Cours « Analyse et protection de l'environnement »

Licence 3ème année

Ecologie et environnement

Docteur : Boudjahem Ibtissem

2023 /2024

I- Chapitre 01 :

1- Notions fondamentales :

1-1- Notion de l'environnement :

Tout facteur externe, affectant un organisme, fait partie du concept «Environnement». Il peut être un autre organisme ou un des variables non vivants (Eau, sol, climat, lumière, oxygène ….etc). L'environnement est un système complexe composé du sol, de l'eau, de l'air, du monde vivant (Animaux et végétaux), ainsi que tout type d'interaction entre eux.

1-1-1- Dégradation de l'environnement :

La dégradation de l'environnement est une des menaces majeures pour notre planète. Elle se produit à cause de multiples dégâts que subit l'environnement et dont les facteurs sont nombreux. Elle peut provoquer de nombreuses conséquences comme l'extinction des espèces, la perte de la biodiversité, la dégradation de la qualité de l'air, la pollution de l'eau, l'érosion du sol et l'augmentation de l'effet de serre.

1-1-2- Protection de l'environnement :

La protection de l'environnement consiste à la conservation des espèces animales et végétales qui le compose, ainsi que celle de l'intégrité écologique de leurs habitats naturels, et cela par la prise des mesures qui limitent l'impact négatif des activités anthropiques sur cet environnement. Cette action est donc à la fois scientifique (développement des connaissances), citoyenne (Intéresse toutes les générations de la communauté), et politique (Nécessite la pratique des lois et des décrites environnementales).

1-2- Notion d'Evaluation de la qualité des milieux (Ecosystèmes) :

L'évaluation de la qualité écologique des écosystèmes est mise en place pour l'élaboration des moyens adaptés, permettant de lutter contre la diminution massive de la biodiversité. Elle est réalisée par l'estimation d'ensemble des paramètres et d'indices (Physico-chimiques, organiques ou biologiques….etc) et ensuite leur comparaison à des normes référentielles dans le but de préciser le degré de pollution (Mauvaise qualité écologique) ou de la propreté (Bonne qualité écologique) des milieux.

1-3- Notion d'Analyse de l'environnement :

C'est une estimation de la qualité d'un milieu (Eau, sol, atmosphère), afin d'évaluer son état écologique et sa diversité naturelle. Cela est réalisable par :

- La détermination des polluants (Pesticides, éléments traces...etc), par des analyses quantitatives et qualitatives selon plusieurs étapes (Extraction, dérivation, séparation des éléments…..etc.).
- L'adaptation des conventions internationales et des directives environnementales organisées par des commissions spécifiques, afin de pratiquer des réglementations protectrices de l'environnement

1-3-1- Objectifs d'analyse de l'environnement :

Les objectifs des analyses environnementales sont :

- ❖ Evaluation de l'état du système environnemental à un moment donne (Suivi).
- ❖ Etude de l'effet des organisations étatiques ou des entreprises privées sur l'environnement.
- ❖ Impact du système anthropique sur le système environnemental.
- ❖ Etude et programmation des mesures pouvant diminuer les dangers signalés et la planification de leur réalisation.

1-3-2- Matrices analysées :

L'échantillon à étudier peut subir des techniques variables sur la même analyse spécifique ou des techniques applicables sur plusieurs analyses sélectives. Le suivi environnemental peut s'effectuer en plusieurs milieux physiques (Eau, air, sol), selon des études chimiques, physiques ou biologiques, afin d'identifier toute anomalie naturelle et mettre en œuvre des mesures pour la corriger. Les milieux analysés peuvent être :

- **Eaux**

Divers types d'eau sont analysées pour le contrôle de la qualité de l'environnement : Eaux résiduaires, eaux de surface, eaux souterraines. Les programmes de surveillance des eaux sont également entrepris dans le cadre des conventions internationales pour les eaux marines (Commission d'Oslo et de paris. OSPAR en 1992, d'Helsinki HELCOM en 1974, convention de Barcelone en 1976) ou fluviales. Les eaux de pluies sont également analysées pour évaluer l'impact des pluies acides et de retombées atmosphériques (Composées alkyles du plomb) sur l'environnement dans le cadre des programmes internationaux.

- **Sédiments**

Ce sont les particules en suspension dans l'eau, l'atmosphère ou la glace, qui finissent par retomber sur les surfaces par force de gravite. L'analyse de ces sédiments est nécessaire pour le calcul de la charge des polluants. En effet, les contaminants (organiques et inorganiques) sont absorbes par ces particules dans les milieux pollués.

- **Sols, boues et composts**

Ces milieux peuvent faire l'objet des études agronomiques (Assimilation des plantes, déficiences des sols), ou des risques environnementaux (Positions des polluants dans le sol, détermination des teneurs en éléments ou des composes organiques).

La valeur fertilisante du compost peut être mesurée par des propriétés chimiques (PH, conductivité électrique, teneur en éléments etc).

- **Echantillons biologiques**

Il s'agit des espèces naturelles indicatrices de pollution comme : les mousses qui accumulent les métaux lourds dans leurs tissus, les lichens qui résistent les polluants atmosphériques, les diatomées (Algues), sensibles à la pollution, et certaines espèces de poissons qui accumulent les polluants des milieux mains dans leurs cuticules et qui sont donc considérés comme de bons indicateurs de la qualité du milieu aquatique.

- **Echantillons atmosphériques** :

Les émissions atmosphériques sont souvent mesurées par des filtres de tunnels routiers. L'utilisation excessive du charbon dans les domaines de l'industrie et de l'économie provoque une réponse de contrôle environnemental, ainsi que de nombreux programmes d'analyse.

2- Paramètres déterminés

2-1- Paramètres physico-chimiques et normes (Cas du milieu aquatique):

2-1-1-Température (T) :

C'est une grandeur physique et un facteur écologique important pour la survie des espèces. Elle joue un rôle primordial dans la solubilité et la dissociation des sels et des gaz (Oxygène). Son augmentation peut perturber la vie aquatique des espèces (Pollution thermique). Une eau chaude peut accélérer la vie et l'activité des micro-organismes et des algues et avoir une influence sur les autres paramètres physico-chimiques (PH, conductivité, teneur en oxygène….etc). La température est mesurée par thermomètre en degré Celsius (°C). Dans le sol, l'augmentation des températures peut avoir un effet sur la mobilité des métaux et sur l'accélération de l'activité bactérienne.

Tab01 : Température et qualité d'eau

Température (en °C)	Qualité de l'eau
≤ 20	Normale
20-22	Bonne
22-25	Moyenne
25-30	Médiocre
≥ 30	Mauvaise

2-1-2- Potentiel d'hydrogène (PH) :

C'est une mesure chimique des concentrations d'ions d'hydrogène (H+) dans l'eau (PH= - log [H+]). Les rejets industriels dans le sol ou les apports des eaux de ruissèlement dans les milieux aquatiques, peuvent être à l'origine de sa variété, qui est considéré comme indice important de la pollution naturelle. Des valeurs

de PH acide (PH< 7) augmenteraient le risque de présence des métaux sous forme ionique toxique. Dans les milieux terrestres, ce déséquilibre peut être à l'origine de la salinisation des sols, un mécanisme qui participera à l'inhibition de l'activité bactérienne et à un ralentissement de la dégradation des matières organiques. Il est mesuré à l'aide d'un PH mètre et n'a pas d'unité. Sa valeur varie de 0 à 14 depuis un aspect acide à celui basique, en passant par un PH neutre (PH=07) :

- $[H_+] < [OH-] \Rightarrow pH > 7$: l'eau est basique.
- $[H_+] > [OH-] \Rightarrow pH < 7$: l'eau est acide.
- $[H_+] = [OH-] \Rightarrow pH = 7$: l'eau est neutre.

Tableau 02. PH et qualité d'eau

PH	**Qualité du milieu aquatique**
pH < 5	Inférieur à la vie des espèces
5 < pH < 6	Tolérable par les espèces
6 < pH < 7.5	Optimale (Vie et reproduction)
7.5 < pH < 8.5	Optimale pour les planktons
pH > 8.5	Incapacité de vie des algues
pH > 9	Incapacité de survie des espèces

2-1-3- Conductivité électrique (CE) :

C'est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle indique le degré de minéralisation de l'eau, dont les principaux sels sont : Ca+2 (Calcium), Mg+2 (Magnésium), Na+ (Sodium), K+ (Potassium) ……etc. Plus l'eau est minéralisée plus sa conductivité électrique est importante. En effet, les anions et les cations présents dans un milieu pollué participent à créer un champ magnétique apte à faire passer le courant éclectique à travers ses éléments. Elle est mesurée par conductimètre en µs/cm. Les espèces aquatiques ne supportent pas généralement des variations importantes en sels dissous.

Tableau 03. Conductivité électrique et qualité d'eau

Conductivité (µs /cm)	**Qualité de l'eau**
50-400	Excellente
400-750	Bonne
750-1500	Médiocre
>1500	Minéralisation excessive (Pollution)

2-1-4- Oxygène dissous (Saturation en oxygène) (OD) :

L'oxygène est un élément indispensable pour la vie des espèces aquatiques. Il provient de l'atmosphère ou de l'activité photosynthétique des algues. Sa teneur en milieu aquatique est variable selon la durée du jour

(Température), et selon la profondeur du milieu marin (faible en profondeur). La concentration en oxygène dissous en eau est exprimée en mg /l. Concernant le DCO (Demande chimique en oxygène) : c'est une mesure de la matière organique présente dans l'eau (Matière polluante), par l'estimation de la quantité d'oxygène nécessaire à la dégrader par voix chimique (En utilisant un oxydant spécifique).

