

# Cours d'Analyse et protection de l'environnement

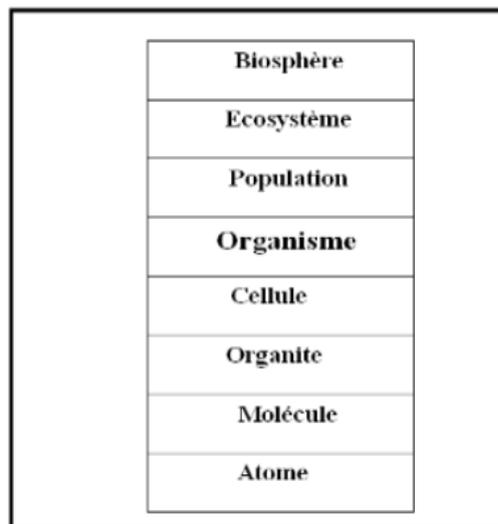
## Chapitre 01 :

### **1-Concept 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 toute interaction entre eux.

### **1-1-Niveaux d'organisation du monde vivant**



**Figure 01.** Les niveaux du monde vivant

### **1-2-Analyse de l'environnement :**

C'est une estimation de la qualité de l'environnement, en se basant sur plusieurs paramètres, techniques et méthodes d'analyse, afin d'évaluer son état écologique et sa diversité naturelle. C'est également l'étude approfondie d'une organisation et son effet directe ou indirecte sur l'environnement.

### **1-3-Objectifs de l'analyse de l'environnement :**

Les objectifs des analyses environnementales sont :

- ❖ Evaluation de l'état du système environnemental à un moment donné (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.

Ces objectifs sont mis en réalisation par deux activités principales :

#### **1-3-1- Les mesures en soutiens aux réglementations :**

L'ensemble des conventions internationales et des directives environnementales organisées par des commissions spécifiques, afin d'adapter des réglementations protectrices de l'environnement.

#### **1-3-2-Les activités de recherche :**

La détermination des polluants (Pesticides, éléments traces....etc), par des analyses quantitatives et qualitatives selon plusieurs étapes (Extraction, dérivation, séparation des éléments....etc.).

### **2-Les matrices analysées :**

L'échantillon à étudié 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.

**2-1-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 (par exemple, composées alkylés du plomb) sur l'environnement dans le cadre des programmes internationaux

### **2-2-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 gravité. L'analyse de ces sédiments est nécessaire pour le calcul de la charge des polluants. En effet, les contaminants (organiques et inorganiques) sont absorbés par ces particules dans les milieux pollués.

### **2-3-Sols, boues et composts :**

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

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

### **2-4-Echantillon biologique :**

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 poisson qui accumulent les polluants des milieux marins dans leurs cuticules et qui sont donc considérés comme de bons indicateurs de la qualité du milieu.

### **2-5-Echantillon atmosphérique :**

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 a provoqué une réponse de contrôle environnemental, ainsi que de nombreux programmes d'analyse.

### 3-Les paramètres déterminés :

#### 3-1-Paramètres physico-chimiques :

##### 3-1-1-La température :

C'est une grandeur physique et un facteur écologique important pour la survie des espèces. Son élévation peut perturber la vie aquatique (Pollution thermique). Une eau chaude peut accélérer la vie et l'activité des micro-organismes et des algues, elle peut également influencer les autres paramètres physico-chimiques (PH, conductivité, teneur en oxygène....etc). La température est mesurée par thermomètre en degré Celsius. Dans le sol, l'augmentation des températures peut avoir un effet sur la mobilité des métaux et sur l'accélération de l'activité des micro-organismes (Bactéries).

**Tableau 01. 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

##### 3-1-2-Le potentiel d'hydrogène :

C'est une mesure chimique de la concentration des ions H<sup>+</sup> dans l'eau ( $pH = -\log [H^+]$ ). Il varie de 0 à 14 depuis un aspect acide à celui basique, en passant par un Ph neutre ( $pH=7$ ).

Les rejets industriels dans le sol ou les apports des eaux de ruissèlement dans les milieux aquatiques, peuvent être à l'origine de la variation du degré de PH, qui est considéré comme indice important de la pollution naturelle.

