



Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf « USTOMB »



**Cours destiné aux étudiants de Master 1 et Master 2 de Génie des Procédés de l'environnement**

# **Traitements Physico-Chimique et Biologique des eaux usées**

**BOUHENT MOHAMMED MUSTAPHA**

Maitre de Conférences Classe « B »

## Table des matières

I.1 Introduction générale :	5
I.2 Définition :	5
I.3 Origine des eaux usées	5
I.3.1 Origine industrielle	6
I.3.2 Origine domestique	6
I.3.3 Origine agricole	6
I.3.4. Eaux de pluie et de ruissellement	7
I.4. Composition des eaux usées	7
a) Éléments microbiologiques	7
b) Matières en suspension MES	8
c) Substances nutritifs	8
d) <i>Les micropolluants organiques et non organiques</i>	8
I.5. type de la pollution des eaux usées	9
I.6. Les principaux paramètres de la pollution	10
II.1. Estimations des Populations Futures	14
II.2 Quantification des besoins en eau	14
Introduction	14
Dotation	14
II.3 Calcul des débits et des charges polluantes	15
II.3.1. Calcul des débits	15
II.3.2 Caractéristiques des eaux usées	18
II.3.3 Analyses des paramètres de l'effluent à traiter	18
II.3.4 Données de base pour les projets de station de traitement des eaux usées	19
III.1. Introduction	21
III.2 Aspect règlementaire et normes de rejet	22
III.3 Filières d'épurations ?	24
III.4 Epuration des eaux usées	24
III.5. Le réseau d'assainissement urbain	25
III.6 Procédés de traitement des eaux usées dans une station d'épurations	26
III 7 Chaîne de traitement des eaux usées	28
III.7.1 Prétraitements physiques	28
III.7.2 Traitements primaires	29
III.7.3. Traitements secondaires (Biologiques)	30
III.7.4 Elimination de l'azote et du phosphore	34

III.7.5 Elimination du phosphore .....	35
III.7.8. Les procédés de désinfection .....	36
III.7.8.1. Les traitements chimiques de désinfection.....	36
III.7.8.2. Les traitements physiques de désinfection .....	36
III.8. Désinfection.....	46
VIII.8.1. Différent modes de désinfection .....	47
III.8.2. Facteurs fondamentaux de la désinfection:.....	47
III.8.3.Les différents Désinfectants .....	48
III.8.4.Conditions d'applications des différents réactifs utilisés.....	56
III.8.5. Elimination des Phosphates .....	58
IV.1. Élimination biologique de la pollution azotée.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.2. Origine des boues résiduaire : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3. La stabilisation des boues .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3.1. Réduction de la teneur en eau des boues.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V.3.2 Les traitements d'hygiénisation.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3.3 Devenir des boues? .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
V. Normes .....	65

# **Partie 1**

## **Introduction aux traitements des eaux usées**

## I.1 Introduction générale :

En Algérie, l'eau est un élément de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable.

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où cette dernière doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, notamment ceux des régions arides et semi-arides, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées.

Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m<sup>3</sup> par an dont 12 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions Nord (ressources souterraines 2 milliards de m<sup>3</sup>, ressources superficielles 10 milliards de m<sup>3</sup>) et 5 milliards de m<sup>3</sup> dans le Sud. Sachant que toutes les ressources souterraines du Nord sont mobilisées en plus de 70% des ressources superficielles [1].

La pollution des eaux de surface et souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et pesticides en agriculture. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

Le volume annuel d'eaux usées domestiques rejetées est estimé à 800 millions m<sup>3</sup>. Ce sont des quantités importantes et facilement localisables que le pays ne peut négliger [1].

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier. La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

*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*

## I.2 Définition :

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.3 Origine des eaux usées

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole.

L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs

extrêmement variables. En plus des eaux de pluies, les eaux résiduaires urbaines sont principalement d'origine domestique mais peuvent contenir des eaux résiduaires d'origine industrielle d'extrême diversité. Donc les eaux résiduaires urbaines (ERU) sont constituées par :

- Des eaux résiduaires ou eaux usées d'origine domestique, industrielle et/ou agricole,
- Des eaux pluviales ou de ruissellement urbain.

### I.3.1 Origine industrielle

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...);
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...);
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...);
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....);
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés.

