

II-Chapitre 02 : Analyses biologiques de l'environnement

Dans un écosystème équilibré, chaque organisme présente des exigences particulières. La modification de l'un des caractéristiques de cet environnement peut perturber son équilibre habituel. 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- Notions fondamentales :

▪ Bio-indicateur

Un bio-indicateur peut se définir comme une espèce ou un groupe d'espèces végétales ou animales dont la présence ou l'absence, l'abondance, la biomasse ou autres caractéristiques biologiques renseigne sur l'état écologique du milieu, et sur son niveau de dégradation.

▪ Bio-marqueur

Il se réfère à tous les paramètres biochimiques, cellulaires, physiologiques ou comportementaux mesurés dans les tissus ou les fluides d'un organisme, pour mettre en évidence l'effet de son exposition à un ou plusieurs contaminants.

▪ Bio-accumulateur

Il désigne la capacité de certains organismes (végétaux, animaux, fongiques, microbiens) à absorber et concentrer dans une partie de leur organisme végétal (écorce ou le bois), ou animal (coquille ou corne), certaines substances chimiques, éventuellement rares dans l'environnement (oligo-éléments ou éléments toxiques), sans être influencés négativement.

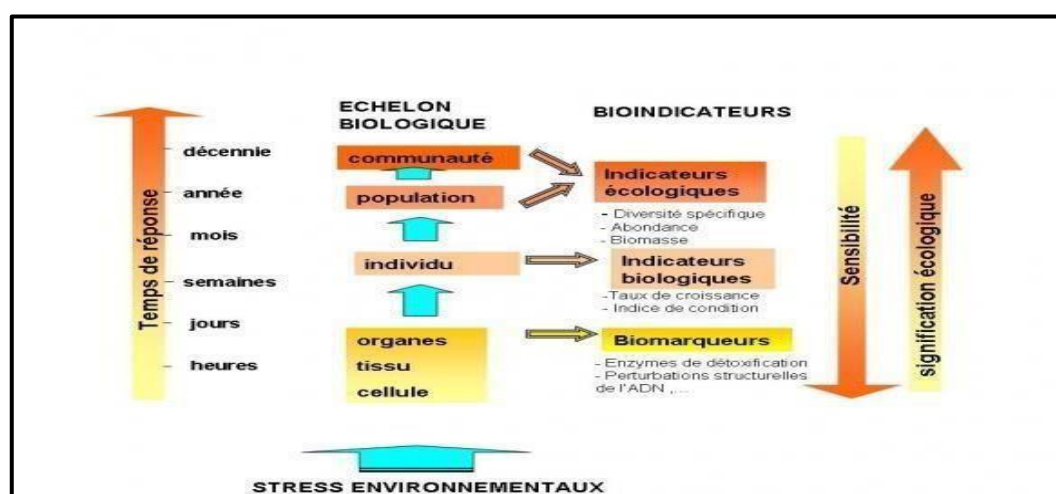


Figure 01. Rôle des Bio-indicateurs dans les écosystèmes écologiques contaminés

1-1-Rôles écologiques des bio-indicateurs:

Les bio-indicateurs doivent être utilisés pour :

- ❖ Emettre des signaux précoces de problèmes environnementaux.
- ❖ Identifier les relations de cause à effet entre les facteurs d'altération et les effets biologiques.
- ❖ Evaluer l'état de stress global de l'environnement à travers différentes réponses d'organismes indicateurs.
- ❖ Développer l'efficacité de mesures réparatrices sur la santé des systèmes biologiques.

1-2- Types de bio-indicateurs selon leurs réactions :

1-2-1- Bio-indicateurs d'accumulation :

Ce sont des organismes qui accumulent une ou plusieurs substances issues de leur environnement, en ce qui permet d'évaluer leur exposition.

1-2-2- Bio-indicateurs d'effet ou d'impact :

Des organismes qui permettent de révéler des effets (fatigues, maladies, morts) lors de l'exposition à une ou plusieurs substances issues de leur environnement menacé de pollution agricole, ou de contamination industrielle...

1-2-3- Bio-indicateurs sensibles à la pollution :

Ce sont plutôt des espèces connues pour des conditions vitales déterminées et dont l'appariation, l'abondance ou la disparition saisonnière indique la qualité écologique de leur milieu naturel (Présence ou absence des polluants).

