

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Mohamed Boudiaf M'SILA

Faculté des Sciences

Département de Chimie



Qualité de l'eau, de l'air et des surfaces

Cours

Dr. Kamel NOUFEL

Polycopié de cours

1^{ère} année master chimie Pharmaceutique

(2019 / 2020)

Intitulé du Master : Chimie Pharmaceutique

Semestre : 2

Intitulé de l'UE : UEM2(O/P)

Intitulé de la matière : Qualité de l'eau, de l'air et des surfaces

Crédits : 4

Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement

-connaître les principales caractéristiques physicochimiques permettant de qualifier une eau.

-identifier et interpréter les facteurs de dégradation physicochimiques et microbiologiques des eaux et évaluer la qualité des eaux en fonction de leurs usages.

-proposer un plan de qualification d'une salle de production et étudier les contraintes environnementales à maîtriser pour accéder à cette qualification.

-proposer des plans de nettoyage et de désinfection en fonction des surfaces et des contraintes de production.

Mode d'évaluation : 33% continu + 67% Examen.

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. L'eau est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100°C (212°F) et solide en dessous de 0°C (32°F). Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. C'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre, l'eau est quelque fois désigné sous le nom de « solvant universel ».

L'eau, élément indispensable à la vie, est une part essentielle du patrimoine mondial, mais aussi essentielle aux activités humaines (Agricultures, industrielles, domestiques...). Une eau est dite potable ou eau de consommation quand elle satisfait un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine.

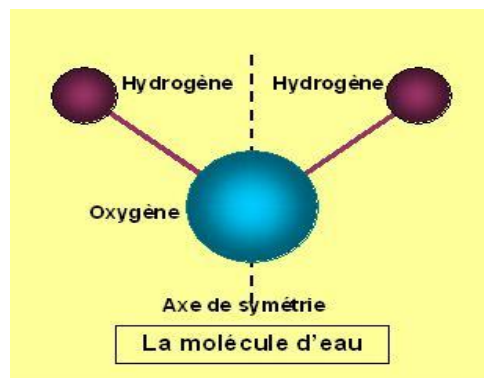


Figure I.1 : la molécule d'eau.

I.2. Origine et différents types d'eau

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau : les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers ; les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, lesquelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer : les eaux naturelles ; les eaux potables ; les eaux douces ; les eaux dures ; les eaux plates ; les eaux de marais ; les eaux saumâtres ; les eaux salées.

I.2.1. Eaux naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrage) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer.

a) Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante. Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquent la dureté est souvent élevé, et les eaux souterraines peuvent être en contacte avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée.

b) Eaux de surfaces

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des lacs et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent.

Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone.

I.2.2. Eaux potables

La notion de potabilité est liée directement à l'alimentation humaine. Une eau naturelle est dite potable si elle présente les qualités suivantes :fraîcheur et limpidité ; absence d'odeur et de couleur ; goût agréable ;suffisamment douce, aérée ; minéralisation raisonnable ;absence de matières organiques et de germes pathogènes.

I.2.3. Eaux douces

On parle d'eau douce par opposition aux eaux salées et aux eaux dures.

I.2.4. Les eaux plates

Ce sont des eaux caractérisées par un manque total de saveur, pourvu en oxygène, sans fraîcheur naturelle.

I.2.5. Eaux dures

Une eau dure incruste à froid ou à chaud les récipients qui la contiennent. La dureté est engendrée par la présence des ions calcium ; magnésium, et un à degré moindre le fer et l'aluminium.

I.2.6. Eaux de marais

Les eaux de « marais » ou « tourbier » sont des eaux douces caractérisées par une faible valeur de pH, due à la présence d'acides organiques et qui les rend très corrosives.

On les appelle parfois « eaux rouges » en raison de la présence des particules à base d'oxyde de fer en suspension.

I.2.7. Eaux de mers et eaux saumâtres

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. Elle est donc très variable comme l'illustre le tableau I.1.

Tableau I.1. Salinité des différents océans et mers .

Origine	Salinité (g.L⁻¹)
Mer Baltique	17
Mer Noir	22à25
Océans Atlantique et Pacifique	32à38
Mer Méditerranée	37à40
Mer Rouge-Golfe Arabique	40à47
Mer Morte	270

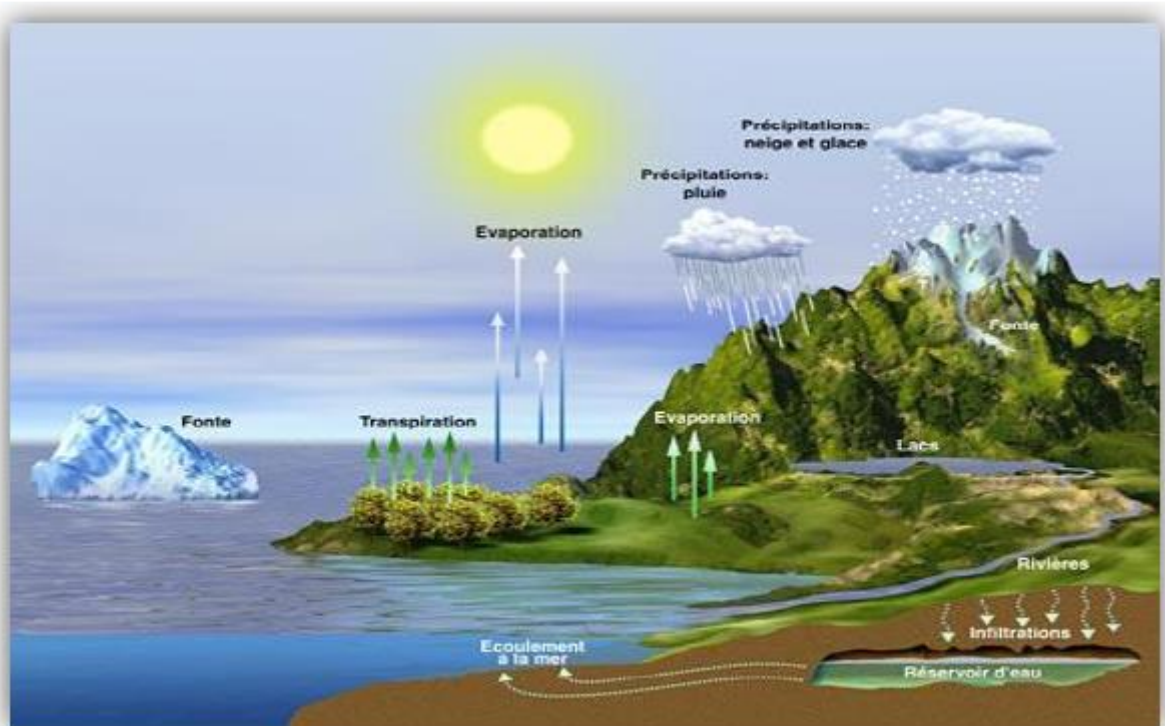
Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/l alors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

I.3. Cycle de l'eau

Entre les quatre grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère, et la biosphère, l'échange d'eau est permanent et forme ce que l'on appelle le cycle externe de l'eau. Le moteur de ce cycle en est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement.

