation**

Elle consiste à l'assimilation des polluants par un organisme vivant soit par adsorption ou bien par absorption, dont la concentration augmente avec le temps et devient plus élevée que dans son environnement (exemple les mollusques bivalves).

▪ **Bioamplification**

Elle se définit comme l'accumulation d'une substance le long d'une chaîne trophique *via* l'absorption des substances généralement organiques provenant des nutriments par l'épithélium de l'intestin.

▪ **Biocentration**

Il se réfère à l'absorption directe des substances présentes dans le milieu environnant par le biais de tissus ou d'organes.

▪ **Biomarqueurs**

Elle consiste aux changements biochimiques ou physiologiques observables et/ou mesurable au niveau cellulaire, moléculaire ou tissulaire.

V.2. Avantages de l'utilisation des espèces pour l'évaluation de la qualité des eaux

La surveillance de la qualité du milieu basée exclusivement sur le suivi des paramètres physico-chimiques ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème, puisqu'elle ne fournit pas de renseignement sur la qualité de l'habitat. Elle se limite à l'étude des polluants présents à des concentrations supérieures aux limites de détection des méthodes analytiques. La Biosurveillance est donc un outil indispensable pour évaluer la santé des écosystèmes.

En effet, l'utilisation des espèces végétales et animales présente de nombreux avantages par rapport aux moyens de mesure instrumentaux traditionnels, afin de répondre à un large éventail de problématiques, parmi les avantages nous citons :

- Plus économique puisqu'elle permet généralement d'éviter l'emploi du matériel technologique coûteux.
- Gagner le temps.
- Détection précoce des polluants ou des perturbations grâce aux bioaccumulations.
- Renseigne sur la nature et la quantité des polluants dans l'eau.
- Renseigne sur la biodisponibilité des polluants plutôt que sur leur concentration dans le milieu.
- Apporter des nouvelles connaissances scientifiques sur les risques associés à l'utilisation des molécules potentiellement toxiques dans l'agriculture ou dans l'industrie et leur effet sur le milieu aquatique.

- Évaluer les risques d'un rejet (effluent urbain ou industriel, eaux de refroidissement, eaux pluviales...) sur la vie aquatique.

V.3. Caractéristiques des espèces utilisées en biosurveillance

Les animaux et les végétaux qui colonisent les milieux aquatiques possèdent des exigences diverses vis-à-vis de ce milieu. Certains organismes vivants pourront ainsi être sensibles à des variations des paramètres physicochimiques (pH, température), à des modifications du contexte nutritionnel (composés minéraux ou matière organique). Ces organismes sont donc susceptibles de réagir aux modifications du milieu aquatique et peuvent alors servir d'indicateur de la perturbation existante (pollution). La majorité des espèces utilisées dans les programmes de la biosurveillance des écosystèmes aquatiques possèdent les caractéristiques suivantes :

- Faculté à accumuler les polluants.
- Large répartition géographique.
- Espèces benthiques.
- Facile à échantillonner.
- Tolérance aux perturbations et aux stresses.
- Exposition permanente aux variations des paramètres du milieu.
- Espèce photosensible (espèce exigeante en termes de qualité de l'eau, leur présence témoigne l'absence de la pollution) ou polluo-resistantes (espèce qui peut vivre dans un milieu pollué).

V.4. Indices biologiques

L'indice biotique correspond à une évaluation quantitative de la qualité des écosystèmes sur la base de l'abondance relative des espèces, de la présence/absence des espèces indicatrices ou en fonction de l'occurrence et de l'ampleur des changements observés chez les bioindicateurs.

Ces indicateurs biologiques sont à l'origine de l'émergence de méthodes standardisées basées sur l'étude de la présence de certaines espèces indicatrices ou de la richesse du milieu (nombre d'espèces) en certains organismes spécifiques.

a. Indice biologique global normalisé (IBGN)

L'indice biologique global normalisé (IBGN) est l'indice biologique le plus ancien et le plus utilisé. Il se base sur la présence et l'absence de groupes faunistiques indicateurs de peuplements de macro-invertébrés benthique. Ces groupes sont choisis en fonction de leur sensibilité aux pollutions aussi bien organiques que physicochimiques, mais aussi à toute perturbation naturelle ou artificielle du milieu.

1) Principe

La détermination de l'IBGN se fait par prélèvement de la macrofaune benthique par station en suivant un protocole d'échantillonnage représentatif des différents types d'habitats (nature du support, vitesse du courant), puis par le tri et l'identification des taxons. La valeur de l'IBGN est déterminée à l'aide d'un tableau affectant une valeur de 1 (mauvaise qualité) à 20 (bonne qualité) en fonction des taxons indicateurs et de leur variété.