L'augmentation du PH des milieux terrestres est 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 de la matière organique (Pollution des sols). Le PH d'un milieu est mesuré à l'aide d'un PH mètre et n'a pas d'unité.

**Tableau 02. PH et qualité d'eau**

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

**3-1-3-La conductivité électrique (CE) :**

C'est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle indique le degré de salinité de l'eau, dont les principaux sels sont :  $\text{Ca}^{+2}$  (Calcium),  $\text{Mg}^{+2}$  (Magnésium),  $\text{Na}^{+}$  (Sodium),  $\text{K}^{+}$  (Potassium) .....etc. Plus l'eau est minéralisée plus sa conductivité électrique est importante. Les anions et les cations présents dans un milieu pollué, vont participer à créer un champ magnétique apte à faire passer le courant électrique à travers ses éléments. Elle est mesurée par conductimètre en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

**Tableau 03. Conductivité et qualité d'eau**

<b>Conductivité (<math>\mu\text{s} / \text{cm}</math>)</b>	<b>Qualité de l'eau</b>
50-400	Excellente
400-750	Bonne
750-1500	Médiocre
>1500	Minéralisation excessive (Pollution)

**3-1-4- L'oxygène dissous (OD) :**

Sa présence est indispensable pour la vie des espèces aquatiques. Il provient de l'atmosphère ou de l'activité photosynthétique des algues. La teneur en oxygène en milieu aquatique est variable selon la durée du jour (Température), et selon la profondeur du milieu marin (faible en profondeur).

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 voie 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 le mécanisme reflétera le degré de l'accélération ou de la diminution de l'activité bactérienne ainsi que le taux de pollution du milieu.

**Tableau 04. DBO5 et qualité d'eau**

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

### 3-1-5-Dureté de l'eau :

C'est la somme des concentrations en cations métalliques : Ca<sup>++</sup> (Calcium), Mg<sup>++</sup> (Magnésium). Leur présence peut réduire la toxicité des métaux. C'est donc un indice de pollution du milieu. La dureté total TH= [Ca<sup>2+</sup>] + [Mg<sup>2+</sup>]

**Tableau 05. Dureté et qualité d'eau**

Dureté (mg/l) (CaCO <sub>3</sub> )	Qualité de l'eau
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

### **3-1-6-Paramètres organoleptiques :**

#### **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 (SO<sub>2</sub>)....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).

### **3-2-Paramètres inorganiques :**

#### **3-2-1-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. Les principaux éléments majeurs indicateurs de pollution sont :

##### **❖ Aluminium (Al):**

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

❖ **Azote (N):**

Il est présent dans les milieux terrestres et aquatiques. Le cycle de l'azote est en équilibre entre la fixation d'azote atmosphérique (N<sub>2</sub>) et la dénitrification (production de N<sub>2</sub>). Les concentrations en nitrates des eaux souterraines doivent rester inférieures à 1 mg/l

❖ **Calcium (Ca):**

Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des milieux marins. Les eaux potables, de bonne qualité, renferment de 100 à 140 mg/l de calcium.

❖ **Chlore (Cl) :**

Le chlore est le réactif le plus utilisé pour la décontamination de l'eau. Les teneurs en chlorures sont très variables dans les eaux en fonction du lessivage des sols.

❖ **Magnésium (Mg) :**

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car 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.

❖ **Manganèse (Mn) :**

La présence du manganèse est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique (aciers, alliage, soudure, électrodes, piles sèches, catalyseurs, colorants, additifs dans les carburants, etc.). Sa teneur moyenne est de l'ordre de 1mg/l.

❖ **Phosphore (P) :**

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

❖ **Potassium (K) :**

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques, de certains rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques. Il est présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l.

### **3-2-2-Les éléments 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 métalliques traces utilisés dans l'évaluation de la qualité des milieux on peut citer :

❖ **Arsenic (As) :**

Il est employé dans la métallurgie (alliages), l'électronique (semi-conducteurs), la fabrication de peinture, et la coloration des verres

❖ **Bore (B) :**

Il est utilisé comme antiseptique, dans l'industrie du verre, de la céramique, la fabrication des cosmétiques, de peinture et des produits phytosanitaires

❖ **Brome (Br) :**

Dans l'eau, le brome est sous forme de bromures (naturellement ou liés à des pollutions). Il est présent dans les mers ou dans les minerais.