Ce cycle se divise en deux parties intimement liées (Figure I.2)

- une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement ; une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain .



En résumé, on retiendra les phénomènes suivants :

- 1. Evaporation** : chauffée par le soleil, l'eau des océans, des rivières et des lacs s'évapore et monte dans l'atmosphère.
- 2. Condensation** : au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.
- 3. Précipitations** : les nuages déversent leur contenu sur la terre, sous forme de pluie, neige ou grêle.

4. Ruissellement : la plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste s'infiltré dans le sol (pour former des nappes souterraines qui donnent naissance à des sources) ou ruisselle pour aller grossir les rivières qui à leur tour, vont alimenter les océans. Et le cycle recommence.

I.4. Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :

Les qualités admises d'une eau d'alimentation impliquent la garantie de son innocuité vis-à-vis de l'homme qui est appelé à la consommer.

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson .

I.4.1. Propriétés organoleptiques

a) La Couleur

Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Dans un échantillon d'eau, l'intensité relative d'une couleur est analysée à l'aide d'une échelle arbitraire composée d'unités de couleur vraie (ucv) .

b) Goût et Odeur

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère .

c) Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchié par les particules dans l'eau .

I.4.2. Caractères physico-chimiques

a) Température

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité.

Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles.

b) pH

C'est une mesure de l'activité des ions H^+ contenus dans une eau. En chimie, par convention, on considère le pH de l'eau pure comme celui qui correspond à la neutralité d'une solution. Autrement dit, toute solution de pH inférieur à 7 (à 25°C) est considérés comme acide et inversement.

c) Salinité

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en mg/l.

d) Les résidus secs à 180°C

Les Résidus secs obtenus par évaporation, représentent les matières dissoutes et en suspensions d'une eau .

e) Dureté ou titre hydrométrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins (Na^+ , K^+), dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} (ions alcalino-terreux).

Un degré hydrotimétrique ($^{\circ}TH$) correspond à une concentration en ions Ca^{2+} ou Mg^{2+} .

Un degré hydrotimétrique correspond aussi à un degré français ($1^{\circ}F$).

f) Conductivité électrique :

La conductivité des eaux potables est souvent liée à la concentration en sels minéraux dissous. Son unité est exprimée en (s/cm) .

g) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC).

h) Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogencarbonates contenu dans l'eau.

Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate.

La TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates.

i) Chlorure

Les teneurs en chlorures (Cl^-) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorures. Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé.

j) Autres principaux éléments présents dans l'eau

En plus du chlorure présent dans l'eau, elle contient aussi d'autres éléments chimiques, cation et anion qui sont décrit sur le tableau suivant : **Tableau I.2.** Principaux éléments présents dans l'eau .

Cations	Anions
Calcium (Ca^{2+})	Sulfates (SO_4^-)
Magnesium (Mg^{2+})	Nitrates (NO_3^-)
Sodium (Na^+)	Nitrites (NO_2^-)
Potassium (K^+)	Chlorures (Cl^-)
Ammonium (NH_4^+)	Carbonate (CO_3^{2-})

I.4.3. Caractères microbiologiques

Parmi les caractères d'une eau potable, on y trouve les caractères biologiques ou bien bactériologiques. Les microorganismes recherchés dans l'eau de consommation sont les suivants :

a) Germes totaux

Ce sont des germes qui se développent dans les milieux aérobies (présence de l'air) sélectifs à des températures de 20°C en 72h ou 37°C en 24h.

b) Coliformes totaux

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries que l'on retrouve fréquemment dans l'environnement, par exemple dans le sol ou la végétation, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains. Les coliformes totaux n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique qu'une source d'approvisionnement en eau peut être contaminée par des microorganismes plus nuisibles.

c) Coliformes fécaux

Présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux mais ils se développent à 44°C dont l'origine fécale est plus nette.

I.4.4. Paramètres indésirables ou toxiques

a) **Fer et manganèse** Ces deux éléments existent dans la plupart des eaux et sont généralement liés ; ils entraînent des conséquences similaires : formation de dépôts, goûts désagréables et prolifération bactérienne.

Bien que nécessaire à la nutrition humaine, le fer et manganèse ne doivent pas dépasser certaines teneurs.

b) Métaux lourds

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets. La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces éléments est surtout d'origine cumulative.

Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...ect.

I.4.5. Paramètres biologiques

▪ Matières organiques

Les matières organiques sont dissoutes dans toutes les eaux et même si elles existent seulement sous forme de traces, leur teneur indique une charge de l'eau en matières polluantes.

Chapitre II : Traitement des eaux potables

II.1.Introduction

Seules certaines eaux, dites minérales ou de source peuvent être commercialisées et consommées sans traitement. Cependant, pour les eaux de source par fois des traitements comme l'aération, la décantation et la filtration peuvent leur être appliqué.

Toutes les autres eaux du milieu naturel dites 'brutes' ont besoin d'un traitement avant d'être consommées, afin de répondre aux normes en vigueur définissant une eau bonne pour la consommation humaine. Elles sont alors acheminées jusque dans une usine de production d'eau potable.

Le traitement d'une eau brute dépend de sa qualité, liée à son origine, l'eau principale traitée étant les eaux de surface et les eaux souterraines.

II.2.Objectif du traitement

Le traitement doit être ajusté à la composition chimique de l'eau captée. Il varie donc d'un site à l'autre. Si, pour certaines eaux, un traitement partiel ou simple tel que la filtration rapide et la désinfections des eaux suffit, d'autres nécessitent un traitement complet plus ou moins complexe, voire des traitements spécifiques afin d'éliminer les polluants particuliers. Pour définir les objectifs d'un traitement, deux paramètres s'imposent.

1. Connaissance de l'eau à traiter

- analyses complètes sur échantillons représentatifs ; -
- méthodes d'analyses ;
- méthodes de prélèvements ;
- variations annuelles des caractéristiques de l'eau à traiter avec la connaissance de maxima et minima.

2. Définition des objectifs exacts du traitement Ceux-ci

peuvent être répartis en trois groupes :

1-la santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques.

2-l'agrément du consommateur, qui est différent du premier point car une eau peut être agréable à boire tout en étant dangereuse (source polluée...) il s'agit des qualités organoleptiques.

3-la protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usagers (robinetterie, chauffe-eau...) contre l'entartrage et/ou corrosion. Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle. Cette dernière est fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie.