Quand à la DBO5 (Demande biochimique en oxygène en 5 jours), elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour les micro-organismes du milieu aquatique, dans leur processus de dégradation (oxydation) d'une partie de la matière organique présente dans le milieu et cela pendant 5 jours. La quantité d'oxygène nécessaire pour ce mécanisme reflétera le degré de l'accélération ou de la diminution de l'activité bactérienne ainsi que le niveau de la pollution du milieu.

Tableau 04. DBO5 et qualité d'eau

DBO5 (mg/l) (O2)	**Qualité de l'eau**
<1	Excellente
2	Bonne
3	Moyenne
5	Moyennement polluée
>10	Eau polluée

2-1-5- Dureté de l'eau (TH):

C'est la somme des concentrations en cations métalliques : Ca++ (Calcium), Mg++ (Magnésium). Leur présence peut réduire la toxicité des métaux. C'est donc un indice de pollution du milieu. La dureté total TH= [Ca2+] + [Mg2+]. Une valeur faible de la dureté d'une eau indique un bon milieu vital pour les espèces.

Tableau 05. Dureté et qualité d'eau

Dureté (mg/l) (Caco3)	**Qualité de l'eau**
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

2-1-6- Paramètres organoleptiques de l'eau :

Ce sont des facteurs qui s'indiquent lors de la consommation de l'eau (Couleur, gout, odeur….etc) et dont la perturbation présente un risque pour la santé humaine :

A- Turbidité :

Elle indique le degré de l'absorption ou de diffusion de la lumière dans un milieu aquatique, qui est fonction de la présence ou l'absence de matières en suspension dans l'eau, comme : L'argile, le limons…..etc. Son augmentation permettra aux micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension.

B- Couleur :

Elle change selon la composition de l'eau en matières (Micro-organismes) ou en éléments métalliques : La présence en Fer par exemple donne une couleur rouille à l'eau, alors que la présence du manganèse lui donne une couleur noire.

C-Gout-odeur :

Le gout et l'odeur d'un milieu aquatique changent grâce à la présence de substances volatils comme le chlore (Cl), le dioxyde de soufre (SO2)….etc, ou à la présence de substances organiques comme : les esters, les alcools….etc. Le changement de gout des eaux potables peut être également fonction de l'activité microbienne (Bactéries).

2-2- Paramètres inorganiques (géochimiques) :

Les éléments chimiques sont présents dans les écosystèmes naturels, sous différentes formes (Eléments majeurs, éléments mineurs, éléments traces, éléments assimilables, éléments toxiques, éléments terre rares, oligo-éléments….etc) **(Fig 01)**. La géochimie est la discipline qui étudie l'origine, l'évolution et la distribution des éléments chimiques dans les milieux naturels. Son objectif est d'évaluer les processus chimiques qui régissent la composition des roches, de l'eau et des sols, ainsi que de suivre les cycles de matière et d'énergie transportant les composants chimiques des sols jusqu'aux milieux atmosphériques et aquatiques.

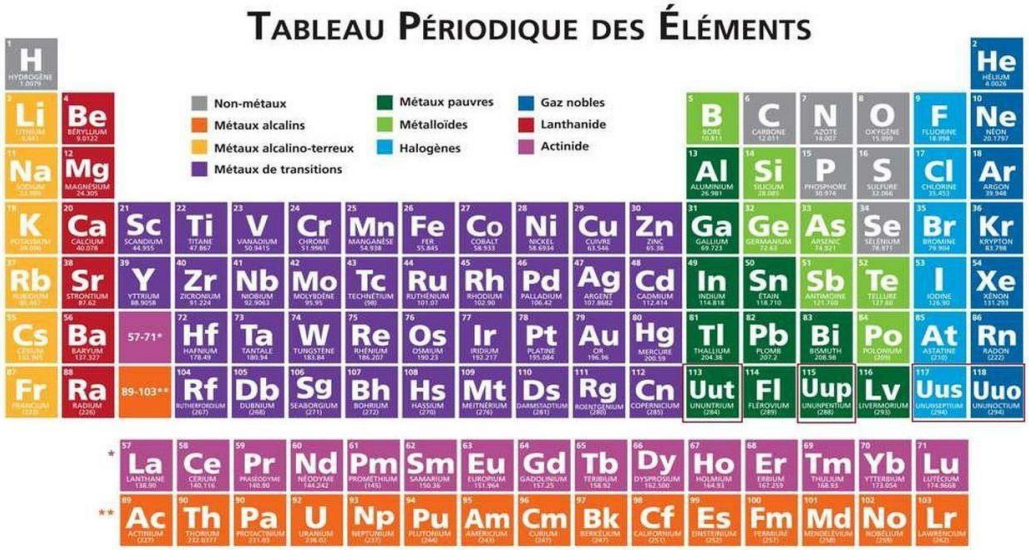

Figure 01. Différents éléments chimiques dans la nature

2-2-1- Eléments majeurs :

Des principaux éléments chimiques qui constituent les roches et les minéraux. Les 12 éléments majeurs existants dans la nature représentent environ 99,4% du total des éléments. Ils sont importants pour les plantes mais leur présence au-delà du seuil tolérable par la nature (teneur), peut être à l'origine de la pollution des milieux (émissions agricoles et industrielles). Les principaux éléments majeurs des écosystèmes naturels sont :

- **Aluminium (Al):**

C'est un élément toxique, présent sous forme d'ion (Al^{+3}) dans les eaux acides, sa présence en concentrations supérieures à 0.2 mg/l provoque une toxicité détectée chez les consommateurs.

- **Azote (N):**

Son cycle présente un important équilibre entre les processus de la fixation d'azote atmosphérique (N2) et la dénitrification (production de N2). Les concentrations en nitrates des eaux souterraines doivent rester inférieures à 1 mg/l.

- **Calcium (Ca):**

Responsable de la dureté de l'eau, où il représente l'élément le plus dominant. Les eaux potables, de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/l de calcium.

- **Magnésium (Mg)** :

Il provient de la dissolution des formations carbonatées. Au même titre que le calcium, il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Sa teneur dépasse rarement 15mg/l.

- **Phosphore (P) :**

Issu du lessivage des zones agricoles fertilisées par les engrais phosphatés, il joue un rôle primordial dans le développement des algues, ce qui contribue dans le cas de pollution des milieux aquatiques au phénomène de l'eutrophisation.

- **Potassium (K) :**

Il provient de l'altération des formations silicatées, des argiles potassiques, des rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques. Il est présent dans l'eau à des teneurs supérieurs à 20 mg/l.

2-2-1-1- Eléments majeurs et métabolisme végétal :

Les végétaux prélèvent les éléments nutritifs du sol. Il est donc nécessaire de maintenir sa fertilité en reconstituant ses réserves par des apports de matières minérales adaptés, variables en fonction de la richesse du milieu et des besoins des plantes. Les analyses annuelles des sols, permettront, de connaître leur teneur en éléments majeurs et oligo-éléments. Il sera alors possible de corriger les carences éventuelles en apportant les compléments dont ils ont besoin.

D’autre part l’usage intensifié des engrais chimiques et des produits phytosanitaires **(Fig 02)** sur les plantes ou les sols en raison d’améliorer leur rendement annuel, mène à leur ruissellement puis leur infiltration jusqu’à atteindre et contaminer respectivement les sols, les eaux de surface, les eaux souterraines, la faune, la flore, les chaines alimentaires et la santé humaine. Cette minéralisation excessive est l’origine de la présence et la persistance de ces éléments à des teneurs et des taux qui dépassent les normes naturelles, ce qui provoque une dégradation massive de la fertilité des sols, et d’où la nécessité d’appliquer des processus de rotation sur ces terrains agricoles.

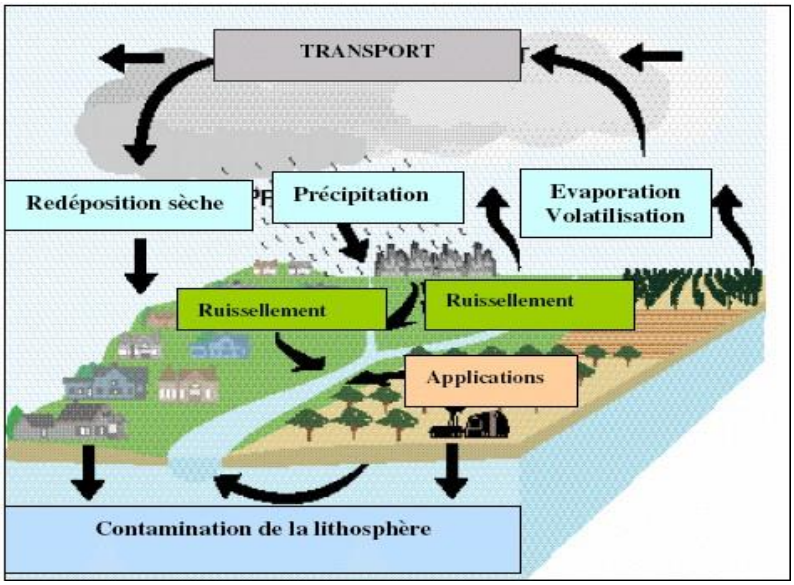

Figure 02. Cycle de pesticides dans la nature

2-2-2- Eléments traces :

Les éléments traces sont toxiques pour les organismes vivants à de relatives faibles concentrations. On compte environ 80 éléments traces dans la nature, et qui ne présentent en réalité qu’environ 0,6% de l’ensemble des éléments existants. Parmi les éléments métalliquestraces, on peut citer :

- **Arsenic (As)** :

Employé dans la métallurgie (alliages), l’électronique (semi-conducteurs), la fabricationde peinture, et la coloration des verres

- **Bore (B) :**

Utilisé comme antiseptique, dans l’industrie de verre, de la céramique, la fabrication descosmétiques, de peinture et des produits phytosanitaires.

