

II.1.INTRODUCTION

La détection d'une espèce chimique ou biochimique ainsi que l'évaluation de sa quantité — ou de sa concentration — peuvent être faites soit à l'aide d'instruments d'analyse tels que les chromatographes ou les divers spectromètres, soit à l'aide de capteurs.

Il est de ce fait nécessaire de faire une distinction aussi claire que possible entre ces deux moyens d'analyse sachant que celle-ci sera inévitablement un peu caricaturale.

On peut dire des instruments d'analyse qu'ils sont généralement complexes, coûteux et souvent difficiles à mettre en œuvre. Ils sont aussi le plus souvent volumineux et tributaires de sources d'énergie relativement importantes, donc peu adaptés à l'analyse sur site. Ils sont enfin affligés de temps de réponse souvent très longs (préparation des échantillons, étalonnage, durée de l'analyse proprement dite, sortie des données...). En revanche, avantage capital : la conception de ces instruments d'analyse permet d'obtenir une analyse complète du milieu [1].

Dans ce chapitre, nous présenterons les principales techniques d'analyse d'eau pour la détection des différents polluants.

II.2.Méthodes et moyens d'analyse

II.2.1.Les analyses dans les milieux environnementaux

Pour l'eau, il peut être nécessaire de prélever de grands volumes et par conséquent de reconcentrer les germes sur un filtre ou de les adsorber sur un support puis de les extraire.

Pour les milieux solides, les microorganismes sont, soit prélevés directement par contact ou bien extraits.

Les éléments à prendre en compte concernant la technique d'échantillonnage sont la représentativité de l'échantillon constitué, le type d'analyse pouvant être réalisée sur l'échantillon obtenu et les performances de l'échantillonneur en termes de récupération de germes.

Quant aux techniques d'analyse, elles sont relativement nombreuses. A côté des méthodes traditionnelles de culture ou des méthodes basées sur l'observation microscopique, de

nouvelles techniques s'appuyant sur la génétique moléculaire et l'immunologie sont apparues. Chacune de ces méthodes possèdent des avantages et des inconvénients [2].

L'analyse est indispensable à l'élaboration d'un projet d'installation de traitement d'eaux ainsi que pour le contrôle de son fonctionnement et l'appréciation de la qualité de l'eau traitée (sortie station, réseaux, milieu naturel).

Les progrès incessants des techniques analytiques permettent d'améliorer la connaissance des constituants des eaux et de leurs effets.

Les normes de qualité sont de plus en plus sévères, les traitements de plus en plus sophistiqués et le contrôle demande à être d'autant plus précis et fiable [3].

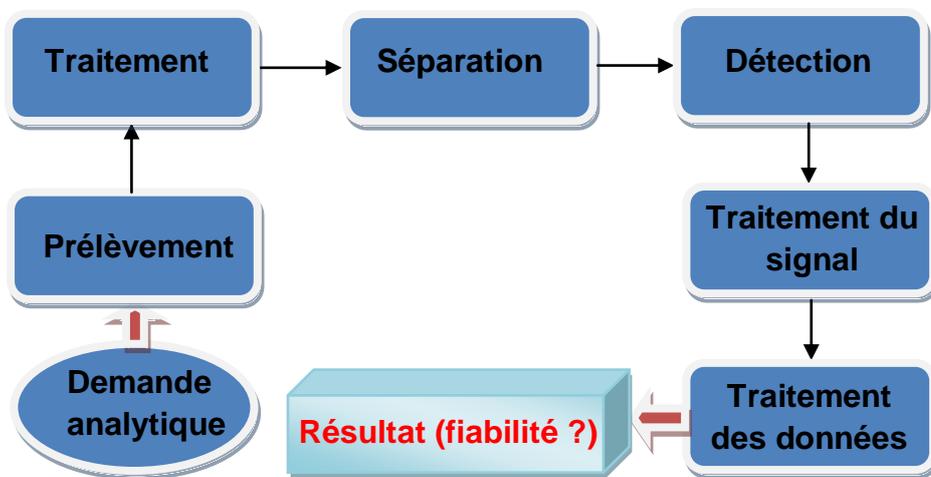


Figure (II-1) : Etapes d'une méthode analytique [4].

II.3. Les prélèvements

Le premier objectif de l'échantillonnage est d'obtenir des prélèvements représentatifs de l'élément que l'on désire analyser (eau, matériau, boue, dépôt, gaz, réactif...).

L'eau doit être prélevée dans des bouteilles particulièrement propres et rincées plusieurs fois avec l'eau à examiner, sauf si la bouteille, provenant du laboratoire, contient un agent chimique: par exemple déchlorant (bactériologie) ou encore acide conservateur (métaux), etc.

Dans la plupart des analyses physico-chimiques d'eaux destinées à l'alimentation (eau de réseau, de forage...), il faut laisser couler le temps nécessaire à l'obtention d'une eau de qualité permanente [3].

II.3.1.Mode de prélèvement

II.3.1.1.Prélèvement instantané

C'est le mode de prélèvement le plus fréquemment utilisé. Les flacons sont remplis sans agiter l'eau au contact de l'air.

Pour cela, il est nécessaire d'utiliser un tuyau adapté à la prise d'échantillon et plongeant au fond de la bouteille, de laisser renouveler plusieurs fois le contenu de celle-ci puis boucher aussitôt. Certaines analyses (oxygène, gaz carbonique, pH...) exigent d'éviter toute agitation et contact avec l'air.