2) Mode opératoire

La détermination de cet indice passe par une série d'étape :

✓ Prélèvement

Le prélèvement des échantillons est réalisé à l'aide d'une épuisette de Surber (taille de la maille > 500 μ m) (Figure 24).

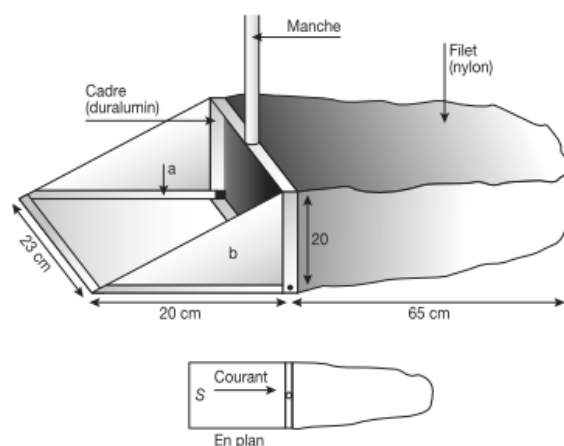


Figure 24: épuisette de Surber (Rodier *et al.*, 2009)

L'échantillonnage des macroinvertébrés est réalisé suivant un protocole d'échantillonnage spécifique, avec 8 prélèvements par station (Tableau 5).

Tableau 5: Protocole d'échantillonnage utilisé pour IBGN (Rodier *et al.*, 2009).

Catégorie du support	Support	Vitesse superficielle V(cm/s)				
		V≤5	5≤V≤25	25≤V≤75	75≤V≤150	V≤150
9	Bryophytes					
8	Spermaphytes immergés					
7	Elements organiques grossiers (litières, brachages, racines)					
6	Sédiments minéraux de grandes taille (pierres, galets) 250mm>Ø≤25 mm					
5	Granulats grossiers 250mm>Ø≤25 mm					
4	Spermaphytes émergents de la strate basse					
3	Sédiments fins ±organiques vases Ø≤0,1 mm					
2	Sables et limons Ø≤2,5 mm					
1	Surfaces naturelles et artificielles (roches, dalles, sols, parois) blocs Ø>250 mm					
0	Algues ou défaut, marnes et argiles					

✓ **Traitement des échantillons**

Il est réalisé par le tri et l'identification afin d'établir un listing des taxons identifiés. Ces derniers sont organisés suivant le répertoire des organismes retenus pour le calcul de l'IBGN, il contient 152 taxons (Tableau 6). Parmi les 152 taxons susceptibles d'être présents, 38 taxons ont été sélectionnés comme indicateurs, ils sont soulignés dans le même tableau.

Les 38 taxons indicateurs sont répartis en 9 groupes faunistiques indicateurs (GI) selon leur caractère polluo-sensible. Les numéros attribués à ces différents groupes faunistiques correspondent aux exigences des invertébrés vis-à-vis de la qualité du milieu, les groupes faunistiques 9 et 8 étant les plus exigeants.

3) Calcul et expression des résultats

Le calcul de l'indice se fait par la détermination de deux variables (Σt , GI), en utilisant le tableau de détermination, comprenant en ordonnée les 9 groupes faunistiques indicateurs et en abscisse les 14 classes de variété taxonomique (Tableau 7). La variété taxonomique de l'échantillon (Σt), égale au nombre total des taxons répertoriés dans les 8 prélèvements réalisés sur une station même s'ils ne sont représentés que par un seul individu. Ce nombre est

confronté aux classes figurant en abscisse du tableau 6. Groupe faunistique indicateur (GI), en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 individus ou 10 individus selon les taxons. On recherche le taxon appartenant au groupe faunistique indicateur –le plus élevé (9 s'il en existe, sinon 8, voire 7 en absence de taxons des groupes précédents,...). C'est le taxon qui appartient au groupe faunistique le plus élevé qui sera retenu. L'IBGN est déduit en utilisant le tableau 6, il correspond à l'intersection du groupe faunistique(GI) avec le nombre total de taxons (Σt).

Tableau 6 : liste des 152 taxons utilisés² (Rodier *et al.*, 2009).