2- Méthodes biologiques évaluant la qualité des milieux :

2-1- Méthodes biochimiques :

Elles indiquent l'évaluation des bio-marqueurs provoquant 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 toxique (Par altérations d'ADN- Synthèse des protéines ou des enzymes)

2-2- Méthodes éco-toxicologiques :

Un ensemble de tests toxicologiques d'une population d'organismes exposée à un polluant spécifique. Ces bio-essais peuvent avoir comme but, l'estimation des concentrations provoquant des effets toxiques (Baisse du niveau des activités physiologiques et de reproduction, mortalité des individusetc). La capacité de bioaccumulation indique l'ensemble des analyses sur les bio-accumulateurs qui captent et stockent ces

polluants (Molécules toxiques, éléments traces, pesticides.....etc), elle est indiquée 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- Méthodes biocénotiques :

Elles permettent de suivre l'évolution des biocénoses (Population animale et végétale) dans un espace et un temps précis. Ces méthodes biocénotiques se réalisent souvent par zonation écologique, qui divise les cours d'eau selon la largeur de la pente, ou la qualité des espèces benthiques (Insectes).

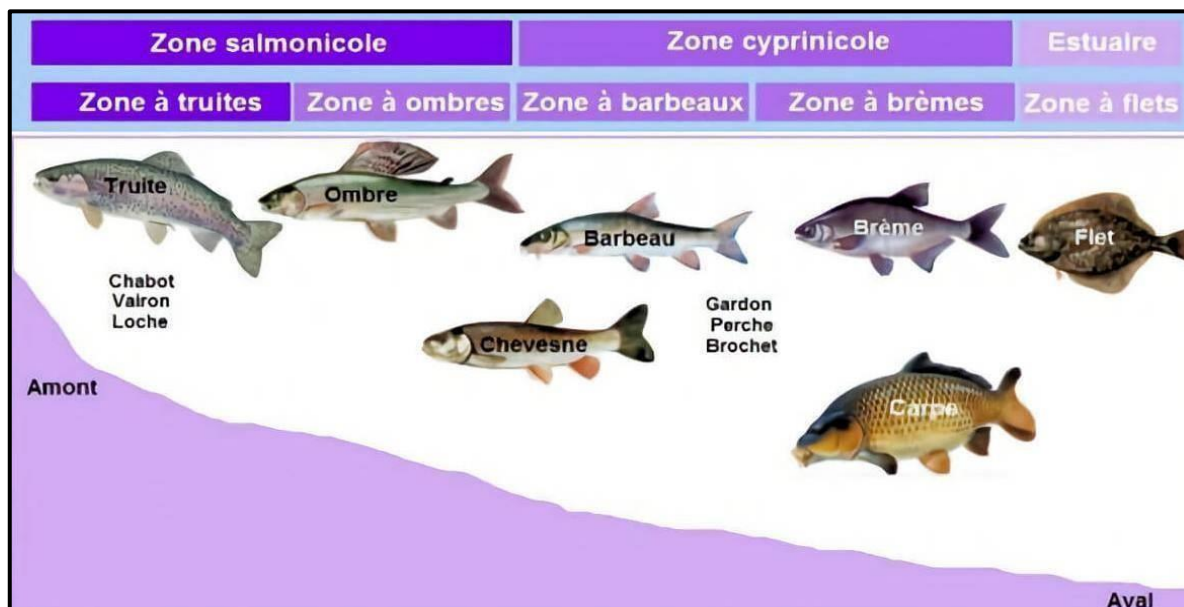


Figure 02. Zonation écologique par largeur de pente

Les traitements biologiques des biocénoses regroupent également toutes les analyses numériques de la structure des peuplements et des indices de biodiversité des milieux depuis la richesse spécifique jusqu'à l'indice de Shannon-Weaver.

3- Bio-indicateurs des écosystèmes naturels :

3-1-Dans le milieu aquatique :

3-1-1- Pour les espèces végétales :

3-1-1-1- Indices diatomiques :

Les diatomées (**Fig 03**) sont des algues microscopiques unicellulaires des eaux douces ou salées, qui vivent en suspension

dans l'eau ou attachées sur le fond des lacs et des rivières. Elles utilisent le phosphore et l'azote dissous dans l'eau pour leur croissance et sont surtout affectées par les métaux lourds et les pesticides. L'ensemble des indices des diatomées permet l'évaluation des paramètres d'eutrophisation, d'acidification, de saprobie et de salinité des milieux marins. Parmi ces indices diatomiques, on peut citer :