Les échantillons pour analyses bactériologiques sont prélevés en flacons stériles après avoir flambé le point de puisage (robinet métallique) et laissé couler l'eau à débit constant pendant une minute environ sous la protection de la flamme avant de prélever. Il est indispensable de noter sur chaque échantillon la date, l'origine et la nature de l'eau.

II.3.1.2.Prélèvement composite

Des échantillons moyens sont recueillis lorsqu'on cherche une mesure de qualité moyenne sur une période (par exemple 2 heures ou 24 heures). Un certain nombre d'appareils de prélèvement automatiques permettent de constituer des échantillons proportionnellement au débit.

II.3.1.3.Prélèvement avec concentration

Une étape de concentration-extraction est nécessaire pour la mesure de micropolluants organiques; elle peut être mise en œuvre au laboratoire, mais à partir d'un faible volume ou, directement sur le site, au moyen d'appareils automatiques continus; dans ce cas, l'échantillon peut correspondre à la concentration de plusieurs centaines de litres prélevés sur plusieurs jours [3].

Trois types de matériel sont utilisés

- échantillonneur d'eau pour substances volatiles, en combinaison avec un stripping en boucle fermée,
- système continu d'adsorption sur résines macroporeuses
- extracteur liquide-liquide en continu figure (II-2)



Figure (II-2) : Extracteur liquide-liquide en continu (Licence Lyonnaise des Eaux).

II.4. Les analyses

II.4.1. Analyses sur site

Certains paramètres peuvent évoluer pendant le transport des échantillons au laboratoire et il est toujours préférable de faire ces déterminations sur le terrain pH, température, O₂, CO₂, H₂S, NH₃, potentiel d'oxydo-réduction, oxydants résiduels... La mesure de ces paramètres repose souvent sur des méthodes de précision inférieure à celle des méthodes de laboratoire mais l'intérêt de la mesure immédiate peut être prépondérant compte tenu des variations susceptibles d'intervenir durant le transport et la conservation en laboratoire. Par ailleurs, ces analyses sont aussi nécessaires lors de l'étude prolongée d'une eau brute ou d'un effluent en vue de l'établissement d'un projet ou de l'optimisation d'une installation de traitement [3].



Figure (II-3) : Les trois étapes d'études de qualité des eaux naturelles [5].

II.4.1.1.Méthodes potentiométriques

Ces méthodes mettent en œuvre le plus souvent des électrodes spécifiques qui sont utilisées par immersion dans l'eau; elles permettent de mesurer: pH, potentiel d'oxydo-réduction, oxygène, turbidité, résistivité, fluorures, cyanures... Le couplage de ces sondes à une unité centrale de saisie de données (microprocesseur ou 337 micros ordinateurs) permet de suivre sur le site l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps.

II.4.1.2.Méthodes colorimétriques

Ces méthodes mettent en jeu des "réactions colorées" dont l'intensité de la couleur obtenue est évaluée au moyen de comparateurs possédant des disques, plaquettes ou bandes colorées servant d'étalons.

II.4.1.3.Méthodes volumétriques

De nombreux paramètres sont déterminés par volumétrie (alcalinité, dureté totale, dureté calcique, chlorures...). Des malles contenant de la verrerie classique de laboratoire permettent ces déterminations (burettes, erlenmeyer, éprouvettes graduées, fioles...) [3].

II.5. Les techniques d'analyse chimique de laboratoire

II.5.1. Spectrophotométrie

II.5.1.1. Spectrophotométrie d'absorption moléculaire

C'est la méthode analytique la plus utilisée en analyse d'eau. Elle nécessite la mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de (élément recherché). Elle s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de la lumière incidente; la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché (loi de Beer-Lambert).

Cette technique a permis le développement de chaînes analytiques de laboratoire à flux continu, l'utilisation industrielle de photolorimètres pour la mesure "séquentielle-en continu" de nombreux paramètres (silice, ammonium, etc.).

II.5.1.2. Spectrophotométrie d'absorption UV et IR

Dans le domaine de l'eau, ces techniques sont surtout utilisées pour quantifier des familles de matière organique (MO).

La mesure de **l'absorption UV à 254 nm** est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons.

La même mesure à d'autres longueurs d'onde complète l'examen (par exemple, acides humiques).

La mesure du COT (Carbone organique total) fait intervenir une minéralisation du carbone organique par oxydation chimique et UV ou par combustion et une détection du CO₂ par IR. La limite de détection de la méthode est de 0,2 mg.l⁻¹ et la précision est de 10 % (figure (II-4)).

L'indice CH₂ permet de mesurer les pollutions par les hydrocarbures, on fait en général appel à une technique fondée sur l'absorption des liaisons - CH, - CH₂, - CH₃, dans le domaine infrarouge compris entre les nombres d'ondes 2 800 et 3 000 cm⁻¹. Plusieurs méthodes opératoires existent dont les champs d'application peuvent être incertains et l'interprétation difficile [3].