INSECTES	HÉTÉROPTÈRES	Scatophagidae	MOLLUSQUES	
PLÉCOPTÈRES <u>Capniidae</u> <u>Chloroperlidae</u> <u>Leuctridae</u> <u>Nemouridae</u> <u>Perlidae</u> <u>Perlodidae</u> <u>Taeniopterygidae</u>	<u>Aphelocheiridae</u> Corixidae Gerridae Hebridae Hydrometridae Naucoridae Nepidae Notonectidae Mesoveliidae Pleidae Veliidae	Sciomyzidae Simuliidae Stratiomyidae Syrphidae Tabanidae Thaumaleidae Tipulidae	BIVALVES Corbiculidae Dreissenidae Margaritiferidae Sphaeriidae Unionidae GASTÉROPODES Ancyliidae Acroloxidae Bithynidae Ferrissidae Hydrobiidae Lymnaeidae Neritidae Physidae Planorbidae Valvatidae Viviparidae	
TRICHOPTÈRES Beraeidae <u>Brachycentridae</u> Calamoceratidae Ecnomidae <u>Glossosomatidae</u> <u>Goeridae</u> Helicopsychidae <u>Hydropsychidae</u> <u>Hydroptilidae</u> <u>Lepidostomatidae</u> <u>Leptoceridae</u> <u>Limnophilidae</u> Molanidae Odontoceridae <u>Philopotamidae</u> Phryganeidae <u>Polycentropodidae</u> Psychomyiidae <u>Rhyacophilidae</u> <u>Sericostomatidae</u> Uenoidae	COLÉOPTÈRES Curculionidae Chrysomelidae Dryopidae Dytiscidae <u>Elmidae</u> Gyrinidae Haliplidae Helodidae Helophoridae Hydraenidae Hydrochidae Hydrophilidae Hydrosaphidae Hygrobiidae Noteridae Psephenidae Spercheidae	ODONATES Aeschnidae Libellulidae Zygoptera Coenagrionidae Cordulegasteridae Corduliidae Gomphidae Lestidae Libellulidae Platycnemididae	VERS PLATHELMINTHES TRICLADES Dendrocoelidae Dugesidae Planariidae ANNÉLIDES ACHÈTES Branchiobdellidae Erpobdellidae Glossiphoniidae Hirudidae Piscicolidae OLIGOCHÈTES NÉMATHÉLMINTHES	
ÉPHÉMÉROPTÈRES Ameletidae <u>Baetidae</u> Caenidae <u>Ephemerellidae</u> Ephemeridae <u>Heptageniidae</u> Isonychidae <u>Leptophlebiidae</u> Neophemeridae Oligoneuridae <u>Polymitarcidae</u> Potamanthidae Prospistomatidae Siphonuridae	DIPTÈRES Anthomyidae Athericidae Blephariceridae Ceratopogonidae Chaoboridae <u>Chironomidae</u> Culicidae Cylindrotomidae Dixidae Dolichopodidae Empididae Ephyridae Limoniidae Psychodidae Ptychopteridae Rhagionidae	MÉGALOPTÈRES Sialidae PLANIPENNES Neurothidae Osmylidae Sysyridae HYMÉNOPTÈRES Agriotypidae LÉPIDOPTÈRES Crambidae	CRUSTACÉS BRANCHIPODES AMPHIPODES Corophiidae Crangonyctidae <u>Gammaridae</u> Niphargidae Talitridae ISOPODES <u>Asellidae</u> DÉCAPODES Astacidae Atyidae Cambaridae Grapsidae Potamonidae	HYDRACARIENS HYDROZOAIRES SPONGIAIRES BRYOZOAIRES NÉMERTIENS

²Les 38 taxons indicateurs sont soulignés

Exemple

Si le groupe faunistique 9 n'est pas représenté sur la station et que 3 ou plus d'individus (du même taxon) du groupe faunistique indicateur 8 sont présents (on a alors $GI = 8$), et si le nombre total de taxons présents sur la station est de 29 ($\Sigma t = 29$), l'IBGN sera égal à 16.

Si le groupe faunistique indicateur le plus élevé représenté sur la station –est le groupe 3 et que dans ce groupe seul des *Ephemerellidae* sont présentes, il faudra avoir au moins 10 individus pour retenir $GI = 3$.

Tableau 7: Tableau de détermination de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique des invertébrés aquatiques (Rodier *et al.*, 2009).

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
		Variété taxonomique (t)													
Taxons indicateurs	Groupe indicateur (Gi)	> 50	49 45	44 41	40 37	36 33	32 29	28 25	24 21	20 17	16 13	12 10	9 7	6 4	3 1
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlébiidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae (*) Ephemerellidae (*) Hydropsychidae Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae (*) Caenidae (*) Elmidae (*) Gammaridae (*) Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae (*) Asellidae (*) Achètes Oligochètes (*)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

*Taxons représentés au moins par 10 individus. Les autres au moins par 3 individus

L'interprétation des résultats de l'IBGN prend en considération plusieurs paramètres tels que :

- Largeur du lit mouillé au moment du prélèvement ;
- Nature du support et la vitesse d'écoulement correspondante
- Liste des taxons prélevés en précisant éventuellement leur abondance relative ;
- Indice biologique global normalisé (IBGN).