- **Brome (Br) :**

Il est présent dans les mers ou dans les minerais, où il peut se trouver sous forme de bromures dans les espaces pollués.

- **Cadmium (Cd) :**

Il provient des matières en plastique, des huiles de moteurs, des piles, des produits de soudure et des engrais naturels.

- **Chrome (Cr) :**

Il se retrouve dans les roches basiques avec des teneurs plus importantes, et sous forme de traces dans les silicates. Son origine industrielle est liée à la galvanoplastie, la tannerie, la raffinerie, la métallurgie, ainsi que la production des colorants.

- **Mercure (Hg) :**

Utilisé principalement dans la métallurgie, la médecine, les cosmétiques, ou l'alchimie. Il est hautement toxique pur l'homme et l'environnement.

2-2-2-1- Toxicité des éléments métalliques traces (ETM) :

Les éléments métalliques traces sont présents, naturellement, sous forme de minerais inerte, mais deviennent dangereux lorsqu'ils sont mis en circulation dans l'environnement suite aux activités humaines. Les ETM sont toxiques pour les êtres vivants (microorganismes, plantes,animaux Homme) en fonction de la dose et du niveau d'exposition. Ils peuvent être transmis des sols et des eaux d'irrigation contaminés aux produits agro-alimentaires et provoquent de nombreux troubles de santé chez l'homme et l'animal (Respiratoires et cancérigènes….etc).

2-2-2-2- Différentes analyses de la qualité écologique des sols :

L'analyse de sol est couramment pratiquée dans le but de connaître les potentialités d'exploitation durable des terrains, de façon à économiser et gérer les pertes d'érosion de l'environnement. Pour procéder à des analyses complètes de la qualité des sols, on doit passer par plusieurs aspects structuraux :

1- **Analyses physiques** :

Des analyses qui puissent nous rendre compte sur la texture (granulométrie), la structure, les capacités de rétention de l'eau et de la circulation d'oxygène dans un milieu terrestre.

2- **Analyses physico-chimiques** :

Elles indiquent l'état chimique du sol (pH, humidité, conductivité électrique, taux de $CaCO_3$ total et actif, taux de Carbone, de matière organique et d'Azote).

3- **Analyses biologiques** :

L'analyse biologique permet d'évaluer l'évolution du statut organique du sol. Le premier indicateur est le rapport C/N (carbone total sur azote total du sol). L'étude écologique de la pédofaune (champignons et

bactéries…..etc) terrestre, en plus de l'estimation de la vitesse de décomposition des matières en dégradation, renseignent sur la qualité des sols.

4- Fond géochimique du sol :

C'est l'étude de la composition chimique et du taux des éléments majeurs et éléments métalliques traces d'un sol, dans le but de déterminer la qualité de la flore et de la faune qu'il abrite. Elle est composée du « fond géochimique naturel » (résultant de l'évolution des roches-mères et des apports naturels), et du « fond d'origine anthropique » qui exprime le taux des éléments introduits dans le milieu par des activités humaines (Agriculture et industrie).

2-3- Paramètres organiques :

2-3-1- Définition d'une matière organique :

C'est la matière qui compose les tissus des êtres vivants, elle est principalement formée de la biomasse vivante et morte, dans un cycle continuel de décomposition et de biosynthèse **(Fig 03)**. Elle existe dans des composants de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, de faibles quantités d'azote, de phosphore, de potassium, et de soufre….etc. La matière organique peut exister sous deux formes principales :

- **Substances humiques (Humus) :**

Ce sont des substances à caractère acide et hydrophile, issues de la dégradation biologique et de l'oxydation chimique des déchets animaux et végétaux (macromolécules). Elles représentent environ 30 à 50% du carbone organique.

- **Substances non humiques :**

Des formes de protéines, de peptides, d'acides aminés, des graisses et des molécules de petite taille dégradées à travers des enzymes secrétés par des microorganismes.

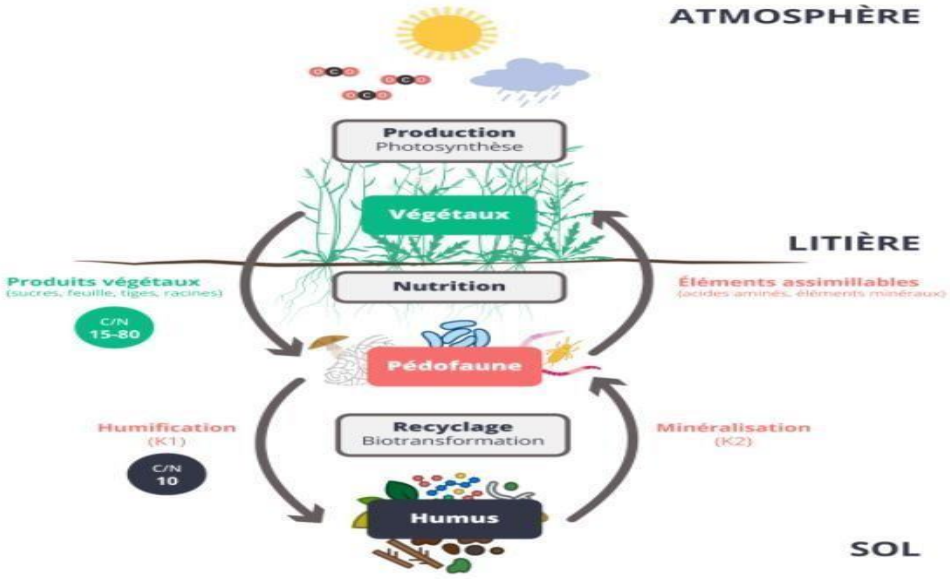

Figure 03. Cycle de matière organique (Production-dégradation)

2-3-2- Production de la matière organique :

La première fonction des végétaux est de produire la matière organique par photosynthèse **(Fig 04).** Un processus qui se déroule chez les organismes autotrophes, qui utilisent la lumière comme source d'énergie, le dioxyde d'azote ainsi que des éléments inorganiques dissous (Eléments minéraux) afin de synthétiser la matière organique vivante.

Elle peut également être transportée aux écosystèmes aquatiques et terrestres sous forme de feuilles, de fruits et de divers débris organiques (végétaux et animaux) qui tombent dans l'eau ou les sols, où ils seront dégradés par les microorganismes décomposeurs.

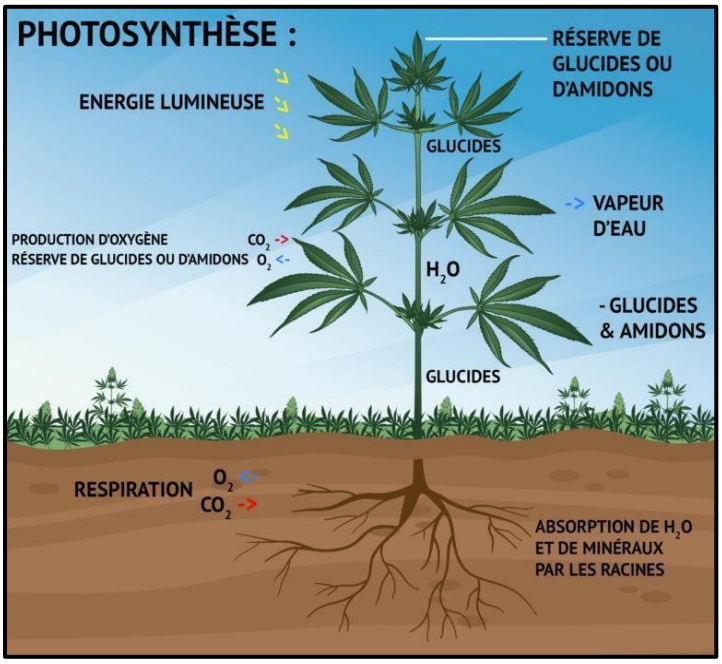

Figure 04. Processus de la photosynthèse

2-3-3- Dégradation de la matière organique :

La matière organique des organismes morts est dégradée, sous forme de composés organiques ou inorganiques, solubles ou particulaires. Ces processus utilisent le dioxygène dissous et aboutissent à la reminéralisation des éléments nutritifs, qui seront à nouveau absorbés par les organismes autotrophes (C'est la transformation inverse de matière organique en éléments inertes). La dégradation de la matière est un phénomène qui participe à la production d'énergie nécessaire pour d'autres mécanismes physiologiques telle que la respiration des espèces naturelles.