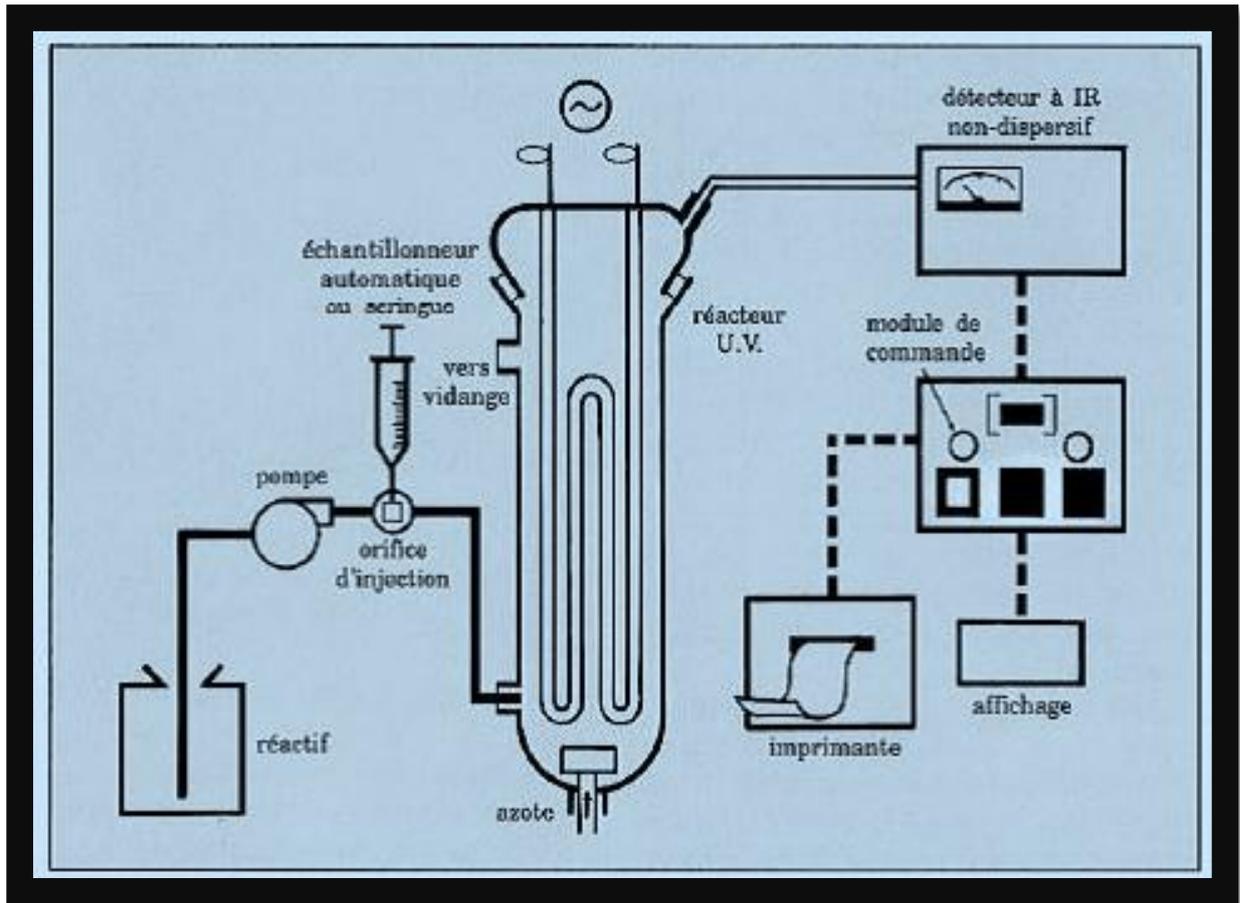


Figure (II-4) : Principe de la mesure du COT.

II.5.1.3. La spectrophotométrie d'absorption atomique (AA)

II.5.1.3.1. Principe général

Cette méthode d'analyse dite élémentaire permet de doser des éléments chimiques à l'état de traces (en très faible quantité : quelques ppm) contenus dans une solution. Ainsi est-on capable à partir d'un échantillon de connaître les concentrations des espèces présentes.

Cette méthode est quantitative notamment dans le domaine UV-visible.

La spectrométrie d'absorption est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie des atomes.

En effet un atome qui passe de son état (d'énergie) fondamental à un état excité quelconque absorbe un ou plusieurs photons. La fréquence ν du photon dépend de l'énergie ΔE acquise par l'atome par la relation :

$$\Delta E = h\nu$$

Où h est la constante de Planck.

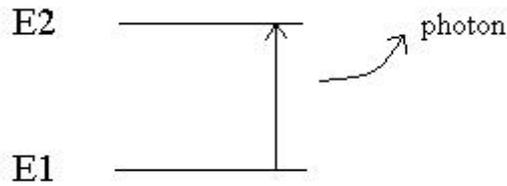


Figure (II-5) : Schéma d'une transition électronique.

On associe au phénomène d'absorption un spectre d'absorption.

Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments que l'on a décidé de doser.

II.5.1.3.2. Mise en œuvre

L'analyse par absorption atomique utilise la loi de Beer- Lambert :

$$ABS = \epsilon_{\gamma} \cdot l \cdot c$$

Avec : ϵ_{γ} constante qui dépend de l'atome absorbant.

l : longueur de la flamme.

c : concentration de la solution en élément absorbant.

Il existe donc une relation entre l'absorbance et la concentration de l'élément absorbant. Pour une longueur d'onde correspondant à un élément absorbant de l'échantillon, on peut mesurer l'absorbance associée traduisant le nombre de photons absorbés et ainsi à partir de la loi de Beer-Lambert est-on capable de connaître la quantité de l'absorbant considéré.