### I.3.2 Origine domestique :

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines : urines, fèces (eaux vannes) et eaux de toilette et de nettoyage des sols et des aliments (eaux ménagères). Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles se composent essentiellement par des eaux de vanne d'évacuation de toilette. Et des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bains.

Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (W.C), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganismes.

### I.3.3 Origine agricole

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers

produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement :

- ❑ Des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation) ;
- ❑ Des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides,...)

Donc ces eaux sont l'issus :

1. Des apports directs dus aux traitements des milieux aquatiques et semi-aquatiques tels que le désherbage des plans d'eau, des zones inondables (faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la démolition des plans d'eau et des zones inondables (étangs et marais).
2. Des apports indirects dus en particulier à l'entraînement par ruissellement, aux eaux de rinçage des appareils de traitement, aux résidus présents dans des emballages non correctement rincés ou détruits, aux eaux résiduares des usines de fabrication et de conditionnement.

#### I.3.4. Eaux de pluie et de ruissellement :

Les eaux pluviales et de ruissellement sont pris en compte dans le cas où le système de collecte des eaux usées est unitaire, ceci lors du traitement en station d'épuration. Les eaux de pluie sont susceptibles d'entraîner les polluants atmosphériques et de contaminer par infiltration et ruissellement les eaux superficielles et souterraines. Les principaux polluants en cause sont le SO<sub>2</sub>, le NO et ses dérivés, les poussières.

### I.4. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées, est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc...). La composition des eaux résiduares urbaines brutes dépend essentiellement de :

- ✚ L'activité humaine (eaux ménagères et eaux de vannes) ;
- ✚ La composition des eaux d'alimentation en eau potable et, accessoirement, de la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques ;
- ✚ La nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute et des micro-organismes. Ces substances peuvent être classées en quatre groupes.

#### a) Éléments microbiologiques

Les microorganismes, retrouvés dans les eaux usées se répartissent en 4 groupes : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent de l'environnement et des matières fécales Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles. Le pouvoir pathogène des microorganismes dépend de plusieurs facteurs qui seront brièvement décrits.

- **Les bactéries** : Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau.

Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10<sup>12</sup> bactéries/g. La majorité de ces bactéries ne sont pas pathogènes.

Cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important.

Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, Leur temps de survie dans le milieu

extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui limitera leur développement.

- **Les virus** : Les virus sont des organismes de très petite taille (10 à 350 nm). Ils ne sont constitués que d'une molécule d'ADN ou d'ARN, entourée d'une capsid (coque protéique).

Ne possédant ni noyau, ni capacité de synthèse, ce sont des parasites obligatoires d'une cellule vivante dont ils détournent, à leur profit, les systèmes enzymatiques, énergétiques et de synthèse. L'infection d'un individu par un virus hydrique se produit dans la majorité des cas par l'ingestion, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Les virus sont relativement spécifiques d'un hôte. Il existe des virus adaptés à chaque type d'hôtes (animaux, hommes, plantes, champignons, algues, bactéries). Les virus entériques transmis par ingestion sont, avec les virus respiratoires transmis par inhalation d'aérosols, les plus importants pour la santé humaine [13].

- **Les protozoaires** : Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste.

- **Les helminthes** : Les helminthes sont des vers multicellulaires plats (plathelminthes) ou ronds (némathelminthes). Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Ce sont, pour la plupart, des vers intestinaux, souvent rejetés avec les matières fécales sous forme d'œufs très résistants. La contamination se fait par ingestion ou par voie transcutanée (par fixation puis pénétration des larves à travers la peau).

#### b) Matières en suspension MES

Les matières en suspension associées aux substances dissoutes sont à l'origine de la turbidité des eaux usées. La détermination des M.E.S. est essentielle pour évaluer la répartition entre la pollution dissoute et la pollution sédimentable dont le devenir est pris en compte dans un système d'épuration. La méthode de référence pour déterminer les M.E.S est la méthode AFNOR n° 90-105, par filtration sur disque de verre. Elles sont exprimées en mg/l de matière sèche insoluble.

#### c) Substances nutritifs

Leur présence dans les eaux usées peut avoir un impact négatif sur la santé humaine et la qualité des eaux superficielles et dans une moindre mesure un impact bénéfique sur les cultures dans le cas d'une réutilisation agricole. L'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées traitées ou non.