III.3. Normes de traitements

Des normes sont imposées pour une eau de bonne qualité. Selon l'OMS, les normes pour une eau potable sont d'assez large gamme, afin de s'adapter aux nombreux pays sous-développés, qui ont une eau de très mauvaise qualité et qui n'ont pas de moyens technologiques afin de suivre les traitements conformes et nécessaires pour rendre une eau potable.

Dans le tableau suivant, des normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS sont données :

Tableau II.1 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS (source ADE).

Paramètre	Unité	Normes Algérienne	Normes OMS
pH	/	6,5 – 8,5	6,5 - 9,2
Température	°C	25	-
Conductivité	s/cm	2800	-
Résidus sec à 180°C	mg/L	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/L	500	500
Calcium	mg/L	200	-
Magnésium	mg/L	150	150
Sodium	mg/L	200	-
Potassium	mg/L	20	-
Sulfate	mg/L	400	250
Chlorure	mg/L	500	250
Nitrate	mg/L	50	50

Nitrite	mg/L	0,1	0,1
Aluminium	mg/L	0,2	0,2
Phosphate	mg/L	0,5	0,5
Ammonium	mg/L	0,5	-
Matières organique	mg/L	3	-
Métaux lourds	mg/L	0,3	-
Fer	mg/L	0,3	0,3
Manganèse	mg/L	0,5	0,1

II.4.Filières de traitements des eaux de surface

Pour traiter une eau, il faut généralement combiner plusieurs traitements élémentaires dont les bases peuvent être physiques (techniques séparatives), chimiques (oxydation et désinfection) ou biologiques, qui ont pour effet d'éliminer ces matières en suspension, puis les substances colloïdales et enfin certaines substances dissoutes (minérales ou organiques).

II.4.1.Prétraitements (traitement physique)

Le premier traitement possible est un dégrossissage, ayant pour but d'éliminer les matières de grandes dimensions susceptibles de gêner la mise en œuvre des autres traitements. Il peut comporter :

✓ un dégrillage :

-permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les tuyauteries de liaison.

-de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute.

✓ un macrotamassage :

il est impératif si l'eau charrie des herbes, des feuilles, des débris plastiques.

✓ un dessablage :

il est indispensable quand les appareils de traitements qui suivent sont susceptibles d'être fortement affectés par des quantités notables de sable.

✓ un déshuilage de surface.

✓ un débouillage :

nécessaire quand la quantité de MES de l'eau brute à éliminer (limons, argile...) dépasse la capacité de concentration et d'extraction des décanteurs situés en aval .

II.4.2. Traitement primaire

II.4.2.1. Préoxydation

Si les eaux à traiter contiennent beaucoup de matières organiques, ou encore de l'ammoniaque, du fer ou du manganèse, une étape d'oxydation préalable est nécessaire. Elle permet d'éliminer plus facilement ces substances au cours de l'étape suivante dite de clarification, et cela par ajout de produits actifs .

a) Aération

Le but de cette opération est de compenser le déficit de l'eau brute en oxygène ou à débarrasser l'eau de gaz indésirable ou en excès (H₂S, CO₂). Cette opération est effectuée à l'atmosphère ce qui induit l'augmentation de la teneur en oxygène de l'eau qui va de pair avec l'élimination du gaz carbonique. Cependant il faut en tenir compte dans le cas d'une eau moyennement ou fortement minéralisées, car l'évasion de CO₂ peut rendre l'eau entartrante. On peut donc choisir une aération sous pression au cours de laquelle la concentration en CO₂ n'évolue pas, tandis que celle en O₂ augmente.

b) Oxydation chimique

b.1. Pré chloration

Le chlore est introduit dans l'eau sous forme de chlore gazeux (Cl₂) ou d'hypochlorite de sodium (NaClO). Il se dissout pour former l'acide hypochloreux (HOCl) qui lui-même se dissocie. Lorsque le chlore est introduit dans une eau contenant de l'azote ammoniacal ou des amines il forme dans un premier temps des composés de substitution, le chloramine, une dose précise de chlore détruit ces chloramines en les oxydant en azote gazeux.

Réaction du chlore avec l'eau:

Dissolution – hydrolyse

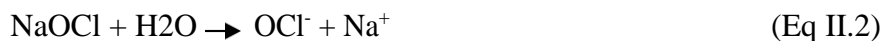


Tableau II.2: Doses de chlore nécessaire à l'oxydation de 1mg/l de.

	NH ₄	Fe	Mn	H ₂ S	NO ₂ ⁻
Cl ₂ (mg/l)	7à10	0,63	1,3	3,4	1,5

b.2. Préoxydation par les chloramines

L'odeur et la saveur de l'eau ont été améliorées grâce à l'utilisation de chloramines depuis le début du 21^{ème} siècle. Dans certains cas les chloramines sont aussi utilisées pour la désinfection de l'eau. Les chloramines sont fréquemment produites par addition de l'ammoniac dans l'eau contenant du chlore libre (HOCl ou OCl, cela dépendant du pH). La valeur idéale du pH pour cette réaction est de 8,4. Cela signifie que l'eau a légèrement un caractère alcalin.

Mécanisme de réaction:

$$\text{NH}_3 (\text{aq}) + \text{HOCl} \longrightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} \text{ (Eq II.4)}$$
 Les chloramines sont aussi efficaces que le chlore pour la partie qui concerne la désactivation de bactéries ou autres micro-organismes, cependant le mécanisme de réaction est plus lent. Les chloramines comme le chlore sont des agents oxydants. Les chloramines peuvent tuer les bactéries par pénétration de la cellule et blocage du métabolisme .

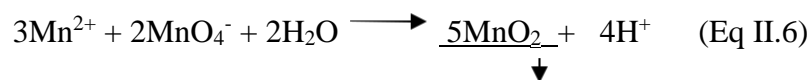
b.3. Préoxydation par le dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore (ou bioxyde de chlore) est un gaz jaune rougeâtre, de formule ClO₂.

Le dioxyde de chlore élimine les micro-organismes en agissant sur le transport de nutriments à travers la paroi cellulaire, et non en agissant sur les procédés métaboliques directement .

b.4. Préoxydation par le permanganate de potassium

Cet oxydant est utilisé tout particulièrement lorsque l'eau brute contient du manganèse qu'il précipite :



Cette réaction est favorisée par un pH élevé, qui augmente la cinétique de la réaction.

Le permanganate de potassium est utilisé pour l'élimination de certains mauvais goûts ou pour lutter contre le développement d'algues dans les ouvrages de clarification .

b.5. Préoxydation par l'ozone

L'ozone est de formule chimique O₃. Grâce à ses excellentes qualités de désinfection et d'oxydation, l'ozone est énormément utilisé pour le traitement de l'eau potable. L'ozone peut être utilisé pour différents objectifs dans les systèmes de traitement, tels que pour une préoxydation, une oxydation intermédiaire ou une désinfection finale. Généralement, il est recommandé d'utiliser l'ozone pour la préoxydation, avant un filtre à sable ou un filtre à charbon actif (GAC). Après l'ozonisation, ces filtres peuvent éliminer la matière organique restante (important pour une désinfection finale) .