La manipulation est la suivante :

- ✚ on mesure d'abord le profil ou la bande d'absorption pour le déterminer ou les maxima d' ϵ_{λ} (avec une solution de concentration donnée permettant une absorption suffisante). Dans le domaine infrarouge, on est plus en mesure de distinguer des maximums et donc de rendre la méthode plus qualitative.
- ✚ on choisit alors la longueur d'onde λ pour laquelle ϵ_{λ} est maximum c'est-à-dire la longueur d'onde associée à un élément de l'échantillon.

- ✚ on mesure l'absorbance pour cette longueur d'onde
- ✚ comme pour toutes les méthodes quantitatives, on établit une courbe d'étalonnage donnant l'absorbance en fonction de la concentration connue des solutions étalons.

On doit obtenir une droite $ABS=f(c)$ passant par l'origine

- ✚ enfin à partir de l'absorbance de l'échantillon pour la longueur d'onde associée à un élément absorbant et la courbe d'étalonnage, on calcule sa concentration.

On réalise cette manipulation pour chaque élément de l'échantillon en se plaçant à une longueur d'onde fixée. Il faut donc à chaque manipulation choisir une source adaptée pour éclairer l'élément que l'on cherche à exciter.

II.5.1.3.3. Avantages et limites de la méthode

Cette méthode est peu chère car elle ne demande pas une technique complexe. Cependant elle reste très quantitative et ne permet pas toujours de connaître les éléments contenus dans l'échantillon. De plus elle nécessite un étalonnage à chaque nouvelle manipulation et demande ainsi beaucoup de temps [6].

Dans **l'absorption atomique avec flamme** (air/acétylène ou protoxyde d'azote/acétylène), (échantillon d'eau qui contient les éléments métalliques recherchés, est dispersé en nuage de fines gouttelettes dans la flamme. Les métaux ainsi libérés forment un plasma d'atomes libres (figure (II-6)).

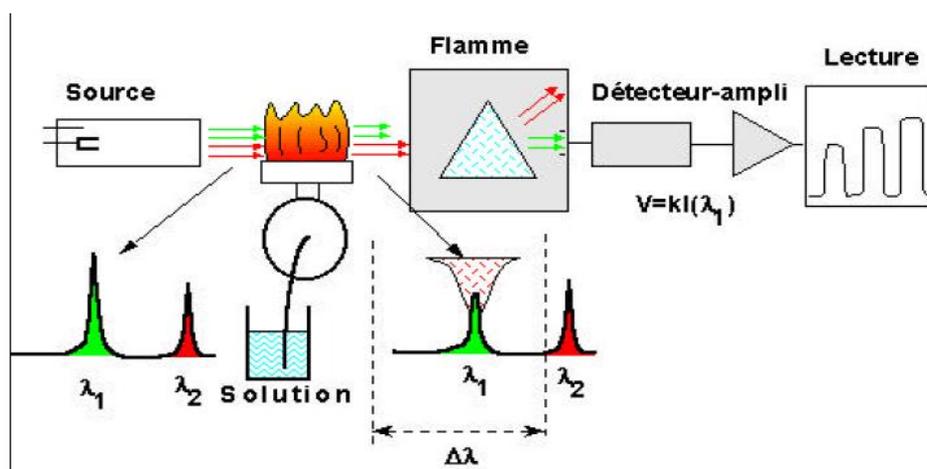


Figure (II-6) : Principe de la spectrométrie d'AA.

Dans le cas de **l'atomisation sans flamme**, obtenue par voie électrique, les volumes utilisés sont plus faibles. Le dispositif d'atomisation est constitué d'un tube de graphite que l'on chauffe à une température comprise entre 1500 et 2 800 °C. Il a pour objectif de produire une vapeur atomique à partir de l'échantillon d'eau [3].

II.5.1.4. La spectrophotométrie d'émission de flamme

La pulvérisation d'une solution d'eau contenant des métaux dans une flamme se caractérise par une décomposition et une dissociation à l'état atomique des traces métalliques. Les atomes des métaux sont ainsi excités thermiquement par la flamme, et leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation dont la longueur d'onde est spécifique de l'élément recherché et dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration. Cette technique est appropriée pour le dosage direct des éléments alcalins: Na, K, Li.

II.5.1.5. Spectrophotométrie de plasma à couplage inductif (ICP)

La spectroscopie de plasma à couplage inductif est une technique qui fait appel aux phénomènes d'émission atomique dont la source d'atomes est un plasma d'argon. A haute température, il se forme au sein de l'argon un mélange d'atomes et de particules chargés suivant un équilibre.

Le plasma est produit par voie inductive par une génératrice haute fréquence.

Sa température varie entre 6 000 et 8 000°C. Les éléments recherchés sont introduits dans le plasma et transformés en vapeur atomique et éventuellement ionique par excitation lors de leur collision avec les éléments constitutifs du plasma.

Cette technique a un champ d'application plus large que l'absorption atomique sans flamme mais son pouvoir de détection est plus faible. La haute température du plasma permet de limiter les interférences de matrices et de ce fait l'ICP peut être très largement employée pour la recherche des métaux lourds.

Tous les spectrophotomètres comportent un système de dispersion de la lumière pour le choix de la longueur d'onde appropriée ainsi qu'un photomultiplicateur pour la mesure de l'intensité reçue.

II.5.2. Fluorescence

La fluorescence est un phénomène de luminescence: des molécules émettent un rayonnement dans toutes les directions grâce à l'énergie reçue d'une lumière incidente. Elle est la propriété des composés cycliques aromatiques.

