

Chapitre 02 : Analyses biologiques

Dans un écosystème équilibré, chaque organisme présente des exigences particulières. La modification de l'un des caractéristiques de cet environnement peut perturber son équilibre. Il est également possible de prouver l'existence des pollutions à partir de l'étude des communautés animales et végétales. Cela est appelé : étude biologique pour détermination de la qualité de l'environnement.

1-Notion de bio-indicateur :

C'est un organisme (espèce animale, végétale, fongique ou bactérienne) ou un groupe d'organismes, dont la présence ou la situation renseigne sur des caractéristiques écologiques (physico-chimiques, biologiques ou fonctionnelles) d'un écosystème et sa modification naturelle en présence des éléments perturbants. Les bioindicateurs fournissent des réponses aux différents types de pollution de l'environnement.

2-Principaux types de méthodes biologiques utilisées :

2-1-Méthodes biochimiques :

Les biomarqueurs indiquent tout changement observé ou mesuré au niveau moléculaire (biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental) chez un individu, à cause de son exposition à une substance chimique. Il existe plusieurs types de marqueurs à méthodes d'évaluations biochimiques, parmi lesquelles on peut trouver :

- A. Les biomarqueurs d'exposition à un xénobiotique :** par exemple les altérations d'ADN.
- B. Les biomarqueurs d'effets de l'exposition :** par exemple les protéines de choc thermique.
- C. Les biomarqueurs de sensibilité aux effets provoqués par l'exposition :** Comme la synthèse des enzymes.

2-2- Les méthodes écotoxicologiques :

Des niveaux d'organisme qui peuvent appartenir à deux types d'approche :

A-Les tests de toxicité (les bioessais) :

C'est un ensemble de tests d'une population d'organismes aquatiques exposée à un polluant spécifique. Cette technique peut avoir comme but, l'estimation des niveaux de concentration provoquant des effets toxiques (Baisse du niveau des activités physiologiques, baisse du taux de reproduction, mortalité des individusetc). Des concentrations létales (CL 50% et CL 90%) sont estimées durant ces essais toxicologiques.

B-Les bioaccumulateurs :

Ce sont des organismes qui captent et stockent des polluants (Molécules toxiques, éléments traces, pesticides.....etc) dans leurs tissus, comme les bryophytes (Mousses aquatiques). La capacité de bioaccumulation des êtres vivants est estimée par un facteur de concentration (FBC).

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentration d'un composé dans l'être vivant}}{\text{Concentration du même composé dans un milieu environnant}}$$

2-3-Les méthodes biocénologiques :

Elles sont basées sur la composition et la structure du peuplement, Il existe deux voies d'approche pour ces méthodes :

2-3-1- Analyse comparée des biocénoses :

Elle permet de suivre l'évolution des biocénoses dans un espace et un temps précis, Elle se réalise par zonations écologiques (**Fig 01**) et typologiques des cours d'eau qui peuvent être :

❖ Zonation piscicole de Huet (1949) :

Qui divise les cours d'eau selon la largeur et la pente, en plusieurs niveaux habités par différentes espèces marines.

❖ zonation d'Ilies et Botosaneanu (1963) :

Qui divisent les cours d'eau en prenant en compte les espèces des invertébrés benthiques, particulièrement des insectes.