Dans certaines circonstances, ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire afin d'en tenir compte lors du calcul des besoins en fertilisants des cultures irriguées.

#### d) Les micropolluants organiques et non organiques :

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. Certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées.



▪ **Eléments traces** : Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux ; les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple. Ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseaux unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels ».

▪ **Les micropolluants organiques** : Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc ...

## I.5. Type de la pollution des eaux usées

### i. **Pollution organique** :

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales) chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradables ou pas.

### ii. **Pollution minérale** :

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs.

### iii. **Pollution microbiologique**:

Les eaux d'égout contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale. L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau.

### iv. **Pollution toxique**:

La toxicité présente dans les eaux usées peut être organique ou minérale, les substances organiques toxiques sont entre autres les pesticides, les hydrocarbures et les produits organiques de synthèse industriels (aldéhydes, phénols, produits azotes ...etc.). Les substances minérales toxiques sont : les sels à fortes concentration, les ions métalliques rejetés par les effluents industriels.

### v. **La pollution thermique** :

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...) ; ont une température de l'ordre de (70 à

80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

## I.6. Les principaux paramètres de la pollution

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/L.

### + La température :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique 'pollution thermique'. Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32 °C par contre, elle est fortement diminuée pour de températures variant de 12 à 15 °C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C.

### + Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH représente l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6,8 et 7,8. Au-delà, c'est l'indice d'une pollution industrielle.

### + La turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material).

### + Couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation,), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous. La mesure normalisée de la coloration a fait l'objet d'une révision récente. Elle s'effectue soit par comparaison avec une gamme de concentration comme de solutions colorées, soit par mesure Spectrophotométrie.

### + Les matières en suspension (MES)

C'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES sont responsables d'ensablement et de baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton.

### + La demande biologique en oxygène (DBO)

C'est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle est donc représentative de la somme des matières organiques biodégradables. Elle est généralement mesurée en 5 jours (DBO<sub>5</sub>).

### ✚ La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique. Le rapport DCO/DBO peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables. La dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous.

### ✚ La biodégradabilité (K)

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que  $K = DCO/DBO_5$

- Si  $K < 1,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matière fortement biodégradables ;
- Si  $1,5 < K < 2,5$  : cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables ;
- Si  $2,5 < K < 3$  : les matières oxydables sont peu biodégradables ;
- Si  $K > 3$  : les matières oxydables sont non biodégradables.

### ✚ Carbone total organique (COT)

La somme du Carbone de nature organique dans les matières dissoutes et en suspension dans l'eau, cyanates et thiocyanates sont également mesurés.

Les Principes des analyseurs de carbone :

- Oxyder complètement le carbone en  $CO_2$  par : combustion, ajout d'un oxydant, UV ou autres.
- Le  $CO_2$  formé est mesuré directement ou après réduction.
- La détermination de la concentration en  $CO_2$  peut être réalisée par spectrométrie Infrarouge, conductivité thermique, conductimètre, colorimétrie.

### ✚ Le phosphore

Le phosphore est un élément nutritif essentiel aux organismes vivants qui entraîne une croissance excessive des végétaux aquatiques (eutrophisation accélérée) lorsqu'il est trop abondant. Permet de déterminer le niveau trophique des eaux d'un lac et de déceler la présence de pollution nutritive dans un tributaire.

### ✚ L'azote

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total.

## **Conclusion**

Les eaux usées urbaines peuvent être rejetés directement dans le milieu naturel aboutissant à des stations d'épuration dont ils ne doivent pas perturber le fonctionnement.

Pour cela on est appelé à préciser des normes de rejet pour protéger l'environnement contre impacts négative. Les normes doivent tenir compte des sensibilités des méthodes de dosage et des possibilités techniques de traitement. La connaissance de la composition des eaux résiduaires et leur paramètre essentiel pour assurer la pertinence du choix et du dimensionnement des filières de traitement appropriées. Bien que les gammes de concentrations des paramètres typiques des eaux usées soient globalement connues.