Sa mesure s'effectue à partir de spectrofluorimètres avec lumière incidente UV et lecture à 90° en lumières UV et visible.

II.5.3. Chromatographie

Pour l'identification et le dosage des MO, on a, en général, recours à des techniques chromatographiques.

En chromatographie en phase gazeuse (CG), la technique en colonne capillaire est utilisée en raison de son pouvoir de résolution inégalé, de la disponibilité de détecteurs universels et de son couplage aisé à la spectrométrie de masse (SM).

Un chromatographe en phase gazeuse ou liquide comporte trois parties: un injecteur, une colonne de séparation et un détecteur.

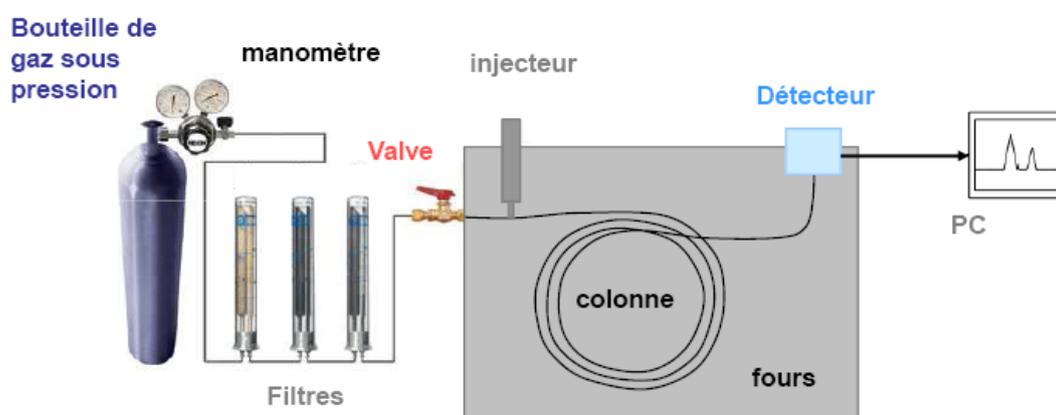


Figure (II-7) : Schéma d'un chromatographe en phase gazeuse.

Après avoir introduit l'échantillon au moyen d'une microseringue par l'injecteur, la séparation des molécules s'effectue dans la colonne en fonction d'un gradient de température.

A leur sortie de la colonne chromatographique, les composés séparés passent individuellement dans un détecteur dont la fonction est de donner un signal (sous forme de pic) dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de composé injecté, ce qui permet d'assurer, par le biais d'un étalonnage, une analyse quantitative.

Les détecteurs universels présentent une sensibilité moyenne pour la plupart des composés organiques, alors que les détecteurs "spécifiques" donnent une réponse beaucoup plus intense pour certaines familles chimiques.

Le détecteur universel par excellence est celui à ionisation de flamme (FID). Des détecteurs spécifiques sont le détecteur à capture d'électrons (ECD) sensible aux composés halogénés, le détecteur thermo-ionique pour des composés azotés et phosphorés, le détecteur à photoionisation (PID) pour des composés aromatiques.

La chromatographie en phase liquide haute pression (HPCL) utilise normalement pour phase mobile des solvants aqueux ou organiques.

Les techniques de mise en œuvre sont plus diversifiées qu'en phase gazeuse. La chromatographie en phase inverse qui utilise une phase liquide polaire pour éluer une colonne contenant une phase apolaire permet de déterminer les HPA. La chromatographie ionique (par échange d'ions) permet de séparer un grand nombre de cations et d'anions.

La chromatographie d'exclusion sépare sur gel poreux des composés en fonction de leur taille, et permet de déterminer leur poids molaire apparent; des fractions de poids molaires différents sont ainsi disponibles pour des analyses complémentaires.

II.5.4.Polarographie

La polarographie est basée sur le suivi de courbes intensités de courant-potentiel. Entre deux électrodes (l'une polarisable généralement à goutte de mercure et (autre de référence), l'intensité de courant est enregistrée en fonction d'une variation continue de potentiel. La différence d'intensité entre deux paliers est proportionnelle à l'élément oxydé ou réduit.

Une des principales applications est l'analyse des cations métalliques et de leurs "spéciations" (degrés d'oxydation, complexation). Des variantes de cette technique améliorent sa sensibilité.