❖ **Cadmium (Cd) :**

Son origine, d'un point de vue industriel, est liée aux matières plastiques, aux huiles de moteurs, aux piles, aux produits de soudure et aux 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, la production des colorants, le textile et la peinture.

❖ **Cuivre (Cu) :**

Il est largement utilisé pour ses propriétés de conducteur de la chaleur et d'électricité. Il est également utilisé comme fongicide ou algicide en agriculture.

❖ **Mercure (Hg) :**

Le mercure est utilisé dans la métallurgie, la médecine, les cosmétiques, ou l'alchimie. Il est hautement toxique pour l'homme et l'environnement.

❖ **Plomb (Pb) :**

Le plomb est employé comme métal de structure en soudure, en plomberie et en peinture. Il est toxique pour l'environnement même à de très faibles doses.

### **3-3-Spéciation des métaux en milieux aquatiques :**

Les métaux sont présents dans les milieux aquatiques sous forme d'ions (hydrique), et sont contrôlés par plusieurs réactions chimiques. Parmi ces réactions, on peut citer :

#### **3-3-1-La précipitation :**

Le passage d'un métal de l'état dissous à l'état solide (Comme hydroxyde de carbonate, de phosphate ou de sulfates) permet sa précipitation.

### 3-3-2-L'adsorption/ la désorption :

L'adsorption est le processus de la fixation ou de l'attachement d'un métal à la surface solide d'un substrat adsorbant (Comme l'argile). La désorption est par contre le phénomène de détachement des métaux de ces substrats.

### 3-3-3-La complexation :

C'est la réaction d'un métal dans le but d'adhérer à la surface des particules par liaisons ioniques covalentes (configuration électronique adaptée).

### 3-4-Paramètres organique :

#### 3-4-1-Définition de la 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 continu de décomposition et de biosynthèse. La matière organique peut être dégradée dans la nature par des microorganismes décomposeurs en forme:

##### ➤ Des 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 (**Fig 02**).

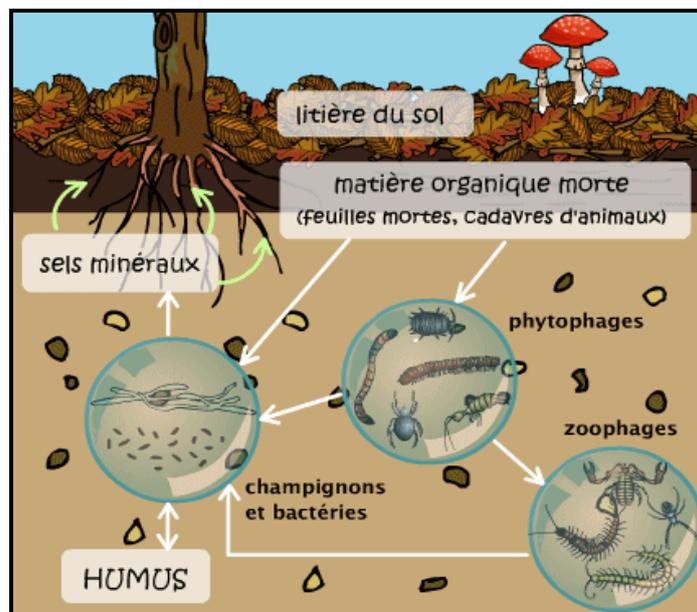


Figure 02. Composition de l'humus

➤ **Des substances non humiques :**

Des formes de protéines, de peptides, des acides aminés et des graisses de molécules de petite taille dégradées par des enzymes issues des microorganismes.

Le dosage de la matière et la mesure du carbone organique total permet l'estimation de la demande en oxygène et la demande biochimique en oxygène, qui sont principalement liées aux rejets des polluants et à la qualité de l'environnement.