Pour une représentation cartographique des résultats, chaque station de cours d'eau peut être affectée, suivant la valeur de l'IBGN, d'une couleur selon le tableau 8.

Tableau 8 : Echelle utilisée pour la cartographie des résultats de l'IBGN
(Rodier *et al.*, 2009).

IBGN	>17	16-13	12-9	8-5	< 4
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

b. Indice biologique Macrophytique en rivière (IBMR)

Les macrophytes sont toutes les plantes aquatiques visibles à l'œil nu, qu'il s'agisse de plantes à fleurs, de fougères, de mousses ou d'algues. Ils sont très sensibles aux modifications des concentrations en substances nutritives (en particulier pour le phosphore et l'ammonium) et aux pollutions organiques, les plantes aquatiques possèdent une aptitude élevée à traduire les variations de qualité physicochimique des eaux à partir de la composition des communautés macrophytiques.

1) Principe

La détermination de l'IBMR repose sur une observation *in situ* des peuplements macrophytiques, avec l'élaboration d'un relevé exhaustif et l'estimation des taux de recouvrements. Un prélèvement n'est pas obligatoire, mais il peut s'avérer nécessaire pour une vérification taxonomique.

2) Mode opératoire

La détermination de cet indice est réalisée à travers les étapes suivantes :

- Relevé de terrain : repérage du tronçon, recherche de 2 faciès, 1 faciès courant et 1 faciès lent.

- Utilisation d'un tronçon avec une surface bien définie (Figure 25).
- Inventaire des espèces présentes dans le tronçon.



Figure 25 : Exemple de réalisation d'un quadrat pour la détermination de taux de recouvrement

3) Expression des résultats

Elle se fait à travers l'estimation de taux de recouvrement. Cette dernière permet de définir le pourcentage de substrat couvert par des macrophytes permet de déterminer des coefficients de recouvrement (K_i) qui sont répartis en 5 classes (Tableau 9).

Tableau 9 : Estimation de coefficients de recouvrement (K_i) pour IMR (Rodier *et al.*, 2009).

	Abondance et recouvrement de l'espèce (%)	Valeur de K_i
Espèce juste présente	$< 0,1$	1
Espèce peu recouvrante et peu fréquente	$0,1 < \text{Recouvrement} < 1$	2
Espèce assez recouvrante et assez fréquente	$1 < \text{Recouvrement} < 10$	3
Espèce moyennement recouvrante	$10 < \text{Recouvrement} < 50$	4
Espèce très recouvrante et très abondante	> 50	5

c. Indice biologique des diatomées (IBD)

Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires pourvues d'un squelette siliceux comportant deux valves emboîtées (frustule). Il en existe des milliers d'espèces dans le monde et elles vivent dans les eaux douces, ou dans les milieux salins (estuaires et eaux de mer) (Figure 26). Leur choix en tant que bioindicateurs est apparu comme pertinent puisque les

diatomées peuplent les cours d'eau tout au long de l'année, qu'elles réagissent aux perturbations du milieu aquatique et qu'il est possible d'analyser la flore diatomique benthique avec une bonne fiabilité.

Certaines pollutions chimiques, matière organique, composés azotés et phosphorés provoquent un changement des communautés de diatomées dans le tronçon concerné, les espèces sensibles disparaissant au profit d'espèces plus résistantes. L'examen des espèces (nature, nombre et fréquence) permet d'estimer l'état de pollution du cours d'eau au cours des semaines précédant le prélèvement.

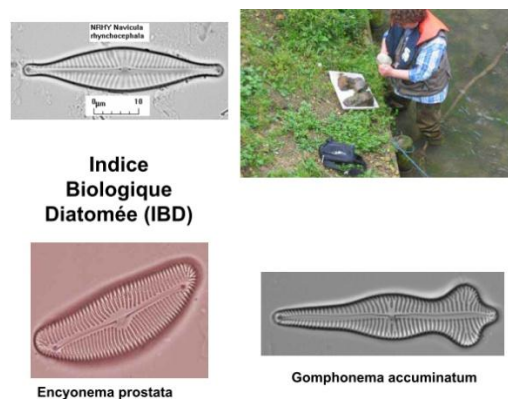


Figure 26 : Exemple de Diatomée utilisées dans l'IBD.

1) Principe

Il est fondé sur la probabilité de présence du taxon Indicateur, regroupé dans une liste exhaustive de 1488 taxons dans les échantillons traités pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Les diatomées benthiques prélevées sur le site sont déposées sur une lame puis identifiées et dénombrées au microscope. Le dénombrement des taxons intervenant dans cet indice permet de calculer une note comprise entre 0 et 20, qui est en relation directe avec la qualité du milieu, les notes supérieures à 15 concernent des milieux de bonne qualité.