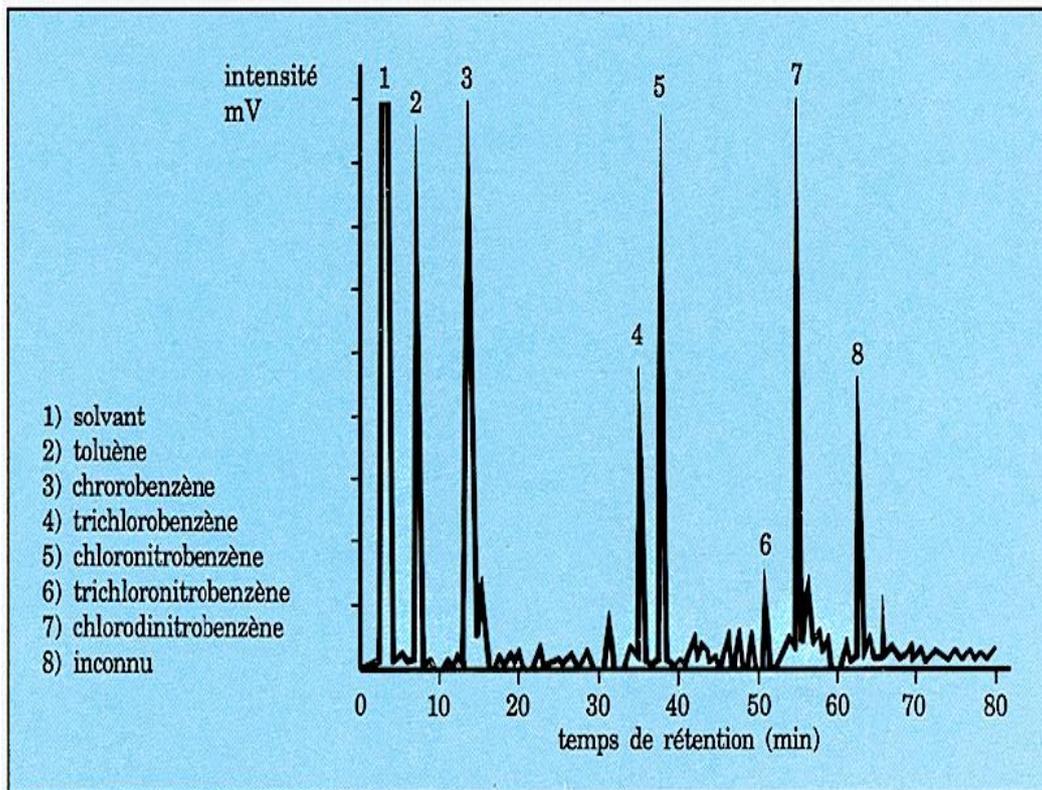


Figure (II-8) : chromatogramme d'une eau de surface polluée.

II.5.5. Spectrométrie de masse (SM)

L'utilisation d'un couplage CG-SM permet le dosage des différentes familles de composés chromatographiables en phase gazeuse en utilisant un seul solvant d'extraction (ex.: le dichlorométhane) et une seule séparation chromatographique.

Les composés sortant du chromatographe sont fragmentés par un bombardement d'électrons. L'ensemble des ions détectés (masse/charge) constitue le spectre caractéristique de la molécule. L'ordinateur vient au secours du technicien pour l'exploitation des spectres. Ce détecteur est le plus performant car il permet une identification des molécules même en cas de mauvaise séparation sur la colonne, d'où l'intérêt de la spectrométrie de masse par rapport aux détecteurs spécifiques (figure (II-9)).

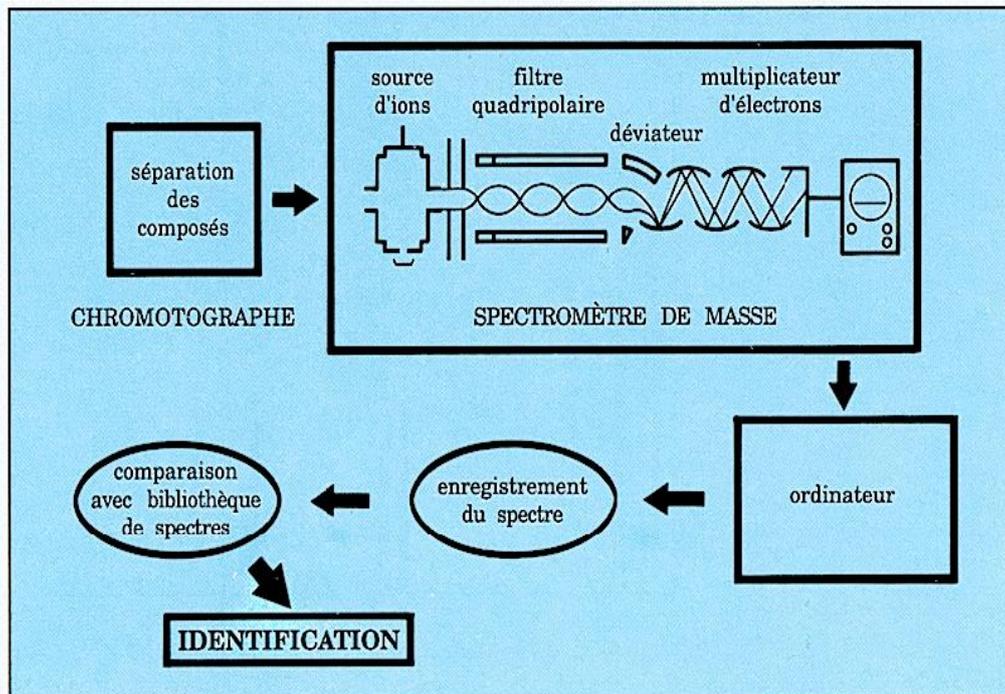


Figure (II-9) : principe de l'utilisation de spectrométrie de masse.

II.5.6. Mesure de la radioactivité

Pour le contrôle des eaux de distribution, les déterminations se font généralement sans séparation chimique préalable

- activité globale α ,
- activité globale β ,
- spectrométrie γ .

Dans les cas plus complexes, on procède à des radioanalyses détaillées après séparation chimique. Pour le contrôle des eaux, seules les activités β et γ sont généralement prises en compte pour suivre l'évolution de la radioactivité; toutefois, la radioactivité de l'eau est toujours faible et, de ce fait peu d'appareils font des comptages corrects. Les types de détecteurs les plus utilisés sont :

- compteur à gaz utilisant l'ionisation (compteur Geiger-Muller, compteur proportionnel),
- détecteur à scintillations ou semiconducteurs, sensible aux rayonnements [3].