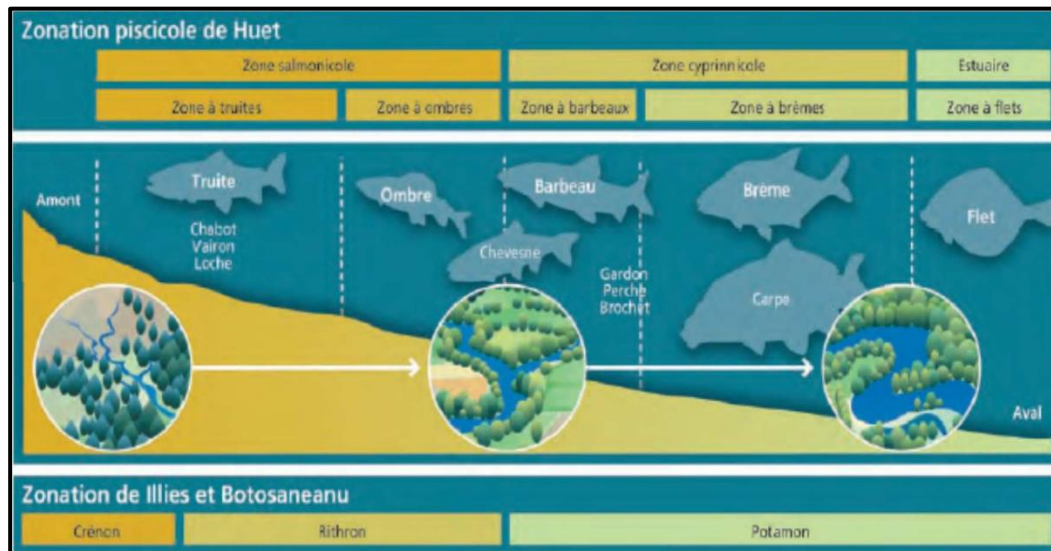


Figure 01. Zonation écologique des cours d'eau

2-3-2-Analyse numérique et statistique des biocénoses :

Il s'agit ici de caractériser la structure du peuplement au moyen d'indices de diversité ou de similarité :

➤ **Indice de diversité (Indice de Shannon weaver) (H') :**

Il exprime la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces d'un peuplement, ainsi que l'abondance des individus au sein des espèces.

L'indice de Shannon-Weaver est donné par la formule suivante :

$$H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$$

Où :

S : nombre total d'espèces

p_i : abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce : $p_i = n_i/N$

n_i : nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon

N : nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

➤ **Indice de similarité :**

Il est essentiellement basé sur la mesure de la similarité entre les échantillons, selon des estimations de distance, de corrélation, de ressemblance et de non ressemblance de deux ou plusieurs groupes d'espèces.

L'indice de similarité est estimé par un coefficient des espèces en similarité (I) selon l'équation suivante :

$$I = \frac{(C \times 100)}{(a + b - c)}$$

Où :

a et b : nombre d'espèces dans chacun des échantillons

c : nombre d'espèces présentes dans les deux échantillons.

3-Etude détaillée des bioindicateurs :

3-1-Bioindicateurs des milieux aquatiques :

3-1-1-Pour les espèces végétales :

3-1-1-1-Indices diatomiques :

Les diatomées (**Fig 02**) sont des algues microscopiques unicellulaires des eaux douces ou salées.

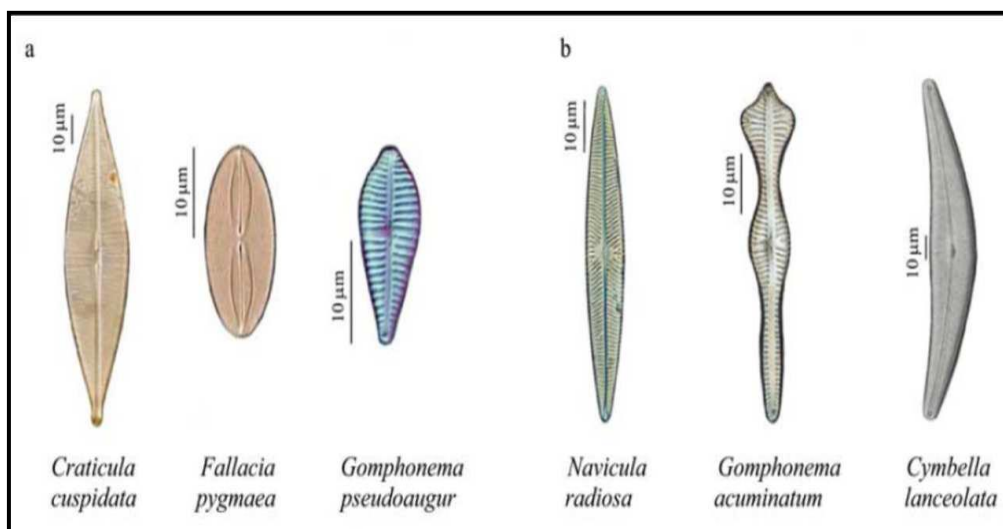


Figure 02. Exemples des diatomées des eaux de bonne qualité (a) et de mauvaise qualité (b)

Les indices des diatomées concernent les paramètres d'eutrophisation, d'acidification, de saprobie et de salinité des milieux aquatiques. Parmi ces indices diatomiques, on peut trouver :

- **Indice de polluosensibilité spécifique :**

C'est le taux de tolérance d'une espèce de diatomées envers une pollution organique dans le milieu aquatique (Présence du phosphore ou du nitrate), il est indiqué par l'équation suivante :

$$IPS1 = \frac{\sum(Ai \times Si \times Vi)}{\sum(Ai \times Vi)}$$

Avec :

A_i : abondance relative de l'espèce i

S_i : valeur de sensibilité de l'espèce i (**Tab 01**).