2) Mode opératoire

Il est fait en succession d'étapes

✓ Échantillonnage

Il est réalisé à l'aide d'un couteau ou petite brosse à poils durs pour gratter les supports durs (pierres, galets...). L'échantillonnage sera réalisé préférentiellement sur des supports durs naturels, les plus stables possibles, l'ordre de choix étant le suivant : blocs, galets, cailloux. En leur absence, on se tournera vers des supports durs non naturels (piles de ponts par exemple),

puis vers des supports de nature végétale (algues filamenteuses, bryophytes, végétaux supérieurs).

✓ Préparation de l'échantillon

Sur le terrain, on ajoute du formol à l'échantillon pour la conservation.

✓ Identification

Une analyse floristique après préparation des lames est réalisé pour l'observation des échantillons et la détermination à l'espèce voire la sous-espèce, à l'aide d'un microscope optique.

✓ Inventaires des taxons

Procéder à l'inventaire de 400 diatomées en identifiant les diatomées faisant partie des 1488 taxons référencés.

3) Calcul et expression des résultats

À partir de la liste floristique établie, deux indices biologiques peuvent être calculés à savoir l'Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS) et l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Ils sont basés sur l'abondance relative des taxons identifiés.

- **Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS)** est un indice fondé sur la pondération "abondance-sensibilité spécifique". Il présente l'avantage de prendre en compte la totalité des espèces présentes dans les inventaires. Il permet de donner une note à la qualité de l'eau variant de 1 (eaux très polluées) à 20 (eaux pures).
- **Indice Biologique Diatomées** est calculé à partir des taxons contributifs. Il prend en compte l'abondance de chaque taxon et la répartition des différentes espèces suivant plusieurs classes de qualité de l'eau. Il utilise 209 taxons repères dont 57 appariés.

Les classes de qualité des eaux, ainsi que la couleur attribuée sont représentées dans le Tableau 10.

Tableau 10: Echelle de IBD utilisée pour définir l'état écologique ainsi la classe et la couleur correspondante (<http://www.hydrobioloblog.fr>)

Valeurs IBD	1-5	5-9	9-13	13-17	17-20
Classe /couleur	E	D	C	B	A
Etat écologique	Très mauvais état	Mauvais état	Etat moyen	Bon état	Très bon état

d. Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments (IOBS)

Cet indice est basé sur la détermination de la richesse taxonomique en oligochètes d'un échantillon. Il est applicable à l'ensemble des cours d'eau (ainsi qu'aux eaux saumâtres) pourvus de sédiments fins ou sableux, permanents ou stables et son domaine d'application s'étend aux lacs et retenues.

Les oligochètes considérées dans cet indice sont les formes limicoles, ce sont des organismes multicellulaires vermiforme, aplati ou cylindrique et sans pattes, les oligochètes sont de forme régulière à symétrie bilatérale. Leur corps sans tête distincte, avec une bouche sans mâchoires est revêtu de soies locomotrices peu nombreuses, d'où le nom d'oligochètes (Figure 27).

Leur taille varie de quelques millimètres à quelques centimètres. Les rejets toxiques limitent leur développement, mais ils possèdent des facultés d'adaptation étonnantes, avec modification possible du cycle de reproduction. C'est la famille des *Tubificidae*, la plus tolérante à la pollution. En relation directe avec la qualité de l'eau qui les baigne, ces oligochètes sont utilisés comme des descripteurs des activités anthropiques sur les milieux aquatiques. Les différences de sensibilité des familles d'oligochètes à la pollution permettent à l'indice oligochète de traduire l'impact de pollution.



Figure 27 : Oligochètes de la famille *Tubificidae* utilisés pour l'IOBS

(<https://www.mdfrc.org.au/bugguide/>)

1) Principe

Des oligochètes sont prélevés dans les sédiments des cours d'eau, selon un protocole précis qui prend en compte le type de sédiment présent. Après extraction par tamisage, les oligochètes sont montés entre lame et lamelle puis identifiés et dénombrés au microscope. Le calcul de l'Indice Oligochète de Bioindication des Sédiments (IOBS) est basé sur l'examen de

100 oligochètes identifiables. Le nombre total d'oligochètes identifiés rapporté au pourcentage du groupe de *Tubificidae* permet le calcul de l'indice oligochète.

2) Mode opératoire

✓ Echantillonnage

Il est pratiqué dans le substrat meuble, avec un carottier, filet de type Surber ou à la benne.

✓ Prétraitement de l'échantillon sur le terrain et conservation

- Verser le prélèvement dans une cuvette à bec et ajouter de l'eau.
- Verser le mélange sur un tamis de 0,315 mm. Cette opération est répétée au moins 10 fois.
- Transférer les refus du tamis vers le récipient de stockage.
- Conservation par le formol à 5 %.