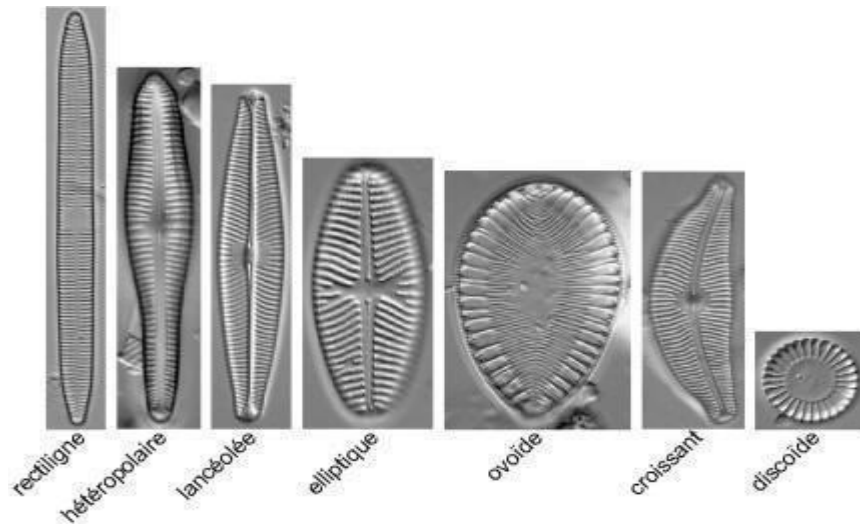


Figure 03. Différentes classes de diatomées des milieux aquatiques

- **Indice de polluo-sensibilité spécifique des diatomées :**

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:

$$IPS1 = \frac{\sum(A_i \times S_i \times V_i)}{\sum(A_i \times V_i)}$$

Avec:

A_i : Abondance relative de l'espèce i

S_i : Valeur de sensibilité de l'espèce i (**Tab01**).

V_i : Valeur indicatrice de l'espèce i (**Tab01**).

Tableau01. Sensibilité à la pollution (s) et valeurs indicatrices (v) de quelques espèces diatomiques:

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 nummuloidea</i>	2	3
Sellaphora	<i>Sellaphora pupula</i>	2	2

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

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

Tableau02. IPS et qualité du milieu

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

- Indice biologique des diatomées (IBD) :**

Il permet l'évaluation de la qualité d'une station et de l'effet des perturbations écologiques sur les cours d'eau. L'IBD présente une évaluation à la fois du degré de trophie et de la charge organique de la masse d'eau. Il est basé sur l'étude de plusieurs taxons des diatomées (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;Vx : valeur écologique du taxon apparié x ;

n : Nombre de taxons appariés retenus après l’application des valeurs seuils de présence.

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

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

La valeur d’IBD est enfin déduite selon le tableau suivant :

Tableau 03. Valeurs des IBD en fonction des valeurs de B

Valeur de B	> 2	2 à 6	≥ 6
IBD	1	4.75×B-8.5	20

Tableau 04. 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- Indices de saprobie:

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 :

Les invertébrés marins sont des animaux multicellulaires dépourvus de colonne vertébrale et vivant dans le milieu aquatique. Ils regroupent plusieurs taxons tels que les éponges, les cnidaires (méduses, coraux), les vers marins, les mollusques (escargots, limaces), les arthropodes (crabes, crevettes, homards) et les échinodermes (étoiles de mer, oursins de mer).

Les macro-invertébrées peuvent indiquer la qualité des milieux aquatiques selon leurs différents groupes comme suit :

- **Oligichètes : indice Oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS):**

C’est une sous classe de vers des annélides abondante dans les sédiments fins, sableux et grossiers des cours d'eau et des lacs. Ils sont connus pour leur sensibilité et leur résistance aux pollutions organiques. Leur indice est appelé indice Oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS) (**Tab 05**). Il indique l’incidence écologique des micropolluants organiques métalliques (**Fig 04**).



Figure 04. 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 dominat

Tableau 05. 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

- **Chironomidés : indice de qualité benthique des Chironomidés (IQBC) :**

C'est une famille des diptères nématocères, composée des insectes de petite taille apparentés aux Ceratopogonidae, aux Simuliidae, et aux Thaumaleidae, ressemblant beaucoup à des moustiques. En forme larvaire, l'espèce est très résistante à la pollution et présente un bon indicateur de la qualité des milieux aquatiques (**Fig 05**),

L'indice écologique des Chironomidés est nommé indice de qualité benthique des Chironomidés (IQBC). Il considère le nombre des individus de chaque groupe d'espèce indicatrice sur le nombre total des individus de toutes les espèces indicatrices.