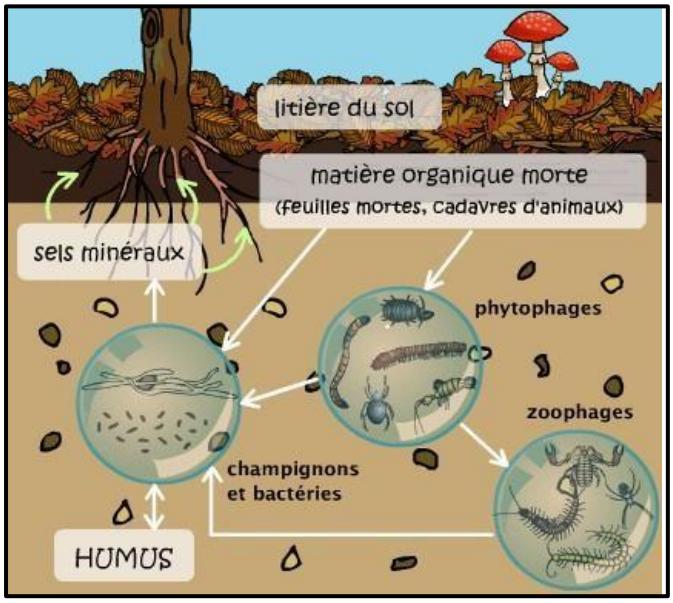

Figure 05. Dégradation de la matière organique

2-3-4-Etapes de dégradation de la matière organique:

1- Lixiviation

Les flux d'eau des pluies qui traversent les litières et le sol et dégradent la matière organique, peuvent entraîner des ions et de la matière soluble (lixiviation de carbone organique dissous).

2- Fragmentation

Les détritus de grande taille sont dégradés par les organismes de la faune du sol (Saprophytes). Ces organismes se nourrissent en ingérant et en assimilant partiellement des fragments de matière morte, qu'ils découpent avec leurs pièces buccales et les déplacent dans le sol « matières organiques particulaires ».

3- Incorporation

Les vers de terre anéciques, les termites et les fourmis, ont un impact majeur sur le déplacement des matières particulaires issues des premiers horizons. Ces ingénieurs du sol participent à l'incorporation des matières organiques des surfaces, dans les couches les plus profondes.

4- Catabolisme enzymatique

Les matières organiques particulaires sont également la source d'énergie pour les microorganismes décomposeurs (bactéries, champignons, archées), qui produisent des enzymes extracellulaires capables de lyser certaines liaisons chimiques des matières organiques, et donc d'en détacher des sucres solubles.

La libération de molécules inorganiques (CO_2, des ions nutritifs comme l'ammonium, les phosphates...etc) est appelée « minéralisation **»**

5- **Stabilisation**

C'est l'étape qui indique la fin de la décomposition des matières organiques. Certaines molécules s'adsorbent sur les minéraux du sol, et une fois adsorbées elles sont moins sensibles à la dégradation enzymatique. On parle alors de stabilisation physico-chimique de la matière organique.

Tableau 06. Principaux décomposeurs de la matière organiques dans la nature

Groupe	Différents types selon leur nature
Décomposeurs	• **Microflore** Bactéries et champignons, décomposeurs primaires principaux ; capables de digérer des matières organiques complexes et de les transformer en substances plus simples. • **Microfaune** Certains types de protozoaires et de nématodes qui se nourrissent de tissus microbiens ou les assimilent et excrètent des nutriments minéraux. • **Mésofaune** Allant des petits arthropodes acariens (Acari) et les collemboles (Collembola) et des Enchytraeidae ; qui désagrègent les résidus végétaux, et de la matière morte et se nourrissent de décomposeurs primaires. • **Macrofaune** Fourmis, termites, mille-pattes et vers de terre qui contribuent à la décomposition des matières organiques en désagrégeant les détritus végétaux et les déplaçant dans le profil de sol, améliorant ainsi la disponibilité des ressources pour la microflore.

2-3-5-Évaluation de la matière organique d'un milieu naturel :

Une estimation globale de la matière organique d'un milieu naturel est possible en utilisant comme référence la quantité d'oxygène nécessaire à les oxyder ou la mesure du carbone organique présent dans le milieu. Beaucoup d'indices naturels peuvent permettre cette estimation :

- La DCO ou demande chimique en oxygène (exprimée en mg O_2/l) pour les eaux chargées.
- La DTO ou demande totale en oxygène (exprimée en mg O_2/l).
- La DBO5 ou demande biochimique en oxygène sur 5 jours (exprimée en mg O_2/l).
- Les matières oxydables ou MOX (exprimées en mg O_2/l).
- Le COT ou carbone organique total.
- Le COD ou carbone organique dissous.
- Le rapport C/N ou carbone total sur azote total du sol.

2-3-6-Pollution organique :

Les polluants organiques persistants sont des composés des écosystèmes aquatiques, qui peuvent être bio-accumulés dans les tissus adipeux des organismes marins et qui peuvent causer de sérieux dommages aux écosystèmes. Les bio-indicateurs de la contamination organique doivent soit avoir la capacité de bio-accumuler ces éléments et de résister fortement à leurs effets néfastes, ou présenter une grande sensibilité face à leur contamination, qui se traduit par des symptômes physiologiques, morphologiques, par la diminution de leur abondance, ou par leur disparition.

2-4- Substances réglementées :

Ce sont des polluants dont la surveillance dans l'environnement est obligatoire. La liste des polluants réglementés est, par définition, fixée par la loi. La liste suivante donne une indication des principaux polluants réglementés dans le cadre de directives européennes pour la protection de l'environnement :

1- Les composés organo-halogénés et substances susceptibles de former des composés de ce type dans le milieu aquatique.

2- Les composés organophosphorés.

3- Les composés organo-stanniques.

4- Les substances et préparations, ou leurs produits de décomposition, dont le caractère cancérigènes ou mutagènes ou les propriétés pouvant affecter les fonctions stéroïdo-génique, thyroïdienne ou reproductives ou d'autres fonction endocriniennes dans ou via le milieu aquatique ont été démontrés

5- Les hydrocarbures persistants et substances organiques toxiques persistantes et bio-accumulables

6- Les cyanures.

7- Les métaux et leurs composés.

8- L'arsenic et ses composés.

9- Les produits biocides et phytopharmaceutiques.

10- Les matières en suspension.

11- Les substances contribuant à l'eutrophisation (en particulier nitrates et phosphates).

12- Les substances ayant une influence négative sur le bilan d'oxygène (et pouvant être mesurées à l'aide de paramètres tels que DBO5, la DCO, etc.).

3- Techniques d'analyse des composants d'un milieu naturel :

Contrairement aux paramètres physico-chimiques qui sont évalués par des mesures sur les lieux à analyser, l'évaluation des paramètres organiques et inorganiques (éléments chimiques) nécessite un déplacement des échantillons, des écosystèmes pollués aux différents laboratoires d'analyses ainsi que l'utilisation du matériel et des techniques bien spécifiques.

Figure 06. Etape d'évaluation de la qualité des écosystèmes naturels

La sensibilité et le choix de la méthode d'analyse dépendent principalement de la qualité du milieu naturel, du type d'échantillon et de la différence de concentration des éléments au sein du milieu. Il existe plusieurs techniques d'évaluation des composants chimiques d'un milieu, parmi lesquelles on peut citer :

3-1- Gravimétrie :

Elle est basée sur la détermination de la masse d'un composé pur, auquel l'analyse est apparentée chimiquement, son principe est la séparation de l'échantillon sous une forme qui peut être pesée. Beaucoup de substances organiques sont dosées par gravimétrie et cela par plusieurs procédures :

- **Gravimétrie par précipitation :**

C'est la technique d'analyse qui permet de séparer les ions d'une solution, grâce à une réaction de précipitation et l'ajout d'un réactif. Le composé est converti en un précipité qui sera par la suite filtré, lavé et enfin pesé.

- **Gravimétrie par volatilisation** :

Dans ce cas, le composé est volatilisé à une température appropriée. Le produit volatil est ensuite pesé, la masse de l'analyte peut être déterminée à partir de la perte de masse des échantillons. Exemple: Le dosage de l'hydrogénocarbonate de sodium ($NaHCO_3$), dans des comprimés pharmaceutiques antiacides. La réaction est réalisée dans un récipient connecté à un tube taré contenant un absorbant **(Fig 07)**. La différence de masse du tube avant et après absorption permet de calculer la quantité d'hydrogénocarbonate de sodium dans le milieu.