V_i : valeur indicatrice de l'espèce i (**Tab 01**).

Tableau 01. Sensibilité à la pollution (s) et valeurs indicatrices (v) de quelques espèces :

Genres	Espèces	s	V
Achnanthes	<i>Achnanthes hungarica</i>	2	3
Amphora	<i>Amphora pediculus</i>	4	2
Craticula	<i>Craticula accomoda</i>	1	3
Cyclotella	<i>Cyclotella atomus</i>	2	1
Navicula	<i>Navicula lanceolata</i>	3	1
Neidium	<i>Neidium Iridis</i>	5	2
Melosira	<i>Melosira nummuloides</i>	2	3
Sellaphora	<i>Sellaphora pupula</i>	2	2

Ensuite la valeur IPS est estimée depuis la valeur IPS1 comme suit :

$$IPS = 4.75 \times IPS1 - 3.75$$

Tableau 02. IPS et qualité du milieu

Valeur de IPS	Classification de la pollution	État écologique
$17 \leq \text{IPS} < 20$	Pollution ou eutrophisation nulle à faible	Très bon
$13 \leq \text{IPS} < 17$	Eutrophisation modérée	Bon
$9 \leq \text{IPS} < 13$	Pollution moyenne ou eutrophisation forte	Moyen
$5 \leq \text{IPS} < 9$	Pollution forte	Mauvais
$1 \leq \text{IPS} < 5$	Pollution ou eutrophisation très forte	Très mauvais

- **Indice diatomique générique (IDG) :**

Il indique le même principe de l'indice de polluosensibilité mais concerne plutôt les genres des diatomées, où chaque genre contient plusieurs espèces avec des valeurs indicatrices et des valeurs de sensibilité (si et vi) variables (**Tab 03**) :

Tableau 03. Valeur indicatrices (si) et valeurs de sensibilité (vi) par genre

Genre	s	V
Achnanthes	4.5	2.1
Amphora	2.6	2.23
Cratícula	2.2	3
Cyclotella	3.7	1.7
Navícula	3.4	1.9
Melosira	3.5	1.7
Sellaphora	2.8	1.7

- **Indice biologique diatomique (IBD) :**

Il permet l'évaluation de la qualité d'une station et de l'effet des perturbations écologiques sur les cours d'eau. Il est basé sur l'étude de plusieurs taxons (environ 209), pouvant être présents dans ces milieux aquatiques, en les fragmentant en 7 classes de qualité d'eau, comme suit :

$$F(i) = \frac{\sum_{x=1}^n A_x \times P_x(i) \times V_x}{\sum_{x=1}^n A_x \times V_x}$$

Où

A_x : abondance du taxon x (exprimé en ‰) ;

$P_x(i)$: probabilité de présence du taxon apparié x pour la classe de qualité de

l'eau i ; V_x : valeur écologique du taxon apparié x ;

n : nombre de taxons appariés retenus après l'application des valeurs seuils de présence.

Sept valeurs de $F(i)$ sont ainsi estimées. Un indice « B » est ensuite calculé selon la formule suivante :

$$B = 1 \times F(1) + 2 \times F(2) + 3 \times F(3) + 4 \times F(4) + 5 \times F(5) + 6 \times F(6) + 7 \times F(7)$$

Tableau 04. Valeurs des IBD en fonction des valeurs de B

Valeur de B	> 2	2 à 6	≥ 6
IBD	1	$4.75 \times B - 8.5$	20

Tableau 05. IBD et qualité du milieu

IBD	≥ 17	17 > IBD ≥ 13	13 > IBD ≥ 9	9 > IBD ≥ 5	< 5
État écologique	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

3-1-2- Pour les espèces animales :

3-1-2-1-Indice saprobie des animaux aquatiques :

Une saprobie est un organisme aquatique vivant dans un milieu riche en matière organique morte ou en décomposition, et sur laquelle il se nourrit en manque d'oxygène. L'indice de saprobie (SI) reflète donc la tolérance des organismes envers la présence de cette matière et indique dans ce cas le taux de pollution organique du milieu.

3-1-2-2-Indices des invertébrés :

A-Indice des macroinvertébrés :

Il existe plusieurs indices biocénétiques des macroinvertébrés pour évaluer la qualité d'un milieu aquatique. Le plus important de ces indices est le IBGN :

- **Indice biologique globale normalisé (IBGN)**

Il est basé sur l'examen de polluosensibilité des macroinvertébrés benthiques dans les petits cours d'eau. Il détermine (**Tab 06**) l'état écologique d'un milieu aquatique à partir d'un groupe faunistique (GF) qui indique la polluosensibilité des taxons issus d'un échantillonnage des espèces par filet, et de la classe de la variété taxonomique (ST) qui indique la richesse spécifique des invertébrés échantillonnés.