✓ Récupération des oligochètes par tamisage de l'échantillon

- Effectuer un tamisage sous eau courante à débit modéré à l'aide d'une colonne à 2 tamis.
- Réalisation de premier tamisage supérieur (maille est de 2,5 à 5 mm).
- Effectuer le deuxième tamisage (maille de 0,50mm) pour la récupération de majorité des oligochètes.
- Récupération des oligochètes dans des boîtes.
- Examen des boîtes à la loupe binoculaire à grossissement moyen (X 10) pour la récupération de 100 oligochètes identifiables.

✓ Examen des oligochètes par microscope pour l'identification des taxons

Les 100 oligochètes sont déposés sur une lame pour permettre l'observation des soies à l'aide d'un microscope à immersion, afin de procéder à la détermination des taxons.

3) Expression des résultats

La détermination de cet indice est basée sur l'examen de 100 taxons identifiables. Soit :

S : le nombre total de taxons identifiés parmi les 100 oligochètes.






T : le pourcentage du groupe dominant de *Tubificidae*, avec ou sans soies capillaires, matures et immatures confondus.

L'Indice Oligochète de Bioindication des Sédiments (IOBS) s'exprime alors par la formule :

$$IOBS = \frac{10 * S}{T}$$

L'interprétation des résultats obtenus sont réalisés suivant le tableau 11.

Tableau 11 : Interprétation des valeurs de IOBS (Rodier *et al.*, 2009).

IOBS	< 1	1≤IOBS<2	2≤IOBS<3	3≤IOBS<6	≥ 6
Qualité biologique des sédiments (l'eau)	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
Couleur					

Le tableau 12 résume les principaux indices biologiques utilisés pour le suivi de la qualité des écosystèmes aquatiques.

Tableau 12: Récapitulatif des indices biologiques utilisés pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes aquatiques.

Indice biologique	Principe	Espèces étudiées	Rôle/Indication	Notation	Domaine d'application
Indice biologique global normalisé (IBGN)	Présence et l'absence de groupes faunistiques indicateurs de peuplements de macro-invertébrés.	Macro invertébrés benthique (Insecte, mollusque, crustacés)	Pollution organique Pollution physicochimiques Perturbation naturelle ou artificielle du milieu	0 à 20 Une note ≥ 17 une eau très bonne qualité	Eau courante. Amont et aval d'un rejet
l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière	Observation <i>in situ</i> et détermination de taux de recouvrement	Flore aquatique	Pollution organique Modification des paramètres physicochimiques	0 à 14 (ou plus) une note > 14 très bonne qualité (eutrophisation très faible)	Cours d'eau faciès lentiques faciès lotiques
Indice biologique des diatomées (IBD)	Probabilité de présence du taxon Indicateur, regroupé dans une liste exhaustive de 1488 taxons	Diatomées	Pollution organique Pollution chimique	0 à 20 une note ≥ 17 très bonne qualité	Cours d'eau
Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments (IOBS)	Détermination de la richesse taxonomique en oligochètes d'un échantillon.	Oligochètes limicoles (Exp <i>Tubificidae</i>)	Pollution par les métaux lourds Pollution organique	0 à 10 une note > 6 très bonne qualité	Cours d'eau Lac barrage Retenus Ecosystèmes de substrat meuble

Quiz

1/ Les espèces bioindicateurs sont utilisés pour :

- Détecter la présence de pollution
- Estimer la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau
- Modification de la qualité physico-chimique de l'eau
- Etudier la santé de l'écosystème aquatique
- Déterminer la variation spatio-temporelle des paramètres du milieu

2/ l'IBGN se base sur l'inventaire des macro invertébrés dans les eaux courantes

- Vrai
- Faux

Chapitre VI :Contamination microbienne

A l'issu de ce chapitre, l'origine de la contamination microbienne dans le milieu aquatique ainsi que les principaux germes indicateurs de contamination fécale sont expliqués.

VI.1. Définition et origine

Le microbiote aquatique contribue de manière substantielle à la durabilité des écosystèmes aquatiques naturels, Il joue un rôle clé dans le cycle des nutriments organiques et inorganiques, la respiration et l'élimination des contaminants biologiques et chimiques dans les milieux aquatiques. Cependant, il peut également avoir un impact négatif au tant que agent pathogène, ce qui entraînent de très graves maladies d'origine hydrique chez les humains et les animaux.

La pollution fécale est la principale cause de maladies d'origine hydrique, car la plupart des agents pathogènes associés à la transmission résident dans les excréments humains et animaux à sang chaud.