II.4.3. Clarification

La clarification regroupe les procédés de coagulation-floculation, décantation ou flottation et de la filtration. Le but est d'éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, fraction floculable. Suivant les concentrations des différents éléments indésirables, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre dont :

II.4.3.1. Coagulation-Floculation

Pour une eau brute présentant une légère turbidité, et/ou légèrement colorée, on ajoute un coagulant et éventuellement un floculant. Les doses utilisées doivent être faible, car ces réactifs diminuent la durée des cycles de filtration entre deux lavages.

Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferrique ou des polymères. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau.

Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble ou se coagulent (ce processus peut également s'appeler floculation). Les particules plus grosses ou plus lourdes se retrouvent rapidement au fond de l'approvisionnement en eau. Ce processus s'appelle la sédimentation. Le diagramme suivant (Figure II.1) illustre les réactions et les processus de bases qui se produisent durant la coagulation.

La coagulation peut enlever un grand nombre de particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les précipités inorganiques, tel que le fer. Par contre, elle n'enlève pas tous les virus et bactéries dans l'eau et elle ne peut pas produire de l'eau potable sûre. C'est, cependant, une étape primaire importante dans le processus de traitement de l'eau parce qu'elle enlève des particules, telle que le carbone organique dissout. Ainsi, moins de chlore est nécessaire pour désinfecter l'eau .

Après avoir subi le traitement de coagulation, l'eau va être transférée dans un autre bassin. C'est dans ce bassin où va commencer véritablement l'accrétion. En effet, rien ne s'oppose plus alors au rassemblement des colloïdes neutralisés. Il faut donc maintenir une agitation lente pour favoriser les accrétions. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère c'est-à-dire d'une grande molécule constituée par la répétition d'un motif de base qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et formant ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc. Elle est aussi accélérée par une régulation d'un pH optimum pour obtenir la meilleure précipitation possible de l'ensemble des hydroxydes métalliques qui viennent d'apparaître grâce à la réaction de coagulation.

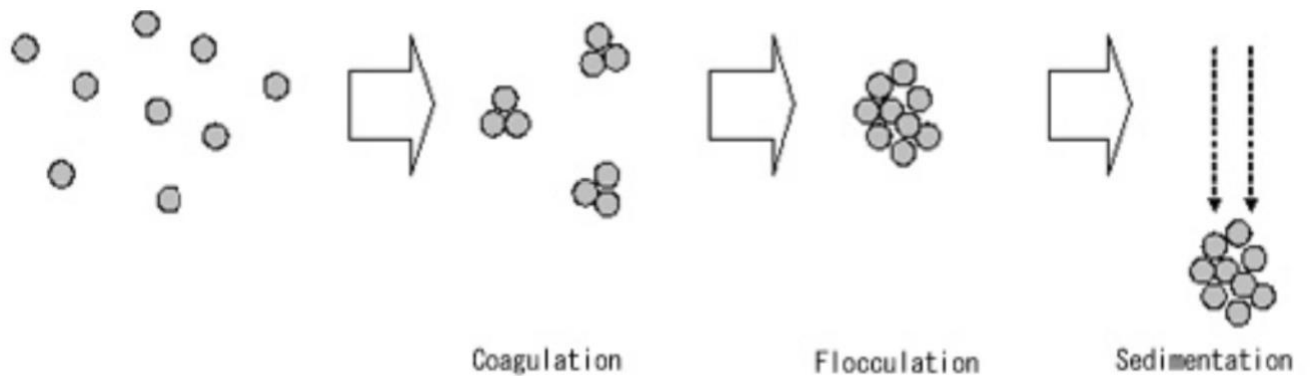


Figure II.1 : Processus de coagulation- flocculation et de sédimentation.

II.4.3.2. Décantation

Après avoir rassemblé les différentes petites particules en beaucoup plus grosses, il va maintenant falloir faire décanter tout ceci. Dans un corps d'eau immobile les particules en suspension plus lourdes que l'eau sont soumises à leur poids apparent.

II.4.3.3. Flottation

Elle permet de séparer les matières rassemblées en floc comme pour la décantation, mais s'applique aux matières qui ne décantent pas ou très lentement telles que les graisses, hydrocarbure.

II.4.3.5. Filtration

Le système de filtration est composé de filtres avec des tailles différentes et se compose la plupart du temps de gravier, sable et de charbon de bois. Il y a deux types de filtration de base par le sable : la filtration lente par le sable et la filtration rapide par le sable. La filtration lente par le sable est un processus biologique parce qu'elle emploie des bactéries pour traiter l'eau. Les bactéries forment une couche sur la partie supérieure du sable et nettoie l'eau pendant qu'elle traverse, en digérant les contaminants dans l'eau. La couche de bactéries s'appelle le biofilm.

La filtration rapide par le sable est un processus physique qui enlève les solides en suspension dans l'eau. Cette filtration rapide est beaucoup plus répandue parce que les filtres de sable rapide ont des

débites assez élevés et exigent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 mètres par heure. Les filtres sont généralement nettoyés 2 fois par jour.

Les particules qui sont enlevées dans l'eau durant la filtration dépendent de la taille des filtres qui sont utilisés. La filtration lente enlève les bactéries, les virus et les protozoaires et produit essentiellement de l'eau propre. Il est recommandé d'employer un désinfectant comme mesure conservatoire.

La filtration rapide enlève les particules suspendues, comme les bactéries, les virus et les protozoaires. Dans les installations de traitement, la filtration enlève un grand nombre de contaminants, mais exige toujours la désinfection pour produire de l'eau potable sûre. Même si la filtration rapide ne puisse pas enlever toutes les bactéries et les virus, c'est une étape importante dans le processus de traitement. La coagulation et la filtration peuvent enlever les matières en suspensions et dissoutes, de sorte que la désinfection soit plus réussie avec une quantité réduite de chlore.

Le principe du filtre sous gravier est d'imiter le cycle d'épuration de la nature en utilisant le fond sableux de l'aquarium.

L'eau chargée d'impuretés organiques (essentiellement des déchets solides, des substances ammoniacuées et des nitrites) est entraînée par un courant lent descendant à travers l'épaisseur de gravier. L'eau abandonne au passage ses impuretés solides dans le gravier. Le charbon est une substance qui depuis longtemps est utilisé pour adsorber les impuretés.