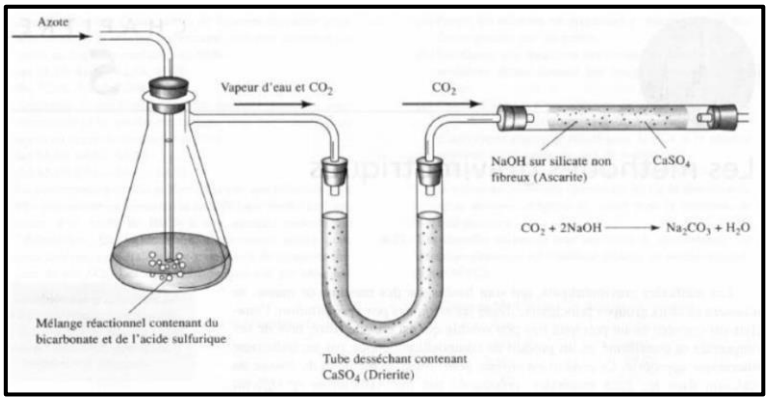

Figure 07. Gravimétrie par volatilisation

3-2- Titrimétrie :

C'est la technique de dosage utilisée pour déterminer la concentration d'un composé chimique depuis sa réaction avec un réactif. Le titrage met en œuvre une réaction chimique ou biochimique entre un composé à doser et un réactif, dont la concentration est déjà connue et qui est ajouté par incrément. La titrimétrie peut être réalisée selon plusieurs méthodes :

- **Titrage volumétrique** :

Ajouter graduellement un volume de réactif dont la concentration est déjà connue, jusqu'à terminer la réaction chimique **(Fig 08).**

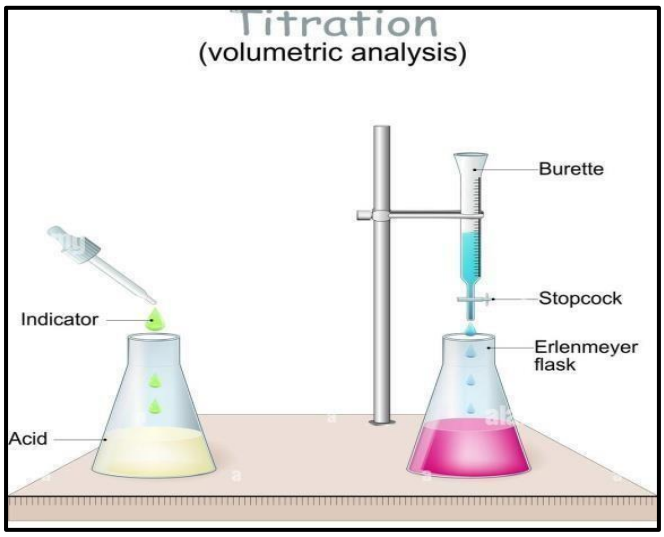

Figure 08. Titrage volumétrique

- **Titrage gravimétrique** :

Pendant cette méthode de titrage, on mesure la masse du réactif nécessaire plutôt que son volume utilisée pour compléter l'opération.

❖ **Titrage coulométrique :**

On ajoute graduellement des électrons à l'équipement jusqu'à atteindre la fin du titrage, on mesure ensuite le temps nécessaire pour réaliser la réaction électrochimique **(Fig 09)**. La quantité des composants est déterminée à partir de l'intensité du courant.

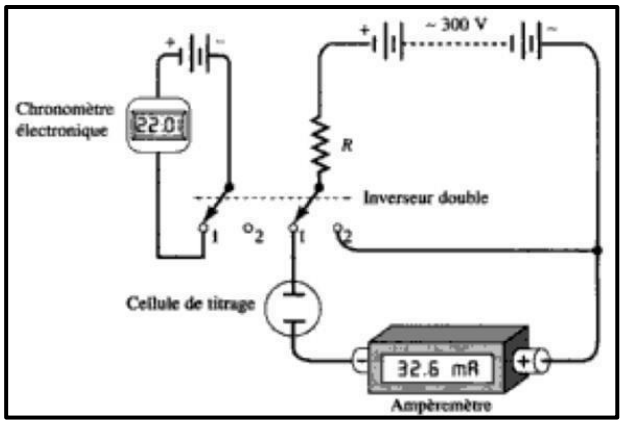

Figure 09. Schéma d'un appareil de titrage coulométrique

3-3-Potentiométrie :

Elle est réalisée à l'aide d'une électrode indicatrice et d'une électrode de référence **(Fig 10)**. L'électrode indicatrice mesure la tension d'une solution en fonction de sa composition en éléments. Cette valeur est ensuite comparée aux résultats de l'électrode de référence.

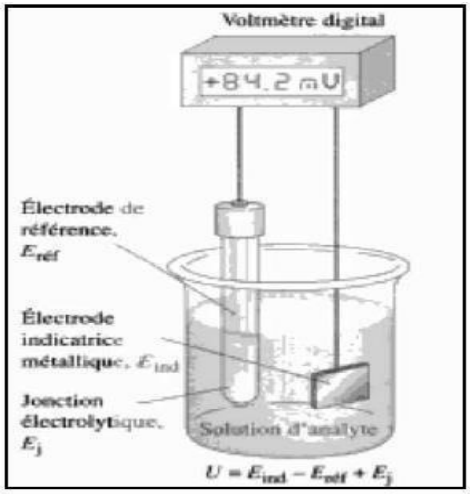

Figure 10. Dispositif de mesure potentiométrique

3-4-Spectrophotométrie

C'est la mesure de l'abondance ou de la densité optique d'une substance chimique. Son principe consiste à l'estimation de la différence entre la lumière incidente et celle transmise par une solution **(Fig 11)**. En

effet, lorsqu'une lumière d'intensité précise passe à travers une solution, une partie de celle-ci sera absorbée par le soluté (les composants), et l'autre partie sera transmise avec une intensité inférieure. Il existe plusieurs méthodes de spectrométrie, parmi lesquelles, on peut citer :

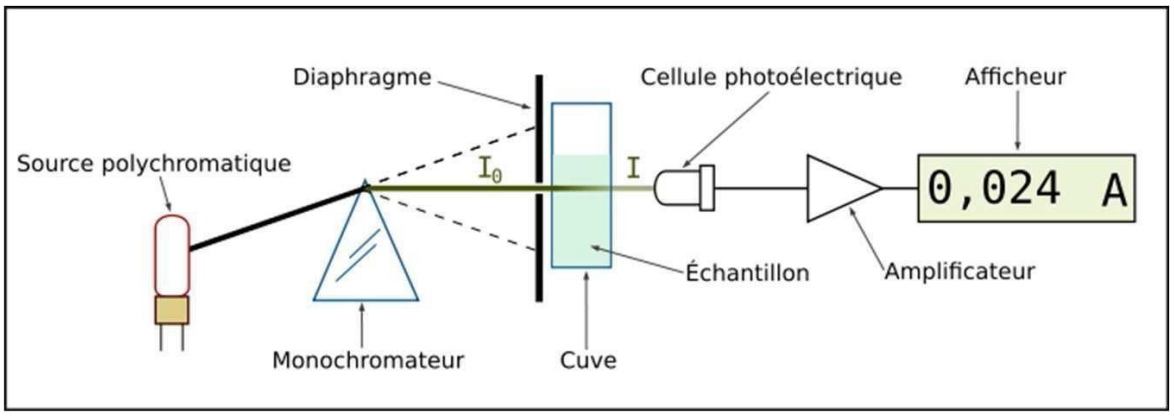

Figure 11. Principe du fonctionnement d'un spectrophotomètre

- **Spectrométrie de masse :**

C'est une technique d'analyse qui consiste à identifier et quantifier les molécules d'une solution par mesure de leur masse. Son principe réside dans la séparation en phase gazeuse des molécules chargées en fonction de leur rapport (masse /charge) **(Fig 12)**.

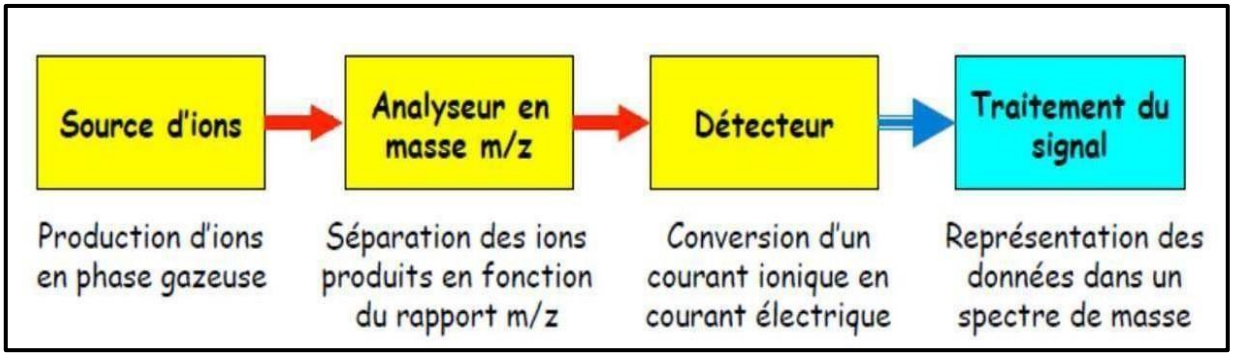

Figure 12. Schéma de spectrométrie de masse

- **Spectrométrie à fluorescence**

Une technique d'analyse utilisée pour déterminer la composition chimique des échantillons solides, liquides, des boues ou de la poudre libre, par leur placement sous rayons X. Les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité instable. Une fois revenir à leur premier état l, ces atomes vont libérer de l'énergie sous forme de photons X qui seront par la suite émis une deuxième fois

(Fig 13). L'analyse de rayonnement secondaire permet à la fois de connaitre la nature des éléments chimiques dans un échantillon, ainsi que leur concentration massique.