**3-5-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 organohalogénés et substances susceptibles de former des composés de ce type dans le milieu aquatique ;
- 2- Les composés organophosphorés ;
- 3- Les composés organostanniques ;
- 4- Les substances et préparations, ou leurs produits de décomposition, dont le caractère cancérigènes ou mutagènes ou les propriétés pouvant affecter les fonctions stéroïdogénique, 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 bioaccumulables ;
- 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.).

#### 4-Types des méthodes d'analyse de l'environnement :

Elles se différencient par la nature du lien entre le signal émis par la substance dans l'échantillon et celui obtenu par celle mesurée dans un étalon. La sensibilité de la méthode d'analyse dépend du type d'échantillon et de la différence de concentration des éléments d'un milieu à un autre. Il existe plusieurs méthodes d'analyse de l'environnement, parmi lesquelles on peut citer :

##### 4-1-La gravimétrie :

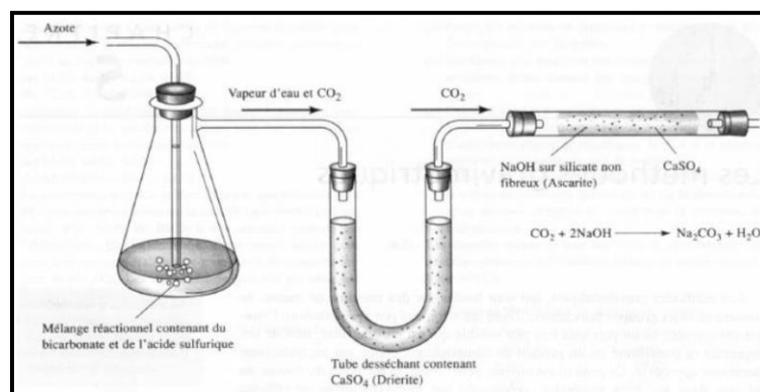
Elle est basée sur la détermination de la masse d'un composé pur, auquel l'analyse est apparentée chimiquement, son principe est la séparation de l'échantillon sous une forme pouvant être pesée. Beaucoup de substances organiques sont dosées par gravimétrie et cela par plusieurs procédures :

##### ❖ Gravimétrie par précipitation :

C'est une 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 filtré, lavé et ensuite 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'analyse peut être déterminée à partir de la perte de la masse de l'échantillon. Exemple: Le dosage de l'hydrogencarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) dans des comprimés pharmaceutiques antiacides. La réaction est réalisée dans un récipient connecté à un tube taré contenant un absorbant (**Fig 03**). La différence de masse du tube avant et après absorption permet de calculer la quantité d'hydrogencarbonate de sodium



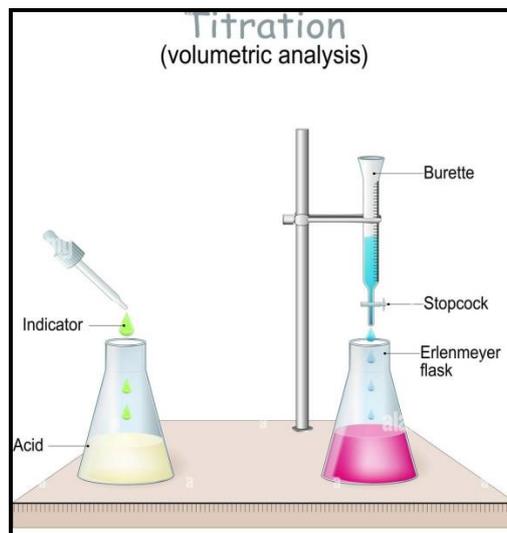
**Figure 03.** Gravimétrie par volatilisation

#### 4-2- La Titrimétrie :

C'est la technique de dosage utilisée pour la détermination de 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 incréments. Elle 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 04**).