Le charbon actif est un carbone qui a une légère charge électrique positive le rendant attirant aux produits chimiques et aux impuretés. Pendant que l'eau traverse le charbon actif, les ions négatifs des contaminants sont attirés sur la surface des granules de carbone.

Les filtres de charbon actif enlèvent/réduisent beaucoup de produits chimiques organiques volatils, pesticides et herbicides, comme le chlore, le benzène, le radon, les dissolvants et d'autres produits chimiques synthétiques trouvés dans l'eau de robinet .

II.4.4. Désinfection

C'est la dernière étape, elle élimine tous les micro-organismes qui pourraient être dangereux pour notre santé à l'aide du chlore ou l'eau de javel, qui sont : La désinfection est l'élimination :

- des bactéries ;
- des virus pathogènes ;
- des bioindicateurs (coliformes fécaux et totaux ...) ;
- de certains parasites.

II.4.5. Stérilisation

Stérilisation est la destruction de tous les organismes vivants.

L'eau est stockée dans de grands réservoirs de stockage pour être ensuite distribuée.

II.5. Comment l'eau potable est-elle acheminée jusqu'aux robinets

L'eau potable, sous pression et dans des tuyaux enterrés, est d'abord acheminée de la station de production jusqu'à un château d'eau ou un autre type de réservoir. Puis elle transite, de ces lieux de stockage jusqu'au pied des bâtiments par le réseau public de distribution d'eau potable.

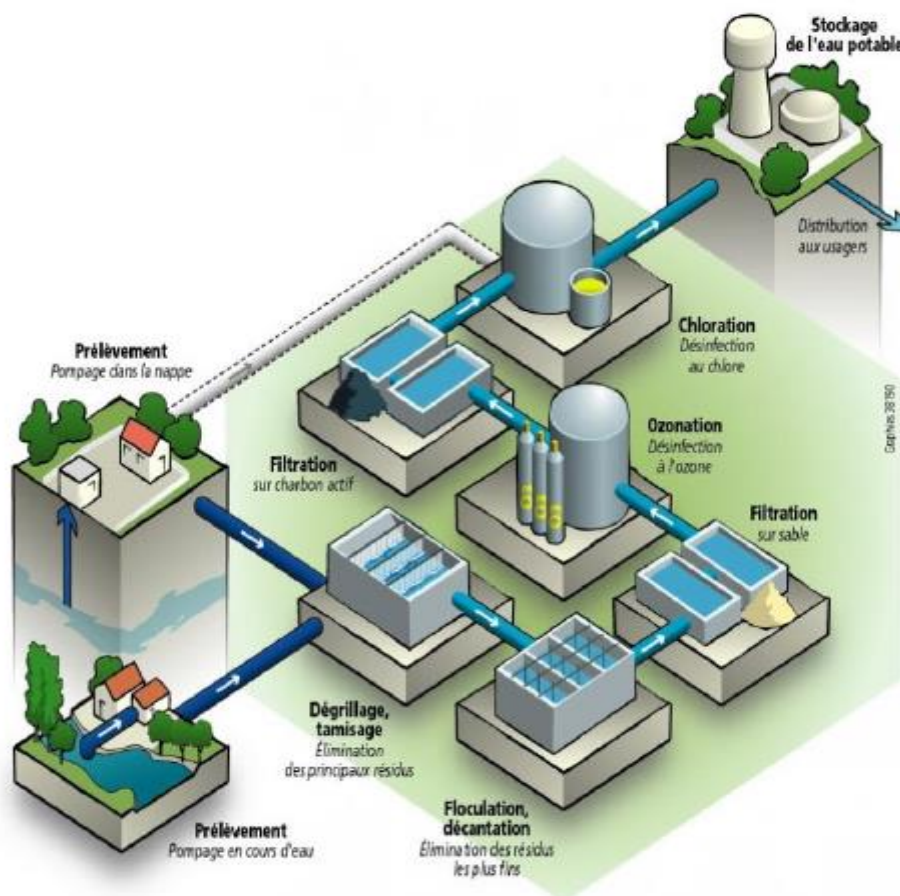


Figure II.2 : schéma de traitement des eaux potables .

Chapitre III : Généralité sur les eaux usées

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).]

I.2. Origine des eaux usées :

I.2.1. Les eaux résiduaires urbaines :

Les eaux usées urbaine comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, Feuilles, graines, etc.). Et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, Débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules.

I.2.2. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures... .Certaines d'entre elles font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

I.2.3. Les effluents mixtes :

Ces eaux sont le résultat d'un mélange d'eaux usées urbaines et industrielles, leur composition est très variable selon les propriétés du mélange et la nature de l'industrie. La DBO5 est plus élevée que celle d'une eau usée urbaine, elle est fortement chargée en matières organiques biodégradables.

I.2.4. Les eaux usées agricoles :

Ces eaux comprennent :

- ✓ eau de drainage
- ✓ eau des rejets des fermes (lavage des locaux et des étables).

Ces eaux sont caractérisées par la présence de fortes concentrations d'engrais, elles ont une valeur fertilisante très importante.

I.3. Caractéristiques des eaux usées :

Les normes de rejet des eaux usées fixent des indicateurs de qualité physicochimique et biologique. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l est quantifié et apprécié par une série d'analyses. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les effluents domestiques, industriels et agricoles, on peut retenir les analyses suivantes :

I.3.1. Paramètres Physiques :

I.3.1.1. La température : Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc.

I.3.1.2. La turbidité : La turbidité est liée à la présence plus ou moins importante de matières en suspension d'origine minérale ou organique.

I.3.1.3. La conductivité : La mesure de la conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau, plus la concentration ionique des sels dissous est grande, plus la conductivité est grande.

I.3.1.4. Le pH : Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. Les eaux usées domestiques sont généralement neutres ou basiques, de (6 à 9), donc elle n'influe pas sur le pH de milieu récepteur mais les effluents industriels constituent un facteur très important dans la modification de la valeur de pH.

I.3.1.5. Couleur et odeur : Historiquement, la couleur et l'odeur ont été utilisés comme le premier indicateur de pollution d'une eau. La couleur d'une eau usée urbaine est grisâtre. Une couleur foncée ou noire est le signe d'une décomposition partielle de la matière organique mais certains rejets industriels (teinture, papier ou cartonnerie etc...) contiennent des colorants particulièrement stables. Il existe plusieurs gaz qui donnent des odeurs, résultat d'une fermentation ou décomposition, parmi lesquelles on cite NH_3 , H_2S .

I.3.1.6. Les matières en suspension (MES) : Sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur.

I.3.1.7. Les matières volatiles en suspension (MVS) : Elles sont mesurées par calcination à 550°C en 2 heures : elle constitue environ 70 à 80% des MES. C'est la différence entre les MES et les matières minérales.

I.3.1.8. Les matières minérales (MMS) : C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination à 550°C , et correspondent à la présence de sel.