Tableau 06. IBGN et qualité du milieu

IBGN	≥ 17	16 à 13	9 à 12	5 à 8	<4
État écologique	Très bon	Bon	Moyen	Mauvais	Très mauvais

B-Indices selon les groupes des macroinvertébrés :

- **Les oligichètes :**

C'est une sous classe de vers des annélides. Leur indice est appelé indice Oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS) (**Tab 07**). Il indique l'incidence écologique des micropolluants organiques métalliques (**Fig 03**).



Figure 03. Exemples des espèces d'Oligochètes marins

La valeur de cet indice (IOBS) est indiquée par l'équation suivante :

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

Avec :

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

T : pourcentage du groupe dominant.

Tableau 07. IOBS et qualité du milieu

IOBS	Qualité biologique des sédiments
≥ 6	Très bon
$3 \leq IOBS \leq 6$	Bon
$2 \leq IOBS \leq 3$	Moyen
$1 \leq IOBS \leq 2$	Médiocre
$IOBS < 1$	Mauvais

▪ **Les chironomidés :**

C'est une famille des diptères nématocères. Ce sont de bons indicateurs des milieux aquatiques (**Fig 04**), leur indice écologique est nommé indice de qualité benthique des chironomidés (IQBC). Il considère le nombre des individus de chaque groupe d'espèces indicatrices sur le nombre total des individus de toutes les espèces indicatrices.



Figure 04. Larves des chironomidés

La valeur de cet indice (IQBC) est indiquée par l'équation suivante :

$$IQBC = \frac{\sum_{i=0}^5 k_i \times n_i}{N}$$

Avec :

N : nombre total d'individus de toutes les espèces indicatrices.

n_i : nombre d'individus du groupe d'espèce i

$k_i = 5$ pour *Macropelopia spp.*, *Paracladopelma nigrifula gr.* et *Heterotrissocladius spp.*,

$k_i = 4$ pour *Micropsectra spp.* et *Paratendipes spp.*,

$k_i = 3$ pour *Sergentia coracina*, *Stictochironomus spp.*,

$k_i = 2$ pour *Chironomus anthracinus* et *Tanytarsus spp.*, $k_i = 1$ pour *Chironomus plumosus*,

$k_i = 0$ si les espèces indicatrices sont absentes

▪ Les mollusques :

C'est un embranchement des lophozoaires qui colonisent les profondeurs du milieu aquatique (**Fig 05**).

Ce sont des indicateurs du système lacustre selon l'indice malacologique de qualité des systèmes lacustres (IMOL), qui se base principalement sur le calcul des peuplements des mollusques des lacs de profondeur maximale.

Pour l'estimer on prélève les mollusques de trois profondeurs différentes : $Z_1 = 9/10 Z_{max}$, $Z_2 = -10m$ et $Z_3 = -3m$. Pour chaque espèce identifiée dans chaque profondeur précise, l'indice IMOL varie selon le tableau suivant (**Tab 08**) :