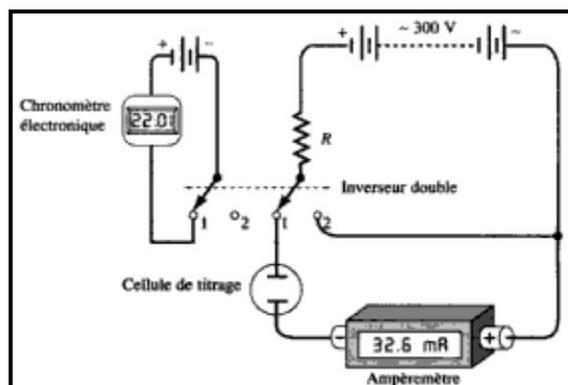
**Figure 04.** Titrage volumétrique

##### ❖ Titrage gravimétrique :

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

##### ❖ Titrage coulométrique :

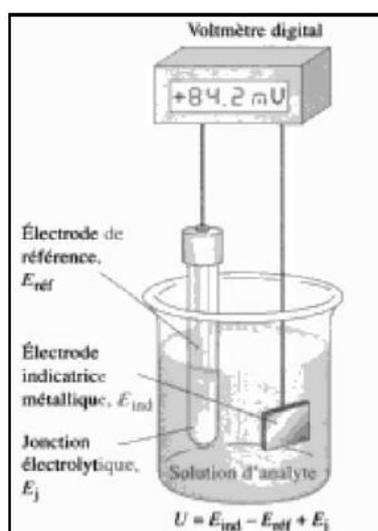
On ajoute graduellement des électrons à l'équipement jusqu'à atteindre la fin du titrage, on mesure ensuite le temps nécessaire pour réaliser de la réaction électrochimique (**Fig 05**). La quantité d'analyse est déterminée à partir de l'intensité du courant.



**Figure 05.** Schéma d'un appareil de titrage coulométrique

#### 4-3- La Potentiométrie :

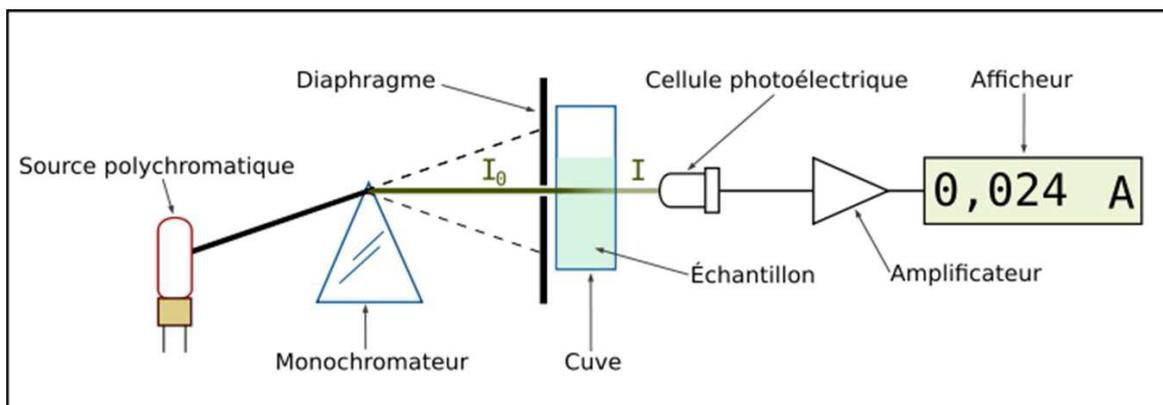
Elle est réalisée à l'aide d'une électrode indicatrice et d'une électrode de référence (**Fig 06**). L'électrode indicatrice mesure la tension d'une solution en fonction de sa composition en éléments. Cette valeur est ensuite comparée aux résultats de l'électrode de référence.



**Figure 06.** Dispositif de mesure potentiométrique

#### 4-4-La spectrophotométrie

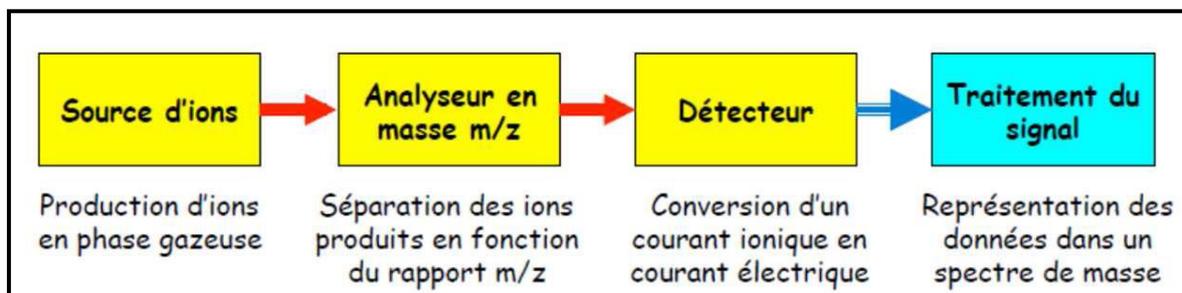
C'est la mesure de l'abondance ou de la densité optique d'une substance chimique. Son principe consiste à l'estimation de la différence entre la lumière incidente et celle transmise par une solution (**Fig 07**). En effet, lorsqu'une lumière d'intensité précise passe à travers cette solution, une partie de celle-ci sera absorbée par le soluté (les composants), et l'autre partie sera transmise avec une intensité inférieure.