I.3.1.9. Les matières décantables : C'est la fraction qui décante dans un liquide au repos pendant un temps conventionnellement fixé à 2H. La mesure directe des matières décantables se fait par peser après séchage à 105°C .

I.3.2. Les paramètres chimiques :

I.3.2.1. Demande biologique en oxygène (DBO5) : Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées.

I.3.2.2. Demande chimique en oxygène (DCO) : La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières organiques biodégradables ou non biodégradables ainsi que toutes les matières oxydables existantes dans l'eau dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure de la DCO correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures). DCO permet donc d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières

organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des micro-organismes.

I.3.2.3. Carbone organique totale (COT) : Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO). Certaines matières organiques échappent à ces mesures ; dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté. Il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc.).

Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (DCO) ou le carbone organique total (COT). Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO.

I.3.2.4. Azote : Dans les effluents, l'azote est présent sous forme organique principalement, ammoniacale ou plus rarement sous forme oxydée en nitrite ou nitrate. L'azote totale kjedhal (NTK), ou azote réduit (NR), regroupe les deux premières formes, et l'azote global (NGL) regroupe l'ensemble des formes de l'azote. Ces grandeurs sont exprimées en mg d'azote élémentaire par l'effluent.

I.3.2.5. Phosphore : Le phosphore est présent sous forme de phosphate inorganique ou organique. Il est exprimé en mg de phosphore élémentaire par litre d'effluent.

I.3.2.6. Nitrate : Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1mg/l/an, voire 2mg/l/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines :
- Agricole : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel ;

- Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote N'est pas totale et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel. Cette source représente les 2/9 des apports ;

- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports.

I.3.2.7. L'azote ammoniacal : Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3) de cette forme d'azote. L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^+). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

I.3.3. Paramètre biologique :

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes (champignons, helminthes, protozoaires, bactéries et virus) dont certains sont pathogènes. La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif d'épurer pour préserver le milieu naturel. Vu leur rôle dans le processus, il nous a paru utile l'étude de quelques bactéries les plus rencontrées :

Les coliformes : Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae.

- Les coliformes totaux (CT)

- Les coliformes fécaux (CF)

- Streptocoques fécaux (SF)

I.4. Traitement des eaux usées :

I.4.1. Les prétraitements:

I.4.1.1. Le dégrillage : Il s'agit d'éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques,...) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station. Pour ce faire on intercale une grille dont les barreaux ont un écartement de l'ordre du centimètre. Les refus des grilles sont généralement mélangés avec les boues alors que, du fait de leurs natures et de leurs dimensions, ils sont assimilables à des ordures ménagères. Ce mélange

n'a pas d'importance lorsqu'on prévoit une incinération des boues mais doit être évité pour les autres traitements et l'épandage.

I.4.1.2. Le dessablage : Après dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments solides qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille relativement importante, supérieure à 0.2mm de diamètre, pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement des pompes. On élimine ces matériaux facilement décantables dans des petits bassins rectangulaires ou circulaires. Les sables ainsi séparés pourront être mélangés aux autres boues sans problèmes majeurs si ce n'est qu'ils sont fermentescibles, il existe d'ailleurs des dessableurs aérés pour palier cet inconvénient.

I.4.1.3. Déshuilage : Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisse, fragments de matières plastique...). Le déshuilage a pour but de séparer de l'eau, par flottation, les matières ou les liquides dont la densité est inférieure à l'unité. Les huiles et les hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération dans la cas des boues activées, quant aux matières flottantes solides elles risquent de former des bouchons qui pourraient obstruer des canaux ou des orifices dans la station, il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau de prétraitement par un dispositif d'écumage. Comme pour les refus des grilles les résidus de déshuilage ne doivent être mélangés aux boues qui s'il est prévu une incinération.

I.4.2. Traitements physico-chimiques :

I.4.2.1. La décantation :

Pour faciliter la précipitation des matières en suspension de diamètre inférieur à 0.2mm, on fait circuler l'eau lentement dans un bassin dont on racle ou aspire périodiquement les matériaux rassemblés au fond. Dans la plupart des stations d'épuration on effectue deux décantations : L'une sur les eaux issues du prétraitement l'autre après le traitement biologique (ou chimique). Dans ce paragraphe il ne sera question que des boues de décantation primaire car les autres dépendent du traitement subi par l'eau. Les boues formées contiennent une forte proportion de matières organiques (de 20 à 30% des matières sèches, des matières grasses 6 à 30%). Ces boues présentent un aspect non homogène, elles sont généralement brunes et d'odeur désagréable.

I.4.2.2. Coagulation-floculation :

I.4.2.2.1. Coagulation : S'obtient par addition dans l'eau d'un réactif chimique le sel d'aluminium ou de fer qui neutralise les charges électriques superficielles répulsives, et permet ainsi leur agglomération. Celle-ci est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue

chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc.

I.4.2.2. Floculation : La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées, ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation. Une coagulation-floculation, suivie d'une décantation appliquée sur une eau domestique, permet d'éliminer jusqu'à plus de 90% des matières en suspension et de 40 à 65% de la DBO5.

I.4.2.3. Filtration sur sable :

Comme pour la décantation on peut effectuer la filtration sur les eaux brutes prétraitées puis sur les eaux traitées par voie biologique ou chimique. Néanmoins la forte teneur en matières colloïdales et en mucilage des eaux brute rend difficiles leur filtration sauf pour des filtres dont les mailles sont assez larges, de l'ordre du dixième de millimètre ce qui est peu intéressant. Par contre ce procédé est largement utilisé pour le traitement des boues.

I.4.3. Traitement biologique :

Ces traitements consistent en une consommation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des micro-organismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène. La croissance de la faune et la flore donne lieu à des flocs plus ou moins abondants qu'on élimine par décantation ou filtration

I.4.3.1. Traitement aérobie : Les filières biologiques aérobies font appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader la pollution. Elles s'inspirent des propriétés d'épuration des sols (filtres plantés de roseaux, filtres à sable) ou des rivières (lagunage, boues activées). L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent ou système de cascade) dans les petites installations de lagunage, ou artificiel (turbine ou diffusion de microbulles) dans les stations d'épuration de type "boues activées". Les bactéries peuvent être en suspension (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien, filtres plantés, filtres à sable, bio-filtre) ou encore biodisques.

I.4.3.2. Traitement anaérobie : Cette zone permet une auto-oxydation. Cela oblige les micro-organismes à puiser l'énergie dans leurs réserves pour leur activité et reproduction : c'est ce qu'on appelle: la respiration Endogène. On obtient ainsi la transformation des produits azotés (en azote ammoniacal) et carbonés.