II.6. Traitement des eaux

Dans tous les cas, l'eau mise à disposition du consommateur dans le réseau de distribution doit être traitée, même si l'homme n'en consomme directement qu'une très faible proportion. Il est en effet dangereux pour la santé et économiquement prohibitif d'envisager un double réseau de distribution, l'un des réseaux distribuant l'eau destinée à la consommation et l'autre réseau distribuant l'eau destinée aux autres usages.

Quel que soit l'usage qu'en fera le consommateur, l'eau arrivant au robinet de ce consommateur doit donc être potable, Il est nécessaire de traiter l'eau chaque fois que l'un des paramètres analytiques est supérieur aux normes en vigueur dans le pays considéré. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) établit pour chaque paramètre, des recommandations qui doivent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des considérations économiques de ce pays, pour aboutir aux normes réglementaires nationales.



Figure (II-10) : Le choix de l'eau à traiter.

Et le traitement des eaux usées, rejetées par le consommateur après utilisation, ont pour objectif de collecter puis d'épurer ces eaux avant de les rejeter dans le milieu naturel.

Le «nettoyage» des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement, mais représente également une ressource potentielle en eau «non conventionnelle» pour divers usages (agricole, industriel ou urbain) [7].

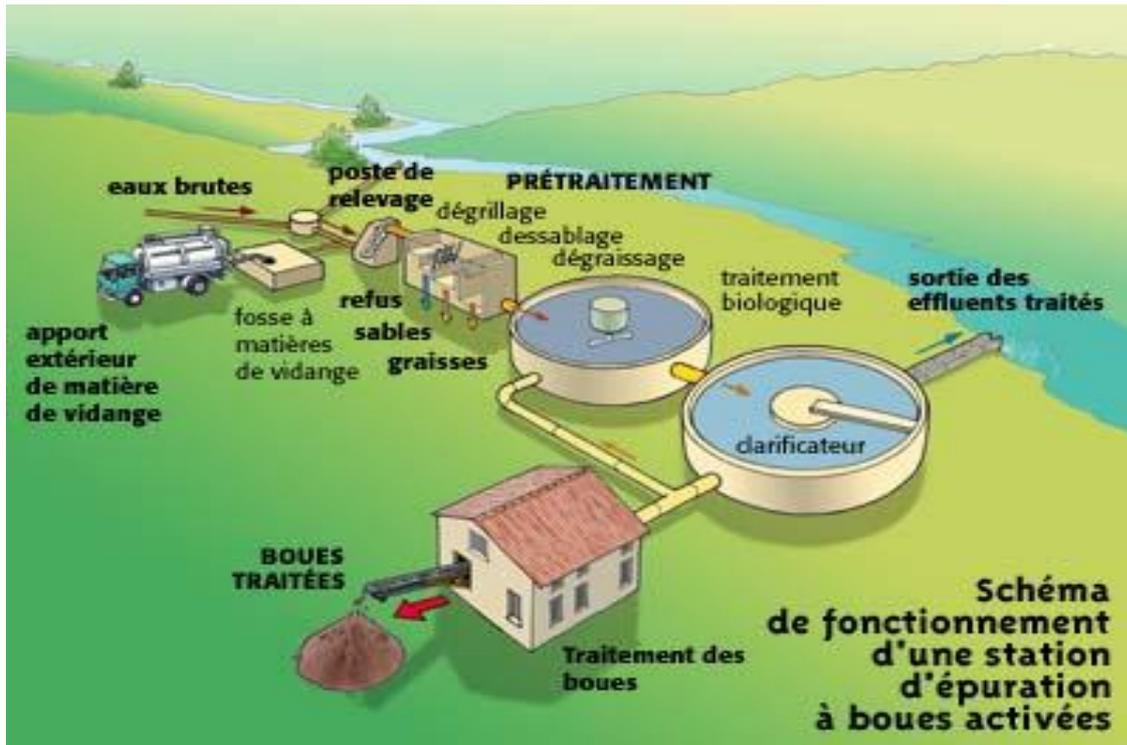


Figure (II-11) : Traitement des eaux.

Ces traitements peuvent être classés ainsi:

II.6.1. Les procédés physiques

L'eau passe à travers des grilles qui bloquent les gros déchets. C'est le "dégrillage". L'eau passe à travers des tamis qui la débarrassent des déchets plus petits. Ce filtrage plus fin a pour nom le "tamisage".

Les déchets plus lourds que l'eau se déposent: c'est la "décantation".

L'eau passe aussi à travers un lit de sable. Plus les grains de sable sont fins, plus ils sont capables d'arrêter des particules de taille réduite. C'est la "filtration". Cette filtration peut aussi se faire sur des matériaux comme des filtres à charbon actif, qui ont d'autres propriétés (ils servent par exemple à éliminer les pesticides que l'on trouve parfois dans les eaux de la nature).

Il existe aussi des membranes : ce sont de minces surfaces percées de trous extrêmement petits qui retiennent tout ce qui est plus gros qu'eux.

II.6.2. Les procédés physico-chimiques

On met l'eau en contact avec un produit spécial sur lequel s'agglutinent les fines particules dispersées dans l'eau (matières en suspension), en formant des "flocons". Ces flocons sont ensuite éliminés.

II.6.3. Les procédés chimiques

Des produits tels que le chlore et l'ozone sont ajoutés pour détruire les germes, virus et bactéries.