La contamination des milieux aquatiques par les micro-organismes est d'origine fécale, elle constitue un risque important pour la santé humaine. Ces micro-organismes entériques pathogènes se retrouvent dans les eaux continentales, puis dans les eaux littorales par le biais des rejets résultant des activités urbaines et agricoles.

Les écosystèmes aquatiques pollués par des matières fécales humaines et animales transportent divers microorganismes pathogènes pour l'homme, notamment des bactéries, des virus et des protozoaires. Ceux-ci sont le plus souvent transmis par voie féco-orale, et la contamination de l'homme se réalise alors soit par consommation d'eau de boisson, soit par consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit encore lors de la baignade.

VI.2. Contamination des écosystèmes aquatiques par les microbes

La contamination par les micro-organismes peut toucher les eaux douces (rivières, lacs, réservoirs, eaux souterraines) ainsi que les eaux marines (estuaires et eaux côtières). Elle constitue une cause majeure de la dégradation de la qualité des eaux par la pollution.

Les sources de contamination des eaux marines par les microbes sont résumées par les points suivants :

- Eaux de ruissellement et les égouts urbains.
- Rejets d'eaux usées traitées et non traitées du littoral émissaires et rejets non ponctuels.

- Ruissellement des eaux pluviales sur des terrains urbains,
- Rejets industriels.

VI.3. Germes indicateurs de contamination fécale

La présence des indicateurs de contamination fécale provoque des maladies associées à la contamination fécale et ils peuvent véhiculer les bactéries pathogènes.

L'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont en plus grand nombre souvent présentes dans l'intestin des mammifères.

VI.3.1. Coliformes totaux

Coliformes totaux sont regroupées certaines espèces bactériennes appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Selon l'organisation internationale de standardisation (ISO), les coliformes correspond à des organismes en bâtonnets ,non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence des sels biliaires ou autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaire et capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures ,à des température de 35 à 37°C .

Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud où ils représentent moins de 10% des microorganismes.

VI.3.2. Coliformes thermotolérants

Les coliformes thermotolérants (dont la majorité est d'origine fécale) sont un sous-groupe des coliformes totaux avec la caractéristique de dégrader le lactose avec production de gaz à 44°C.

Ils sont en grande majorité représentés par *Escherichia coli* (entre 95 et 98%). Cette bactérie a l'avantage d'être fortement spécifique d'un habitat normal intestinal et de ne pas se multiplier dans l'environnement, sa présence traduit donc une contamination fécale récente

VI.3.3. Streptocoques fécaux ou entérocoques

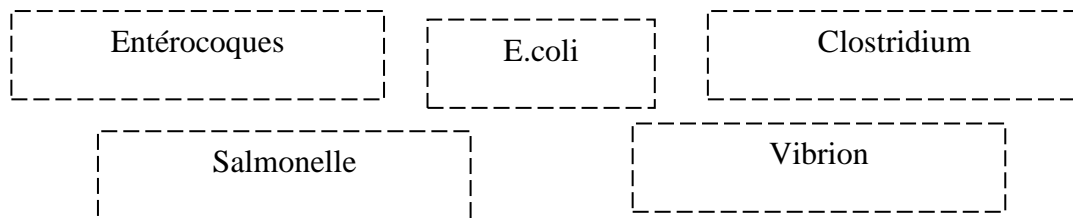
Les *Entérocooccus*, coques à Gram positif, cultivant en aérobiose, catalase négative et esculinase positive en général, sont des bactéries des matières fécales. Ceux sont des bactéries commensales de la flore intestinale humaine et animale. L'apport des entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles ; leur présence serait donc le signe d'une contamination fécale de l'eau plus ancienne.

VI.3.4. Clostridium Sulfitoréducteurs

Ce sont des bacilles à Gram positif, anaérobies strictes, sporulés, commensaux de l'intestin, telluriques, réduisant les sulfites en sulfures. Ils existent sous formes végétatives ou sporulées très résistante. Les *Clostridium* Sulfitoréducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme sporulée, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente.

Quiz

1/ Classer les germes ci-dessous dans le tableau en fonction de leur rôle



Indicateurs de contamination fécale récente	Indicateurs de contamination fécale ancienne	Germes pathogène

Références bibliographiques

AFNOR., 2001. Qualité de l'eau : analyse biochimique, biologique et analyse microbiologique. 8^{ème} Éd. AFNOR, Paris : 695p.

Aminot A, Chaussepied M .,1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin .Ed. CNEXO, Paris : 395 p.

Aminot A., Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins : Paramètres et analyses. Ifremer, Paris, 336p.

Bassem S-M., 2020. Water pollution and aquatic biodiversity. Biodiversity International Journal, Volume 4 (1) : 10-16.