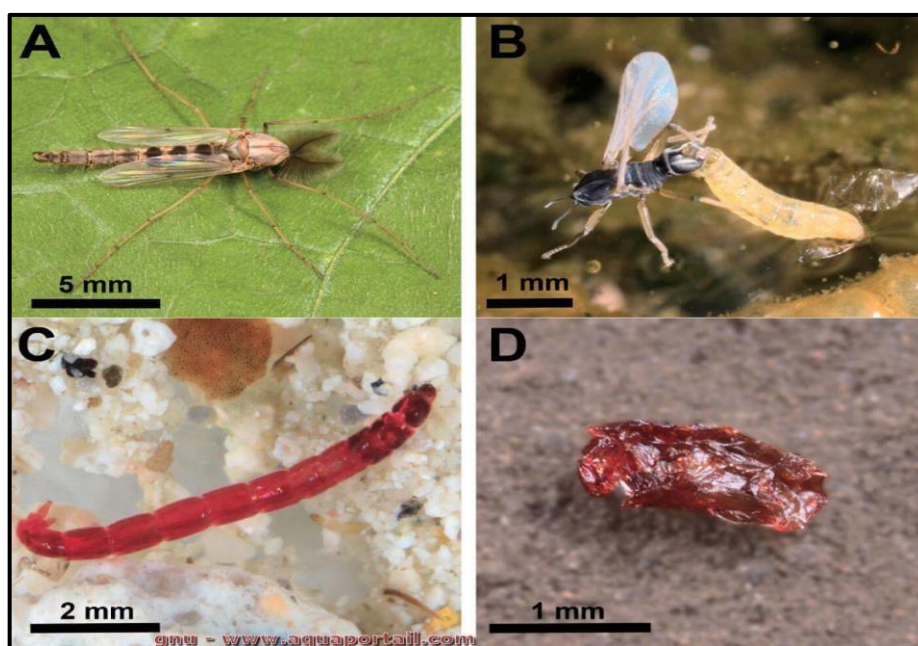


Figure 05. Cycle de vie des chironomidés (A : Adulte ; B : Ponte ; C : Larve ; D : Nymphose)

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.,

ki = 4 pour *Micropsectra* spp. et *Paratendipes* spp,

ki = 3 pour *Sergentia coracina*, *Stictochironomus* spp,

ki = 2 pour *Chironomus anthracinus* et *Tanytarsus* spp,

ki = 1 pour *Chironomus plumosu*,

ki = 0 si les espèces indicatrices sont absentes

▪ **Mollusques : indice malacologique de qualité des systèmes lacustres (IMOL) :**

C'est un embranchement des lophozoaires qui colonisent les profondeurs du milieu aquatique (**Fig 06**). 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 : Zi = 9/10 Z_{max}, Z₂ = -10m et Z₃ = -3m. Pour chaque espèce identifiée dans chaque profondeur précise, l'indice IMOL varie selon le tableau suivant (**Tab 06**) :

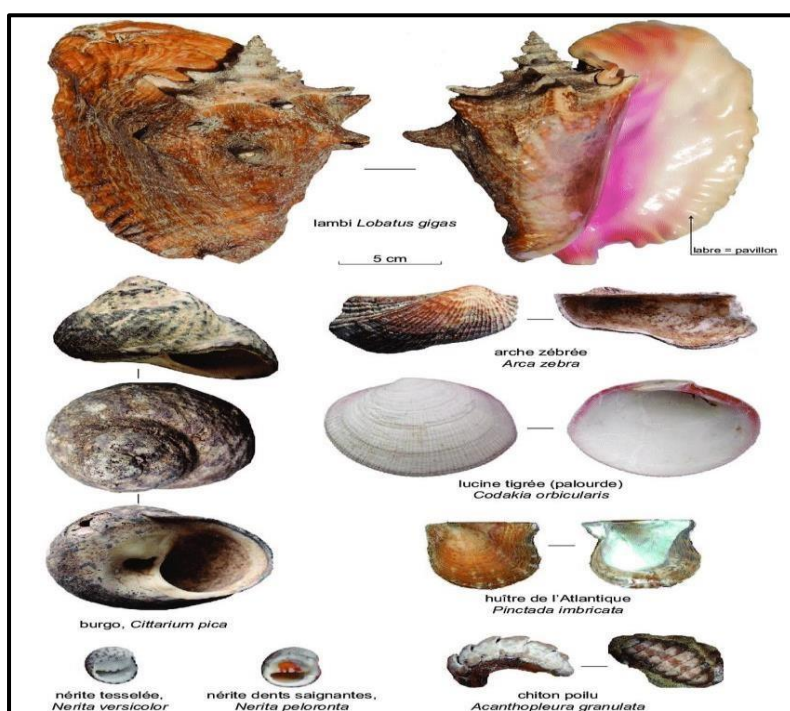


Figure 06. Des espèces de mollusques marins

Tableau 06. 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 07**) sont les espèces les plus résistantes à la pollution et sont les meilleurs marqueurs de la qualité d'eau par estimation de l'indice des poissons rivières (IPR) :