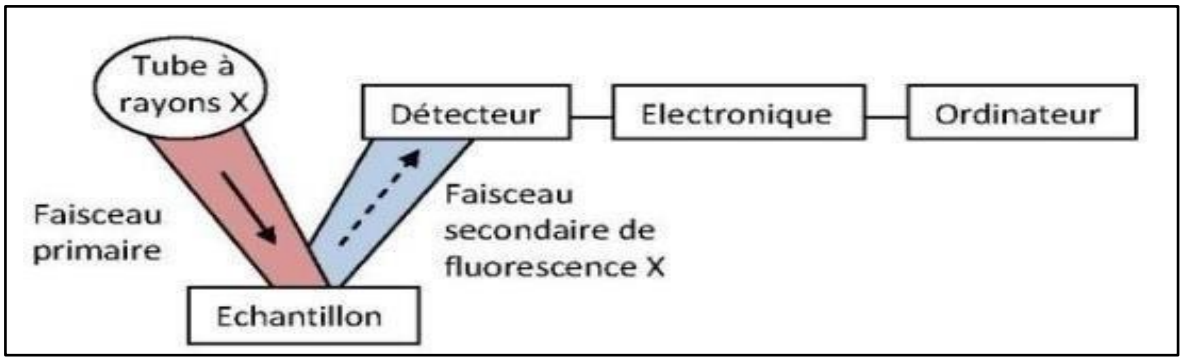

Figure 13. Principe de la spectrométrie à fluorescence

3-5- Méthodes chromatographiques :

Ce sont des méthodes utilisées pour la séparation, l'identification et le dosage des constituants chimiques d'un mélange. Leur principe est basé sur la migration des solutés d'un échantillon durant deux phases principales, une phase mobile qui entraine le passage des composants par un liquide ou un gaz (chromatographie en phase liquide ou chromatographie en phase gazeuse), et une deuxième phase stationnaire immobile. Parmi les méthodes chromatographiques, les plus connues sont :

- **Chromatographie sur colonne :**

C'est une technique utilisée dans la purification en chimie organique. La séparation des composés est provoquée par l'écoulement continu d'un éluant passant dans une colonne **(Fig 14)**. La phase stationnaire est donc maintenue dans un tube étroit et la phase mobile progresse par gravimétrie ou sous pression.

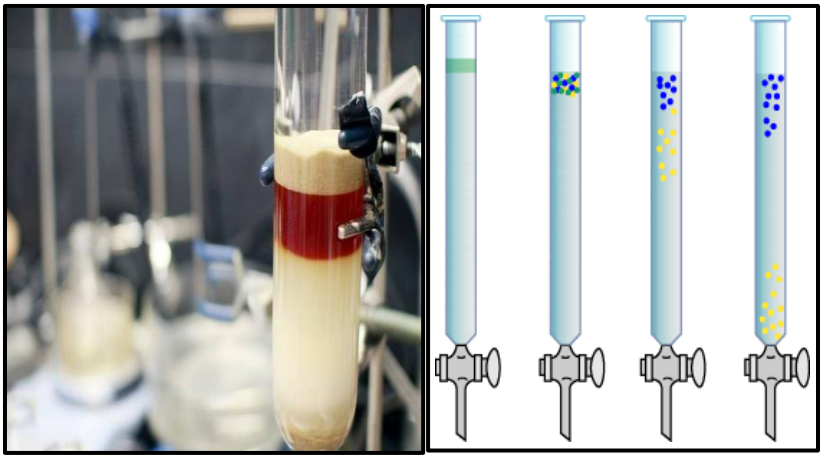

Figure 14. Chromatographie sur colonne

❖ **Chromatographie sur surface (planaire) :**

Elle est utilisée pour séparer des composants dans un but d'analyse ou de purification, elle présente les avantages de ne nécessiter que peu de matériel et de donner des résultats facilement interprétables. La phase stationnaire est présente durant cette méthode à la surface d'un support plat (couche mince) **(Fig 15)**, ou sur une feuille en cellulose (papier). Quand à la phase mobile, elle se déplace par gravimétrie.

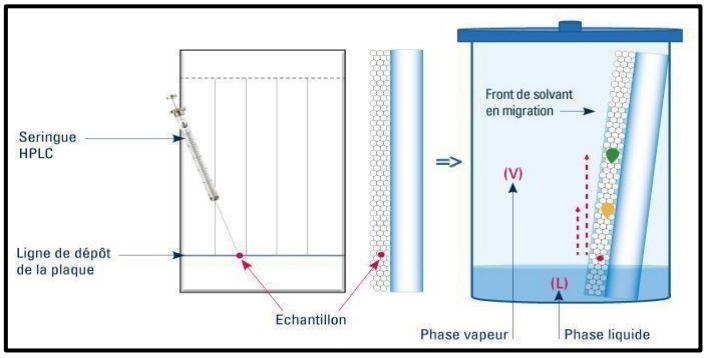

Figure 15. Chromatographie planaire (Sur surface ou sur couche mince)

Il existe d'autres techniques et d'autres méthodes d'analyse ayant principalement pour but l'évaluation de la qualité des milieux terrestres ou aquatiques et l'estimation de leur taux de pollution. Cela est réalisable par l'identification et la quantification de leurs différents composants organiques, inorganiques et métalliques.

II- Chapitre 02 :

1- 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- 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.

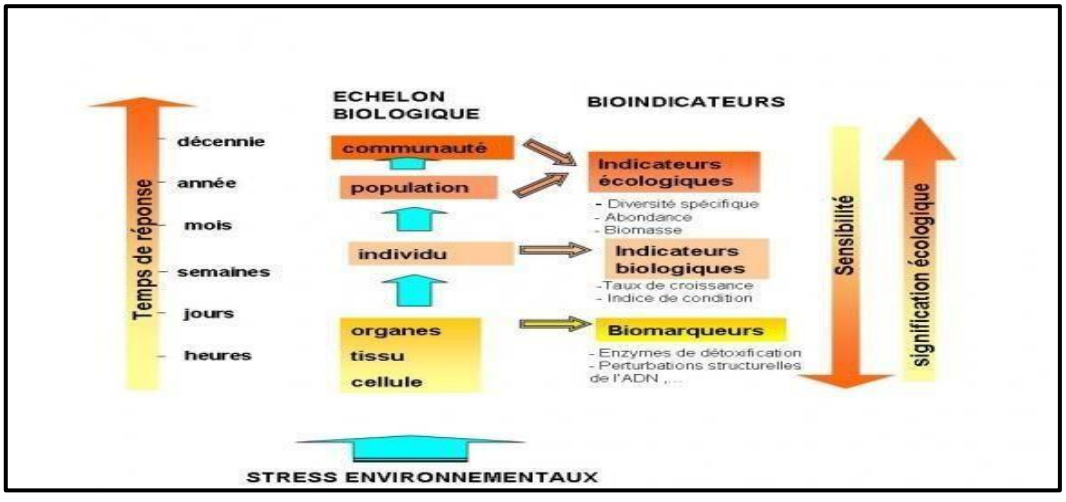

Figure 01. Rôle des Bio-indicateurs dans les écosystèmes écologiques contaminés

1-2- 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.

1-3- Types de bio-indicateurs selon leurs réactions :

1-3-1- 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.

1-3-2- 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…

1-3-3- 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 individus …..etc). 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).

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

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).

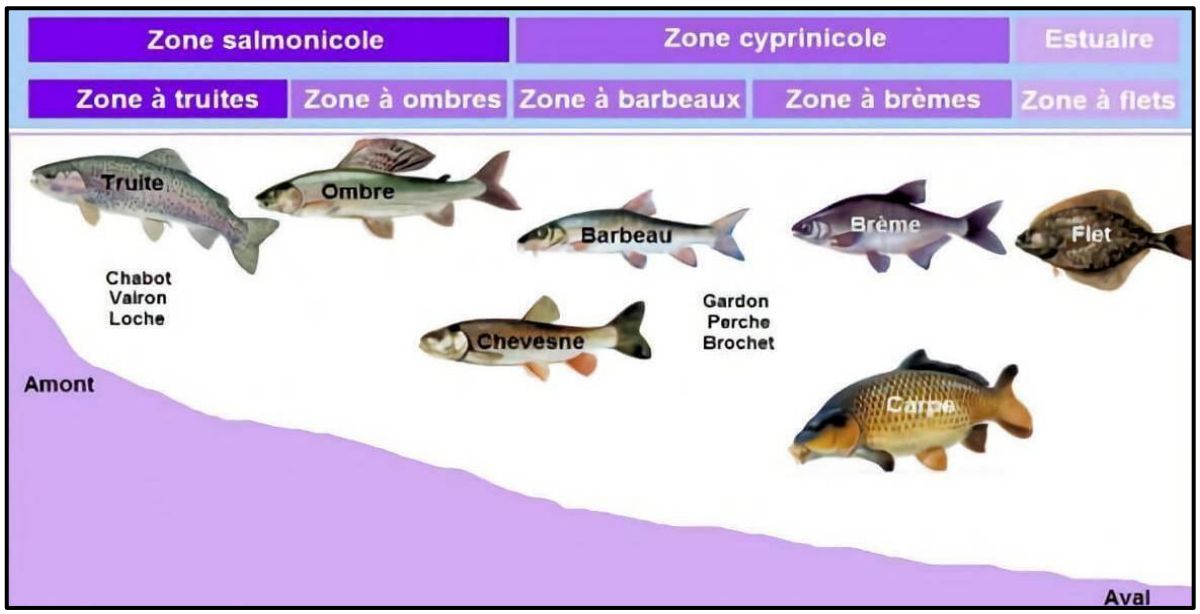

Figure 02. Zonation écologique par largeur de pente

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 :