**Figure 07.** Principe du fonctionnement d'un spectrophotomètre

#### 4-5- 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 de molécules chargées en fonction de leur rapport (masse /charge) (**Fig 08**).



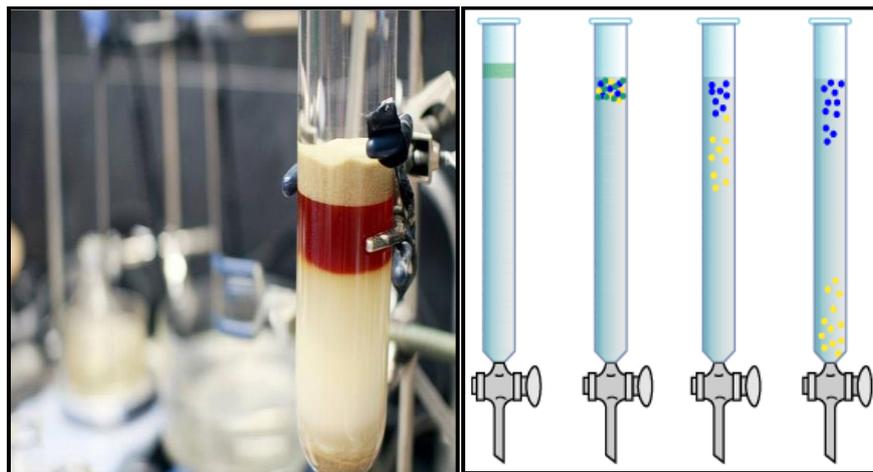
**Figure 08.** Schéma de spectrométrie de masse

#### 4-6-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 où le passage de la solution par un liquide entraîne les solutés à travers une colonne, et une phase stationnaire où le passage du mélange par un gel poreux peut retenir les molécules (solutés) dans ces pores. Parmi les méthodes chromatographiques, les plus connues sont :

### ❖ La chromatographie sur colonne :

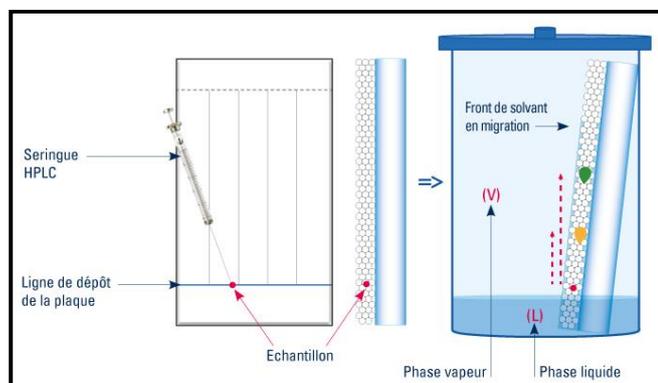
C'est une technique utilisée dans la purification en chimie organique. La séparation des composés est provoquée par l'écoulement continu d'un éluant passant dans une colonne (**Fig 09**). La phase stationnaire est donc maintenue dans un tube étroit et la phase mobile progresse par gravimétrie ou sous pression.



**Figure 09.** 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 10**), ou sur une feuille en cellulose (papier). Quand à la phase mobile, elle se déplace par gravimétrie.



**Figure 10.** 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 aquatiques et l'estimation de leur taux de pollution. Cela est réalisable par l'identification et la quantification de leurs différents composés organiques, inorganiques et métalliques.