- **Indice poissons rivières (IPR)**

Il permet d'évaluer le niveau d'altération des peuplements piscicoles à partir de différentes caractéristiques sensibles à l'intensité des perturbations anthropiques, et détermine l'état du milieu aquatique en fonction de 7 paramètres :

- Nombre total d'espèces.
- Nombre d'espèces rhéophiles.
- Nombre d'espèces lithophiles.
- Densité d'individus tolérants.
- Densité d'individus invertivores.
- Densité d'individus omnivores.
- Densité totale d'individus.

L'IPR est obtenu par la somme des 7 valeurs de paramètres estimés. Il varie selon le tableau suivant (**Tab 07**).



Figure 07. Poissons de rivières indicateurs de pollution

Tableau 07. 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

3-2- Dans le milieu atmosphérique :

3-3-1- Pour les espèces végétales :

❖ 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 08**).



Figure 08. Variété d'espèces de lichens

Parmi les indices indicateurs de la qualité des lichens et de leur environnement, on compte :

- **Indice de pureté atmosphérique (IPA) :**

C'est une approche quantitative basée sur un indice de pollution relatif à la flore lichénique, ainsi que le nombre et la fréquence de chaque espèce (**Tab 08**). Il est estimé par l'équation suivante :

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

Avec :

i: Espèce lichénique

ni : Nombre d'espèces dans la station ;

Oi : Indice écologique de l'espèce i ;

Fi : Coefficient de recouvrement de l'espèce i (de 1, rare, à 5, abondante)

Tableau 08. 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

3-3-2- Pour les espèces animales :

❖ Abeilles :

Elles pollinisent plus de 80% des plantes, elles sont également sensibles aux traitements phytosanitaires des végétaux. Elles sont donc considérées comme de bons bio-indicateurs 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.

3-3- Dans le milieu terrestre :

3-3-1- Pour les espèces végétales :

❖ Plantes hyper-accumulatrices des métaux lourds :

Dans le milieu terrestre, les analyses se réalisent sur les feuilles prélevées sur des espèces représentatives de la communauté végétale des sols contaminés. Il s'agit de la phyto-disponibilité globale des contaminants métalliques des plantes indicatrices de pollution. D'autres plantes accumulatrices ont la capacité d'absorber des polluants du sol et de les stocker dans leurs tissus (Techniques de phyto-remédiation des sols pollués)



Figure 10. *Phyllanthus orbicularis* ; plante hyper-accumulatrice des métaux lourds

L'indice estimé pour les végétaux indicateurs de la qualité des sols est :

• Indice CMT végétaux :

Il est basé sur une comparaison des teneurs en éléments traces métalliques dans les échantillons contaminés (feuilles des plantes) avec celle d'échantillons témoins, caractéristiques de sites non contaminés (**Tab 09**).

Tableau 09. CMT-végétaux et qualité du sol

CMT	Qualité du milieu
0-5	Milieu non pollué
5-15	Moyennement pollué (Surveillance des zones)
> 15	Milieu pollué

3-3-2- Pour les espèces animales

❖ Escargots :

Les escargots (**Fig 11**) se nourrissent de végétaux, de sol et d'humus. Leur capacité à accumuler des contaminants comme les métaux a été utilisée pour révéler la contamination des milieux à l'interface sol-air-

végétaux. Les escargots sont importants pour de nombreux consommateurs (vers luisant, oiseaux, hérisson et l'homme). Leur état peut être estimé par l'indice SET-Escargots :



Figure 11. Escargot Bio-indicateur Bio-accumulateur de pollution des milieux terrestres

- **Indice SET-Escargots :**

C'est un indicateur de la zoo-disponibilité des contaminants métalliques des sols. Il varie et influence la qualité du sol selon le tableau suivant (**Tab 10**).

Tableau 10. SET-Escargots et qualité du sol

SET-Escargots	Qualité du milieu
0-1	Milieu non pollué
1-5	Moyennement pollué (Surveillance des zones)
> 5	Milieu pollué