Bazairi H., 2012. Introduction à l'océanographie biologique. Ed Université Mohammed V Agdal, Maroc : 36p.

Benoit-Chabot V., 2014. Les facteurs de sélection des bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maitre en environnement, université de Sherbroog : 104p.

Beraud J., 2004. Le technicien d'analyses biologique : guide théorique et pratique .Ed. Lavoisier, Paris :2083 p.

Boeglin., Ronbaty ., 2007 . Technologie de l'ingénieure. Ed Blans. Paris : 500p.

Collignon J., 1991. Ecologie marine : introduction à l'halieutique. Ed MASSON, Paris : 298p.

Dellarras C., 2007. Microbiologie pratique pour laboratoire : d'analyse ou de contrôle sanitaire. Ed. Lavoisier Médicales internationales, Paris : 467p.

Dejzzar M., 2009. Hydrobiologie. Ed. INPE/Centre Universitaire de Djellali Bounaama de Khemis Miliana, Algérie : 75p.

Dajoz R., 1996. Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris : 551p.

Figarella J., Leyral G., Terret M., 2001. Microbiologie générale et appliquée. Jacques Lanore, Paris, France.

Gardaix J., 2012, Qualité des eaux des lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau : Etude des paramètres azote et phosphore. Rapport de Post-doctorat. Ed. Université de Bordeaux 3 : 68p .

Gaujous D ., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2^{ème} Ed Lavoisier, Paris : 217p .

- Guiraud J-P.,1998. Microbiologie alimentaire. Dunod, Paris, France.
- Guyard A., 1997. Cours de l'hydrobiologie Eaux continentales, pollutions et aménagements.
- Joffin C. Joffin J-N., 2010. Microbiologie alimentaire. 6^{ème} Ed. Bordeaux : CRDP Aquitaine : 334 p.
- Le Pimpec P.,Linéard A.,Bonnard R .,Lafont M ., Cazin B .,Bossard P-H ., Hubert B., Bray M ., 2002 . Guide pratique de l'agent préleveur : chargé de la police des milieux aquatiques .Ed Maurice Merlin :159p.
- Lévêque C., 1996. Ecosystèmes aquatiques. Paris : Hachette, (77), 160 p. (Les Fondamentaux ; 77).
- Obasohan E-E., Agbonlahor D-E., Obano E-E., 2010. Water pollution: A review of microbial quality and health concerns of water, sediment and fish in the aquatic ecosystem. African Journal of Biotechnology Volume 9(4): 423-427.
- Person-le Ruyet J., Boeuf G., 1998. L'azote ammoniacal, un toxique potentiel en élevage de poissons : le cas du turbot.Bulltain Français Pêche Pisciculture : 393-412.
- Pinay G., Gascuel C., Menesguen A., Souchon Y., Le Moal M, et al., 2017. Eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité. Résumé de l'Expertise scientifique collective. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA); Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER); Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA); Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) : 8p .
- Planas D., Vanier C., Lavirotte E., 2007. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac bromont : cahier 2 connaissances et concepts. Ed. Université du Québec à Montréal, Quebec : 23p.
- Ramede F., 2000. Dictionnaire encyclopédique : les polluants de l'environnement à l'homme. Ed. Ediscience international. Paris : 690 p.
- Rejsek F., 2002. Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique .Ed. CRDP d'Aquitaine, France : 358 p .
- Rodier J., Bazin C., Broutin J-P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau : eaux naturelle, eau résiduaires et l'eau de mer. Ed 8^{ème} Dounod, Paris : 1383p.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. 2009. L'analyse de l'eau. Dounod, Paris, France, 1511p.
- Rouane-Hacene O., 2014. Biosurveillance de la qualité des eaux côtière du littoral occidental Algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et bioaccumulation des métaux lourds chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et

l'oursin *Paracentrotus lividus*. Thèse de doctorat en science de l'environnement, Université d'Oran, Algérie.

Schweitzer L., Noblet J., 2018. Water Contamination and Pollution in Green Chemistry In Practice. Ed Elsevier, Chapitre 3 (6): 261 -290.

Wetzel R.G., 2001. Limnology Lake and Reservoir Ecosystems. Academic Press, San Diego: 30p.

Zdzislaw M.1970. Hydrology and hydrobiology. Bulltein of the international Association of scientifique hydrology. 7-11p.

Webographie

www.energierecrut.com

www.wikydro.developpement-durable.gouv.fr/

www.aquaportail.com

www.hesge.ch/hepia

www.Wikipedia.fr

www.obvcapital.org

www.planet-vie.ens.fr

www.eniscuola.net

www.bionova.fr

www.slideplayer.fr

<https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1264>

<https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/seston>