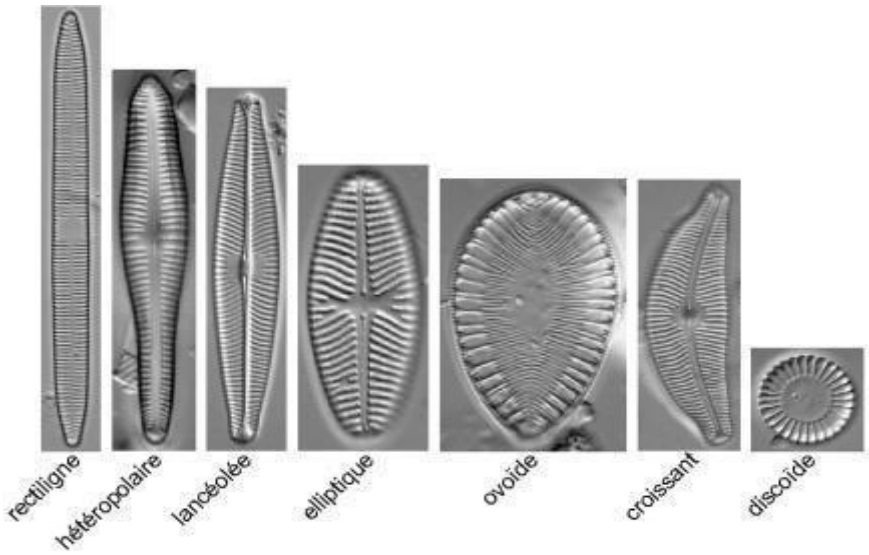

Figure 03. Différentes classes de diatomées des milieux aquatiques

- **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:

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

Avec:

Ai: Abondance relative de l'espèce i

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

Vi: 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	*Achnantheshungarica*	2	3
Amphora	*Amphorapediculus*	4	2
Cratícula	*Cratículaaccomoda*	1	3
Cyclotella	*Cyclotellaatomus*	2	1
Navícula	*Navículalanceolata*	3	1
Neidium	*NeidiumIridis*	5	2
Melosira	*Melosiranummuloides*	2	3
Sellaphora	*Sellaphorapupula*	2	2

Ensuite la valeur de IPS est estimée depuis la valeur IPS1comme suit:

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

Tableau02. IPS et qualité du milieu

Valeur de IPS	Classification de la pollution	Milieu écologique
17≤ IPS<20	Pollution ou eutrophisation nulle à faible	Très bon
13≤ IPS<17	Eutrophisation modérée	Bon
9≤ IPS<13	Pollution moyenne ou eutrophisation forte	Moyen
5≤ IPS<9	Pollution forte	Mauvais
1≤ 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 êtres présents dans ces milieux aquatiques, en les fragmentant en 7 classes de qualité d'eau, comme suit :

$$F(i) = \frac{\sum_{x=1}^{n} Ax \times Px(i) \times Vx}{\sum_{x=1} Ax \times Vx}$$

Où

Ax : Abondance du taxon x (exprimé en ‰) ;

Px (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 formulesuivante :

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

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 sediments**
≥ 6	Très bon
3≤ IOBS ≤6	Bon
2≤ IOBS ≤3	Moyen
1≤ IOBS ≤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.

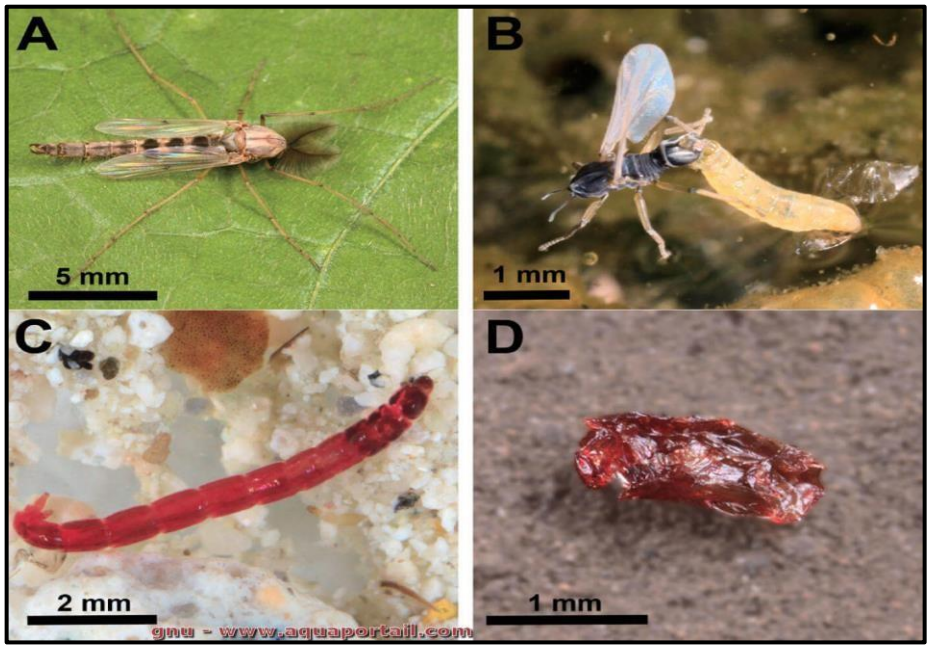

Figure 05. Cycle de vie des chironomidés (A : Adulte ; B : Ponte ; C : Larve ; D : Nymphose)

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

$$IQBC = \frac{\sum_{i=0}^{5} ki \times ni}{N}$$

Avec :

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

ni : Nombre d'individus du groupe d'espèce i

ki = 5 pour *Macropelopia spp.*, *Paracladopelma nigritula* gr. et *Heterotrissocladiusspp*,

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 lophotozoaires 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 calcule des peuplements des mollusques des lacs de profondeur maximale.

Pour l'estimer on prélève les mollusques de trois profondeurs différentes : Zi = 9/10 Zmax, Z2 = -10m et Z3 = -3m. Pour chaque espèce identifiée dans chaque profondeur précise, l'indice IMOL varie selon le tableau suivant **(Tab 06)** :

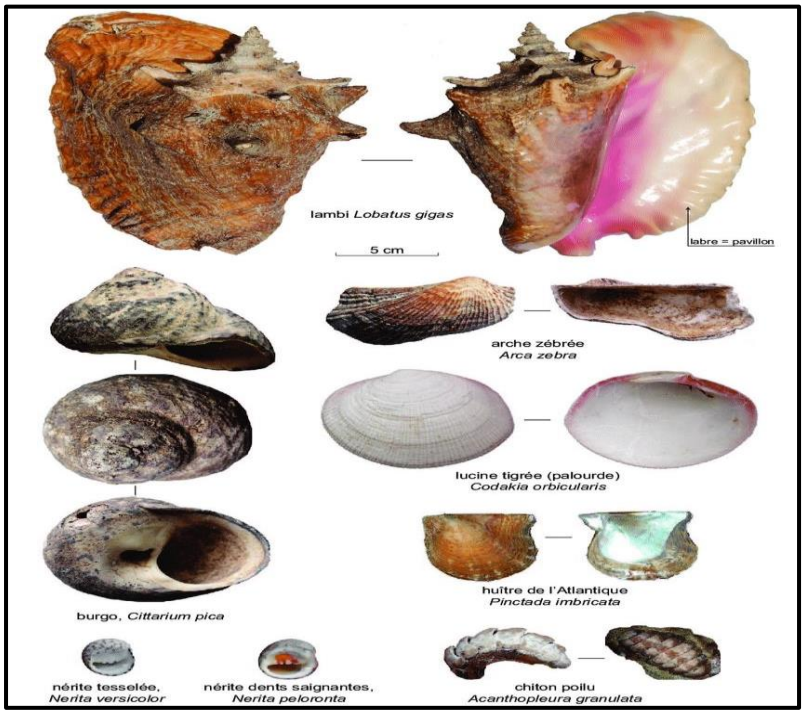

Figure 06. Des espèces de mollusques marins

Tableau 06. Valeurs standards de l'indice IMOL

Niveau d'échantillonnage	Repères malacologiques	Indices
$Zi = 9/10\ Z_{max}$	Gastéropodes et Bivalves presents	8
	Gastéropodes absents, Bivalves seuls présents	7
	Absence de mollusques en Zi	
$z_2 = -10$ 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	
$z_3 = -3$ 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 est 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 disparaitre 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 :

$$IPA = \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^{n} (\mathrm{Oi} \times Fi)$$

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

III- Chapitre 03 :

1- Protection de l'environnement :

Elle consiste à la conservation des espèces animales et végétales qui le compose, ainsi que la conservation de l'intégrité écologique de leurs habitats naturels. Son intérêt principal est de maintenir des écosystèmes dans une bonne situation, ainsi que de prévenir les dégradations écologiques qu'ils pourraient subir et essayer de les éviter.

2- Protection de l'environnement et développement durable :

La dégradation continuelle des écosystèmes et de leur biodiversité, le niveau de pollution sur terre, dans l'air et les océans, ainsi que les conséquences du changement climatique, sont très inquiétants. L'enjeu environnemental du développement durable a pour objectif de mettre en œuvre des actions au quotidien pour réduire le gaspillage, limiter les pollutions, économiser les ressources, afin de conserver et de maintenir la vie sur Terre. La protection de l'environnement requiert une volonté politique, une forte implication des entreprises, des pouvoirs publics et des citoyens, une évolution des mentalités et des changements des comportements humains.