I.4.3.3. Les boues activées : Le procédé à boues activées est un système fonctionnant en continu dans lequel, des microorganismes sont mis en contact avec les eaux usées contenant des matières

organiques. De l'oxygène est injecté dans le mélange, permettant de fournir aux bactéries cet élément vital à leurs besoins respiratoires.

En fait, on peut considérer que le système à boues activées est une extension artificielle des phénomènes d'épuration naturels dans un cours d'eau ou une rivière, les phénomènes entrant en jeu sont identiques à ceux présents dans les systèmes à boues activées, seule varie la concentration en micro-organismes dans le milieu et, à fortiori, la vitesse de réaction de dégradation.

I.4.3.4. Les lits bactériens : Ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées à travers une masse de pierres ou de matières plastiques présentant une grande surface et sur laquelle se développe un film bactérien qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau en présence de l'oxygène de l'air le film croît au fur et à mesure de la consommation de la matière organique et s'exfolie sous l'influence des gouttes d'eau qui tombent sur le garnissage. L'eau épurée décantée et une partie des boues sont recyclées comme pour les boues activées.

I.4.3.5. Les disques biologiques : Le dispositif est constitué d'une série de disques en matière plastique à surface ondulée de 3m de diamètre environ et montés sur un axe horizontal. Ces disques sont émergés) 40% approximativement dans un bassin recevant l'eau à traiter. Les disques sont suffisamment espacés manière à ce que l'eau puisse circuler librement. Lorsqu'ils subissent une rotation autour de leur axe, les parties submergées en contact avec l'eau usées et l'air. Ceci est analogue à ce qui se passe dans un lit bactérien traditionnel alimenté par sprinkler (distributeur rotatif). L'excès de biomasse se détache des disques et est évacué avec l'effluent puis décanté.

I.4.3.6. Le lagunage : En lagunage naturel à microphytes, les eaux à traiter séjournent de 5 à 50jours – en moyenne 30jours – dans un bassin non artificiellement brassé ou aéré, de 80 à 150cm de profondeur. L'épuration qui s'y produit résulte de l'activité d'une biomasse planctonique (ni flottante, ni fixée, ni floculée), formées essentiellement d'algues unicellulaires et d'animaux de petite taille (protozoaire, rotifères, crustacés). Mes bactéries normalement peut abondantes dans la masse d'eau, sont abondantes dans les sédiments ou elles ont un rôle important. Dans les conditions courantes, la concentration organique est élevée (milieu hypereutrophes), et la biomasse planctonique peut présenter une activité auto ou hétérotrophe, aérobie ou anaérobie, influencée par les paramètres climatiques.

Chapitre V. Pollution de l'air.

Introduction

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes ...

Signée en 1979, la convention de Genève sur la pollution atmosphérique à longue distance a été l'élément déclencheur des réflexions et tentatives pour organiser et structurer les données relatives aux rejets de polluants sous la forme d'inventaires d'émissions de polluant. Cette dynamique a ensuite été relayée par un programme de la Commission Européenne, qui a permis de générer le premier inventaire d'émission. Mais qu'est-ce qu'un inventaire d'émission exactement ?

I.1. Définition

Un inventaire d'émission est une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donnée pour une zone géographique et une période de temps donnée. On parle également de cadastres d'émission. Dans ce cas, il s'agit d'inventaires d'émission qui ont été spatialisés sur une grille d'espace et souvent découpés en plusieurs tranches de temps.

I.2. Introduction sur les inventaires d'émissions

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire

pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes ...

Signée en 1979, la convention de Genève sur la pollution atmosphérique à longue distance a été l'élément déclencheur des réflexions et tentatives pour organiser et structurer les données relatives aux rejets de polluants sous la forme d'inventaires d'émissions de polluant. Cette dynamique a ensuite été relayée par un programme de la Commission Européenne Corinair, qui a permis de générer le premier inventaire d'émission corinair. Mais qu'est-ce qu'un inventaire d'émission exactement ?

I.2.1. Définition

Un inventaire d'émission est une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donnée pour une zone géographique et une période de temps donnée. On parle également de cadastres d'émission. Dans ce cas, il s'agit d'inventaires d'émission qui ont été spatialisés sur une grille d'espace et souvent découpés en plusieurs tranches de temps. Le contenu de l'inventaire dépend de son objectif final. Cependant, on retrouve toujours les 4 composantes qui structurent quasiment tous les inventaires d'émissions.

- Substances
- Echelle d'espace
- Echelle de temps
- Emetteurs

I.2.2. Principe de l'élaboration de l'inventaire

Le Principe méthodologique général repose sur l'équation de base:

$$E = A * Fem$$

E est l'émission (ou flux d'émission)

A est l'activité des émetteurs

Fem est un facteur unitaire d'émission

Pour élaborer un inventaire d'émission, il faut donc :

1. Identifier les sources (émetteurs), en correspondance avec les substances, dans la zone d'espace et de temps considérée.
2. Pour chaque source, déterminer son activité
3. Pour chaque source, déterminer son facteur unitaire d'émission
4. Pour chaque source, déterminer son émission en faisant le produit indiqué.
5. Sommer sur l'ensemble des sources recensées.

I.3.Substances

I.3.1.Introduction

Les différentes substances ont des durée de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmes variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. Voici l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants : Les polluants primaires sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission.

Tab 01. Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère

Substance	Polluant
CH ₄	Année
CO	mois
SO ₂	Jours à mois
O ₃	quelques jours
COV	Heurs à jours
Aérosols 1-10 µm	Minutes à jours
Aérosols ≤ 1 µm	Jours à semaines

Une liste des substances les plus couramment évoquées dans les problèmes de pollution atmosphérique est proposée dans ce qui suit. Cette liste n'est pas exhaustive et évolue régulièrement en fonction des connaissances scientifiques liées à la pollution atmosphérique et à ses effets. La liste des polluants est donnée par famille : la notion de famille recouvre soit des caractéristiques physico-chimiques précises (COV, PM..), soit elle correspond à une réglementation particulière, ou encore elles sont parfois regroupées en fonction de leur effet.

I.4. Différents types de polluants

I.4.1. Polluants réglementés

7 polluants sont actuellement réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air.

- le dioxyde de soufre : SO₂
- le monoxyde de carbone : CO
- le dioxyde d'azote : NO₂
- l'ozone : O₃
- les particules (PM₁₀)
- le benzène : C₆H₆
- le plomb : Pb
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques : 6 (HAP)
- le cadmium : Cd
- l'arsenic : As
- le nickel : Ni
- le mercure : Hg

I.4.2. Composés organiques

I.4.2.1. Composés organiques volatiles - COV

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM.