II.6.4. Les procédés biologiques

L'eau est mise en contact avec des bactéries spécialement recueillies et mises en culture. Ces minuscules organismes éliminent certains éléments indésirables. Certaines bactéries permettent, par exemple, d'éliminer les nitrates éventuellement présents dans les eaux de la nature.

Ces différents procédés se retrouvent au fil des étapes du traitement de l'eau. Suivant les cas, les professionnels de l'eau font intervenir un procédé plutôt qu'un autre, mais voici comment se déroulent en principe les étapes du traitement :

- ✚ La clarification permet d'obtenir une eau limpide. Pour cela, on utilise des filtres et des produits chimiques qui rassemblent et agglutinent les matières dispersées dans l'eau.

Entraînées par leur poids, ces particules s'entassent au fond du bassin. C'est une étape indispensable pour les eaux de surface et les eaux souterraines provenant de certains plateaux calcaires.

- ✚ L'affinage améliore le goût, l'odeur et la transparence de l'eau. Cette étape réunit des procédés physiques de filtrage et des procédés chimiques.
- ✚ L'étape de la désinfection sert à tuer tous les virus et bactéries pouvant apporter des maladies. On ajoute alors à l'eau du chlore, sous forme liquide ou gazeuse, ou de l'ozone qui est un gaz désinfectant. La désinfection peut aussi se faire par des rayonnements ultraviolets ou par la filtration de l'eau à travers des membranes.
- ✚ Le traitement final a pour but de préserver la qualité de l'eau tout au long de son voyage dans les canalisations jusqu'aux robinets. Pour cela, une très petite quantité de chlore est ajoutée à l'eau.

De plus, des traitements complexes peuvent être utilisés pour éliminer spécialement certaines substances comme les métaux lourds (le chrome, par exemple) qui proviennent de rejets industriels. L'ammoniaque, lui, est éliminée par des procédés biologiques utilisant certaines bactéries mises en culture.

II.7. Protection des ressources en eau

La mise en place des directives sur l'eau crée un contexte favorable à des démarches innovantes et à la diffusion des écotecnologies dans ce domaine. La notion réglementaire de « bonne qualité écologique des eaux » pousse des technologies qui aujourd'hui ne sont pas encore compétitives à le devenir.

Cela nécessite également des recherches sur les changements de pratiques dans la gestion et l'utilisation de l'eau. L'eau et les sols sont à divers titres également menacés. Il s'agit pour l'essentiel d'une dégradation de leur qualité, résultats de contaminations de plus ou moins forte intensité.

Pour des sites fortement contaminés, par accident (pollution marine notamment) ou par héritage historique (décharges sauvages, anciens sites industriels...) la question de leur traitement et réhabilitation se pose ainsi que celle de la prévention et la gestion des accidents [8].

II.8. Conclusion

Pour un tel domaine et devant un marché aussi diversifié, il serait hasardeux de prévoir une évolution à long terme ; cependant, les soucis en matière de contrôle de l'environnement, les besoins de diagnostic en temps quasi réel, liés au développement des microtechniques et aux progrès de la biologie moléculaire peuvent susciter l'émergence de nouveaux techniques de faible coût unitaire [7].

On peut dire des capteurs chimiques ou biochimiques que l'on recherche pour eux la compacité, les conceptions technologiques simples et un faible coût. Leur petite taille et leur faible consommation d'énergie permettent leur utilisation sur site, même quand celui-ci est difficile d'accès. Ils disposent de temps de réponse aussi brefs que possible, qui les rend aptes à une utilisation en temps réel (surveillance, régulation). En revanche, il est clair que pour l'analyse des mélanges l'utilisation d'un système multicapteur est nécessaire, chacun d'eux étant le plus sélectif possible à une espèce [1].

Références bibliographiques

- [1] **Nicole Jaffrezic-Renault**, développements analytiques: microcapteurs électrochimiques pour le suivi in-situ des contaminants, Laboratoire IFOS, Ecole Centrale de Lyon, 69134 ECULLY Cédex (France) Reçu le, 06 Janvier 2003, Accepté le 16 Mai 2003.
- [2] **R. BONNARD**, Rapport final (Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque), Unité Evaluation des Risques Sanitaires Direction des Risques Chroniques, INERIS DRC-01-25419-ERSA-RBn-383/microb6.doc, 2001, p38
- [3] **TEFIANI. VALETTE**, L'eau, élément fondamental, p333-336.
- [4] **Marie-Claire Hennion**, L'évolution des systèmes analytiques, impact sur les formations, Laboratoire Environnement et chimie Analytique, ESPCI, Paris, JOURNEES MIEC-JIREC 2005.
- [5] **Réfia**, analyse d'eau-Présentation général, 2000.
- [6] **Folco Laverdière, Anja Holstein, Laurent Thiebaut, Robert Mallee, Guillaume Gravejat, Benjamin Desclozeaux**, Dossier Couplage :Les principales méthodes d'analyse, 1999, p5.
- [7] **Nicole JAFFREZIC-RENAULT, Claude MARTELET, Paul CLECHET**, Club Microcapteurs Capteurs chimiques et biochimiques Chimiques (CMC2) Ingénierie et Fonctionnalisation des Surfaces (UMR 5621) de l'École Centrale de Lyon.
- [8] **A.Grasmick**, Laboratoire de Génie procédés et d'élaboration de Bioproduits (LGPEB/UMII).