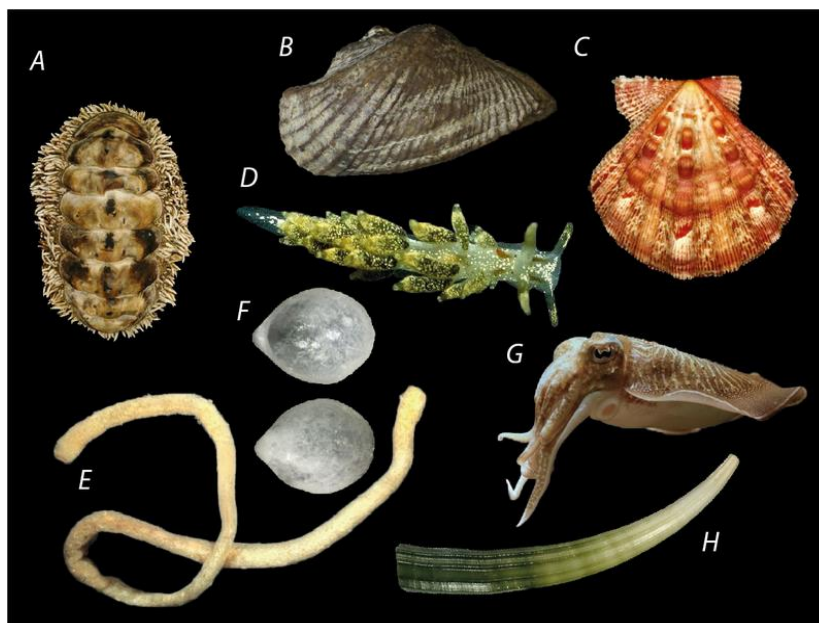


Figure 05. Des espèces de mollusques marins

Tableau 08. Valeurs standards de l'indice IMOL

Niveau d'échantillonnage	Repères malacologiques	Indices
$Z_i = 9/10 Z_{max}$	Gastéropodes et Bivalves présents	8
	Gastéropodes absents, Bivalves seuls présents	7
	Absence de mollusques en Z_i	
$z_2 = -10 \text{ m}$	Deux genres ou plus de deux genres de Gastéropodes présents	6
	Un seul genre de Gastéropode présent	5
	Gastéropodes absents, pisidies présentes avec plus d'un individu par benne	4
	Absence de mollusques en Z_2	
$z_3 = -3 \text{ m}$	Deux genres ou plus de deux genres de Gastéropodes présents	3
	Un seul genre de Gastéropode présent	2
	Gastéropodes absents, pisidies présentes avec plus d'un individu par benne	1
	Absence de mollusques	0

3-1-2-3- Indices des vertébrés :

Les vertébrés marins sont présentés par quatre grandes classes (Les mammifères, les oiseaux, les poissons et les reptiles). Parmi ces classes, les poissons (Fig 06) sont les espèces les plus résistantes à la pollution.



Figure 06. Poissons des rivières

L'indice poissons rivières (IPR) détermine l'état du milieu en fonction de 7 paramètres :

- Le nombre total d'espèces.
- Le nombre d'espèces rhéophiles.
- Le nombre d'espèces lithophiles.
- La densité d'individus tolérants.
- La densité d'individus invertivores.
- La densité d'individus omnivores.
- La densité totale d'individus.

L'IPR est obtenu par la somme des 7 scores et varie selon le tableau suivant (**Tab 09**) :

Tableau 09. IPR et qualité du milieu

IPR	<7	7 à 16	16 à 25	25 à 36	>36
Classe de qualité	Excellente	Bonne	Médiocre	Mauvais	Très mauvais

3-3-Bioindicateurs du milieu atmosphérique :

3-3-1-Pour les espèces végétales :

3-3-1-1-Les végétaux sensibles à la pollution (Bioindicateurs) :

❖ Les lichens :

Ils sont formés d'une association entre un champignon et une algue, leurs caractéristiques biologiques les rendent fortement dépendants de la qualité de l'atmosphère. Ils sont donc sensibles aux polluants gazeux et peuvent même disparaître dans une atmosphère impactée (Fig 07).



Figure 07. Variété d'espèces de lichens

Parmi les indices indicateurs de la qualité des lichens et de leur environnement, on compte l'indice de pureté atmosphérique (IPA), qui est estimé par l'équation suivante :

$$IPA = \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^n (O_i \times F_i)$$

Avec :

i : espèce lichénique

n : le nombre d'espèces dans la station ;

O_i : l'indice écologique de l'espèce i ;

F_i : le coefficient de recouvrement de l'espèce i (de 1, rare, à 5, abondante)

Tableau 10: IPA et qualité du milieu

IPA	0 à 15	15 à 30	30 à 45	45 à 60	> 60
Type de pollution atmosphérique	Très élevé	élevé	Moyen	faible	Très faible

3-3-1-2-Les végétaux résistants à la pollution :

❖ Les mousses bryophytes :

L'absence du système racinaire chez les mousses, nécessite une absorption atmosphérique (Eau-éléments minéraux, éléments nutritifs.....). L'analyse des feuilles des mousses renseigne sur la présence et la qualité des contaminants bioaccumulés dans leurs tissus (Eléments traces métalliques-Eléments radioactifs-Contaminants organiques) (**Fig 08**)



Figure 08. Variété des mousses bryophytes

3-3-2-Pour les espèces animales :

Les abeilles pollinisent plus de 80% des plantes, elles sont également sensibles aux traitements phytosanitaires des végétaux. Elles sont donc considérées comme de bons bioindicateurs de la qualité de l'environnement et peuvent détecter la présence des molécules polluantes dans les milieux naturels (**Fig 09**).



Figure 09. Abeilles indicatrices de la qualité des milieux atmosphériques.