I.4.2.2. Produits Organiques Persistants (POP)

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancérigènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante : Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB). Ils sont semi-volatiles et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de la température de celui-ci : dans les endroits froids, leur volatilité est réduite et ils se concentrent donc dans les régions tempérées et polaires. Ils sont lipophiles (faible solubilité dans l'eau mais forte dans les graisses), avec attirance forte pour les tissus adipeux où ils se concentrent généralement (forte bioaccumulation). Ils ont également une durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

I.4.2.3. Sources de COV

Les sources de COV sont très nombreuses, les émissions sont dues à certains procédés industriels impliquant la mise en œuvre de solvants (chimie de base et chimie fine, parachimie, dégraissage des métaux, application de peinture, imprimerie, colles et

adhésifs, caoutchouc, etc...), ou n'impliquant pas de solvants (raffinage du pétrole, utilisation de CFC, production de boissons alcoolisées, de pain, etc.).

I.4.2.4. Sources potentielles de rejets des HAP

Les HAP sont naturellement présents dans le pétrole brut et ils le demeurent dans les produits raffinés. Mais ils sont également rejetés par des sources naturelles : les feux de forêt, qui libèrent près de 2 000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle de HAP. Cependant, ces rejets étant généralement très éloignés dans le temps et dans l'espace, ils n'entraînent pas de risque d'exposition continue. Le dépôt atmosphérique provenant de sources à l'extérieur des pays constitue une autre voie d'entrée significative.

I.4.3. Métaux lourds

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn). Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

- Mercure : le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique.
- Plomb : Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport

car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant.

- Cadmium : il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

I.5. Effets des différentes substances

Les impacts de la pollution conditionnent la plupart du temps le choix des substances retenues dans un inventaire. L'échelle géographique pertinente pour analyser les phénomènes de pollution de l'air va du très local (par exemple odeurs, effets des particules, du benzène, ... sur la santé) à l'échelle mondiale (par exemple effet de serre, couche d'ozone), en passant par des phénomènes régionaux ou continentaux (pluies acides ou pollution photochimique). On classe souvent les effets en fonction de l'échelle qui les concerne.

I.5.1. Effet de serre et changement climatique

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence (+ 33°C environ). Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O). C'est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sont naturellement très faibles que les émissions

dues aux activités humaines sont en mesure de les modifier sensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l'effet de serre, et par suite, des modifications possibles du climat.

Les principales substances émises considérées pour leur impact sur l'effet de serre sont donc : CO₂, CH₄, N₂O, HFC (dont spéciation selon 8 composés), PFC (dont spéciation selon 5 composés), SF₆.

I.6. Destruction de la couche d'ozone

La Couche d'ozone localisée dans la stratosphère filtre à l'extérieur les rayonnements dans la partie ultra-violette (UV) du spectre qui est préjudiciable aux cellules. Sans ozone, la vie sur Terre ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui. La découverte d'un trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique et son association avec les CFCs synthétiques a amené le monde à agir pour protéger la couche d'ozone (protocole de Montréal en 1979).

La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFCs sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement. Les émissions de CFCs représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique.

I.7. Acidification, eutrophisation et photochimie

I.7.1.L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un apport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui

conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradable. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau.

I.7.2. Pluies acides

"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concoure à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (qui fait que le pH "naturel" d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6).

I.7.2.1. Effets sur les écosystèmes

Des recherches en laboratoires ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes : sols de mauvaise qualité, sécheresses anormales, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. Mais à proximité de certains sites générateurs de pollution (site industriel, grosses infrastructures routières), on observe également des baisses de rendements des terres agricoles. En outre, on peut parfois observer localement une contamination des sols où s'accumulent des métaux, comme le plomb en bordure de route.

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. Outre le problème d'eutrophisation, la baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium, toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants.

Les métaux lourds contaminent également à la fois les sols et les réserves d'eau douces. Leur accumulation dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination

de la chaîne alimentaire. Ce type de pollution s'observe au niveau local (proximité de certains sites), mais aussi à l'échelle régionale et continentale, notamment pour certains métaux comme le mercure.

I.7.2.2. Effets sur la santé

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO₂, Poussières, NO₂, Pb, O₃) imposées par des directives Européennes tiennent compte des effets sur la santé de certaines substances. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants. Certains effets sont associés à des seuils, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la substance n'est pas dangereuse. Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non dénué de conséquences).

Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les effets à court terme liés à des concentrations élevées. Des études sont également menées pour évaluer les conséquences à long terme d'une exposition à un niveau de pollution plus faible. Ci-dessous, les effets des polluants les plus courants sont présentés :

- Particules : plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important. Elles ont une double action liée aux particules proprement dites et aux polluants qu'elles transportent (métaux, hydrocarbures, dioxyde de soufre, etc.). Elles irritent le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës.
- SO₂ : le SO₂ entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.
- NO-NO₂ : NO₂ est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO) NO₂ pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une

même dose sur une longue période. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.

– COV : certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent des irritations des yeux. Les aldéhydes sont de puissants irritants des muqueuses. Certains COV tels que le benzène, sont cancérigènes.

– CO : CO se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe-eau.

– Ozone : L'ozone est un oxydant puissant. C'est un irritant des yeux, de la gorge et des bronches. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.

– POP : Les conséquences de la présence de POPs qui ont pu être observées sur les animaux sont les suivantes : stérilité plus fréquente et baisse de l'effectif des populations, dysfonctionnements hormonaux, mutations sexuelles, déficiences du système immunitaire, anomalies de comportement, tumeurs et cancers, graves malformations congénitales. L'homme connaît également de graves problèmes : cancers et tumeurs, troubles du système nerveux, déficiences du système immunitaire, augmentation de cas de stérilité et modification de comportements sexuels, diminution de la production de lait chez les mères, augmentation des maladies type diabète, etc.

1.8. Différents types d'émetteurs

1.8.1. Les types d'émetteurs

Parmi tous les émetteurs potentiels de polluants, on a tendance à distinguer différentes catégories d'émetteurs :

1.8.2. Sources non-anthropiques (naturelles)

Il s'agit des sources induisant des rejets de substances polluantes mais qui ne sont pas liées à l'activité humaine. Parmi ces sources, on peut également distinguer les sources biogéniques (liées à la présence d'organismes vivants) des autres sources. L'éruption volcanique (dégagement très important de produits soufrés) est un exemple de source naturelle, de même que la production d'embruns marins (particules). Pour les sources biogéniques, il n'est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l'élevage d'animaux).

1.8.3. Sources anthropiques

Ces sources sont le fait de l'activité humaine. Cependant, la frontière entre les sources anthropiques et naturelles n'est pas toujours bien délimitée. Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les sources fixes, émises par des installations ne se déplaçant pas, des sources mobiles liées aux transports. Une autre notion est également importante pour la caractérisation des sources et de leur distribution géographique : c'est la notion de source ponctuelle, qui caractérise plutôt les grands sites industriels (points sources).