Tableau 01. Domaines d'intervention de la pratique du développement durable pour la protection de l'environnement eu Europe

10 domaines d'intervention	22 actions
Politique économique et service public	❑ OMC et développement durable. ❑ Priorité au service public dans le domaine des infrastructures.
Politique financière	❑ Incitation fiscale à ménager les ressources. ❑ Introduction d'une politique intégrée des produits.
Formation, recherche et technologie	❑ Sensibiliser la population. ❑ Encourager la collaboration scientifique avec les pays en développement et en transition.
Cohésion sociale	❑ Couvrir de nouveaux risques de pauvreté.
Santé	❑ Programme national « Santé, alimentation, mouvement ».
Environnement et ressources naturelles	❑ Développer la politique énergétique et climatique. ❑ Promotion de véhicules propres. ❑ Stratégie incitative en faveur de la nature et du paysage. ❑ Renforcement du système international de protection de l'environnement.
Développement territorial et urbanisation	❑ Programme d'actions « Aménagement durable du territoire ». ❑ Nouvelle stratégie pour la politique régionale.
Mobilité	❑ Conception directrice de la mobilité durable ❑ Renforcement des transports publics. ❑ Nouvelle politique de sécurité routière.
Coopération au développement et promotion de la paix	❑ Participation à la formulation et à la mise en œuvre d'une politique multilatérale de développement durable. ❑ Nouvelles formes de financement du développement durable. ❑ Promotion civile de la paix, prévention des conflits et reconstruction.
Méthodes et instruments	❑ Suivi du développement durable. ❑ Evaluation de la durabilité.

3- Protection de l'environnement et conservation de biodiversité :

Gérer les ressources naturelles consiste à inventorier, caractériser, évaluer, conserver, et restaurer la diversité des espèces animales, végétales et de tout écosystème écologique. Pour cela deux types de conservation de la biodiversité sont mis en application.

- ❖ **Conservation *in situ***

Ce type de conservation consiste à maintenir la protection des organismes vivants dans leur milieu naturel. C'est la moins couteuse et la plus répondue des procédures de conservation, et permet aux communautés animales et végétales de poursuivre leur évolution dans leurs conditions naturelles, en s'adaptant aux changements de l'environnement (Les parcs nationaux-Les parcs régionaux-Les aires protégées)

- ❖ **Conservation *ex situ***

C'est la préservation des espèces en dehors de leur habitat naturel, dans des conditions contrôlées (Jardins zoologiques-Aquariums publics…..). Elle peut également se pratiquer dans des laboratoires de recherches, où certain matériel biologique (Embryons-cellules somatiques-ADN ….etc.) est prélevé à une phase de vie précise (In vitro), sur des animaux vivants et conservés à une température spécifique. C'est une préservation durable des ressources naturelles en dehors du leurs sites de collecte.

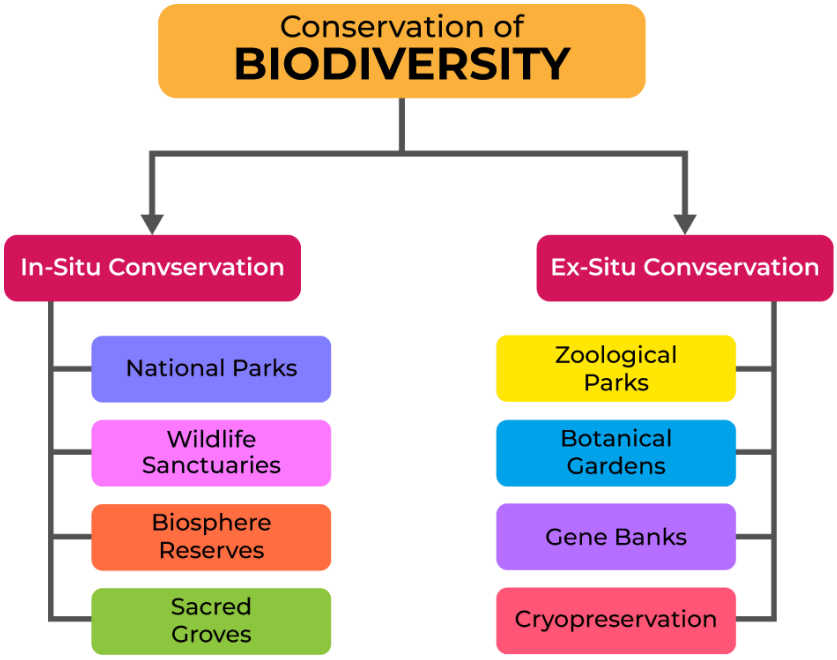

Figure 01. Conservation in-situ et ex-situ de la biodiversité de l'environnement

4-Législation de l'environnement :

C'est l'ensemble des dispositions, ou des directives qui limitent les principes fondamentaux de la gestion de l'environnement, en se basant sur la protection, la restructuration, et la valorisation des ressources naturelles, ainsi que la restauration des milieux endommagés afin de lutter contre toute

forme de pollution et de nuisance naturelle.

4-1- Conventions internationales pour la protection de l'environnement :

4-1-1-Définition d'une convention internationale :

Elle représente un accord entre deux ou plusieurs états, ou organisations internationales, comportant l'octroi réciproque des droits et l'acceptation d'obligations. Cet accord intervenant entre les entités (États membres d'un État fédéral-provinces-départements) sur l'ensemble des traités internationaux, juridiquement contraignant dans le principal but de la conservation dela diversité biologique.

4-1-2- Exemples de conventions internationales pour la protection de l'environnement :

- **Convention de Ramsar :**

Signée dans la ville de « Ramsar » en 1971 en Iran. Elle a eu comme objectifs, la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales et régionales dans le cadre de la coopération internationale, afin de réaliser et de maintenir le développement durable dans le monde entier.

- **Convention de Londres :**

Signée en 1973 en Angleterre pour la prévention de la pollution des eaux de mer par les hydrocarbures rejetés des navires. Elle prescrit certains types de matériels ou certaines caractéristiques de conception pour les navires citernes. Elle réglemente également d'autres formes de pollution, à l'exception du rejet en mer des déchets par immersion, traité par la convention de Londres de 1972.

- **Convention de Washington :**

Sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction. Réalisée en USA en 1973, elle a eu comme but d'empêcher les menaces de la survie des espèces à cause du commerce international et de la vente des animaux et des végétaux.

- **Convention de Bonn :**

Signée en Allemagne en 1979 et prise en considération depuis 1983. Elle a eu comme objectifs la protection des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage ainsi que la protection de leurs habitats. Selon la convention, les pays d'où les espèces migratrices viennent et se déplacent vers, doivent accorder la protection stricte des espèces menacées d'extinction et de leurs habitats sur leurs territoires.

- **Convention de Berne :**

En 1982 en suisse. Elle avait comme objectifs la conservation de la faune et la flore sauvages ainsi que leurs habitats naturels. Elle avait également comme but la coopération entre les paysafin de protéger les espèces migratrices menacées d'extinction.

Par la suite le pays et jusqu'à ces dernières années a fourni des efforts remarquables en sujet de la protection de l'environnement sur son territoire.

- **Convention d'Oslo** :

Signée en Norvège en 1982, visant la prévention et l'interdiction de la pollution des écosystèmes aquatiques par l'immersion des déchets et des molécules polluantes issues de l'industrie et du transport marin.

- **Convention de Montréal :**

Signée en 1987 au canada**,** elle assure la protection de la couche d'ozone par élimination graduelle à l'échelle mondiale des substances qui participent à son appauvrissement, et qui sont utilisés généralement en réfrigération, en climatisation, dans les aérosols, dans les solvants et dans d'autres applications.

- **Convention de Rio :**

Signée au Brésil en 1992, sous le nom de « Sommet de la terre ». Elle a adapté des déclarations qui ont fait progresser le concept des droits et des responsabilités des pays dans ledomaine de l'environnement. Elle a également eu comme objectifs la reconnaissance des pays membres, que la terre est la raison de notre existence, et qu'en sujet de développement durable, les êtres humains doivent avoir une vie et doivent défendre la stabilité Naturelle.

- **Convention de Rotterdam :**

Signée au pays Bas en 1998, sur la procédure de consentement préalable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet du commerce international, dans le but de protéger la santé des personnes et l'environnement contre des dommages éventuels.

- **Convention de Bali :**

Signée en Indonésie en 2007, et a eu comme objectifs la planification d'un protocole sur les changements climatiques.

Elle vise également à réduire les mouvements des déchets dangereux et de leur éliminationafin de protéger la santé humaine et l'environnement.

Selon les états participants, les pays développés doivent prendre des engagements ou desactions de limitation et de réduction des émissions des gaz à effet de serre.

4-2- Associations algériennes pour la protection de l'environnement :

Elles sont constituées de bénévoles et mobilisées sur les problèmes spécifiques de leurs régions avec des moyens très modestes afin d'agir devant les juridictions compétentes pour toute atteinte à l'environnement. Ces associations peuvent exercer les droits reconnus à la partie civile en ce qui concerne la protection de l'environnement, l'amélioration du cadre de vie, à la protection de l'eau, de l'atmosphère, des sols et sous-sols contre la pollution.

Tableau 02. Principales associations algériennes pour la protection de l'environnement

Dénomination	Lieu
Association scientifique pour la protection et la promotion de l'environnement	Annaba (Est)
Association de lutte contre l'ensablement et de protection de l'environnement	Adrar
Association pour la protection de l'environnement	El-Tarf
Association les amis du lac Tonga	El-Tarf
Association écologique pour la protection de l'environnement Bejaia	Bejaia (Est)
Association de l'Archéologie et de l'Environnement «TAKFARINAS »	Bouira (Centre)
Association écologique «Alger la blanche»	Alger
Association de l'environnement et du milieu vert	Médea (Centre)
Association Ecologique de Boumerdès -AEB-	Boumerdès (Centre)
Association de protection de J'environnement	Guelma (Est)
Association de protection de la nature et de l'environnement	Constantine (Est)