## **Partie 2**

### **ESTIMATION DES POPULATIONS FUTURES Caractérisations des Eaux Usées du Point de Vue Quantités**

## II.1. Estimations des Populations Futures

Pour l'évaluation de la population à l'horizon projet, soit n années, on utilise le nombre d'habitants recensé en l'année en cours en tenant compte du coefficient d'accroissement. L'estimation du nombre d'habitants future se fera selon la formule suivante :

$$P=P_0(1+T_{ac})^n \quad (1)$$

D'où :

P : Nombre d'habitants dans « n » années ;

P<sub>0</sub> : Nombre d'habitants de l'année de référence ;

T<sub>ac</sub> : Taux d'accroissement de la population ;

n : Nombre d'années séparant l'année de recensement et l'horizon de calcul.

## II.2 Quantification des besoins en eau

### Introduction :

Les besoins de la population en eau sont de plusieurs ordres : les usages artisanaux, industriels, domestiques...etc. Concernant les usages artisanaux et industriels, ils sont relatifs aux restaurants, hôtels, aux petites industries manufacturières, aux imprimeries...etc. Les usages domestiques sont ceux relatifs aux ménages. Ils correspondent donc aux quantités d'eau indispensables à l'ensemble de la population pour les différents usages à domicile.

La consommation domestique d'eau potable est la seule utilisation pour laquelle l'on peut établir un seuil minimum pratique. « Pour rester en bonne santé, l'être humain a besoin d'environ 100 litres d'eau par jour boire, cuisiner et se laver ».

Le seuil tolérable pour la consommation d'eau par jour et par personne est estimé par la Banque Mondiale à 100 litres [2].

L'estimation de cette consommation est basée sur la consommation journalière moyenne et sera suivie d'une étude des variations des consommations pour des périodes de temps plus brèves, par exemple, un jour ou une heure.

### Dotation

Il est à noter que l'OMS a adopté une valeur de 40 l/habitant/jour pour assurer l'alimentation de petites agglomérations des pays en voie de développement. Cette estimation prévoit toutefois une marge de 50% pour le gaspillage inévitable quand il y a une certaine distance entre le point d'eau et le domicile du consommateur.

En se basant sur les tendances et les recommandations internationales, la dotation moyenne par habitant et par jour est répartie comme suit :

- ❑ Ville de moins de 20000 hab : 150 à 200 l/j/hab.
- ❑ Ville de 20000 à 100000 hab : 200 à 300 l/j/hab.
- ❑ Ville de plus de 100000 hab : 300 à 350 l/j/hab.

Par conséquent, la norme de dotation unitaire journalière se situe aux alentours de 200 l/j/hab pour les différents horizons (court, moyen et long terme).

## II.3 Calcul des débits et des charges polluantes

### II.3.1. Calcul des débits :

Le volume rejeté par les habitants est estimé à 80 % de la dotation d'approvisionnement en Eau potable (AEP). Nous avons adopté une dotation de **200 L/hab/J** pour la ville X.

Il s'agit de déterminer :

- Débit journalier (**Q<sub>j</sub>**) (**m<sup>3</sup>/j**)
- Débit moyen horaire (**Q<sub>m</sub>**) (**m<sup>3</sup>/h**)
- Débit de pointe (**Q<sub>p</sub>**)
- Débit diurne (**Q<sub>d</sub>**)

#### a) Débit journalier :

Le débit total journalier est définie par :

$$Q_j(\text{m}^3/\text{j}) = \text{Dot} \cdot N \cdot R \quad (2)$$

Avec :

Dot : dotation (L/hab/J)

N : Nombre d'habitant à l'horizon considéré

R : Coefficient de rejet (Avec R=0,8)

#### b) Débit moyen horaire :

Le débit moyen horaire est donné par la relation :

$$Q_m = \frac{Q_j}{24} \quad (3)$$

#### f) c) Débit de pointe en temps sec :

Le débit de pointe en temps sec correspond au débit horaire maximal reçu par la station :

$$Q_p = C_p \times Q_m \quad (4)$$

Avec :

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}}, \text{ Si } Q_m \geq 2,8L/s \quad (5)$$

$$C_p = 3, \text{ Si } Q_m < 2,8L/s \quad (6)$$

#### d) Le débit diurne :

Le débit diurne correspond à la période diurne de 16 heures consécutives au cours de laquelle la station reçoit le plus grand volume d'eau usée, soit :

$$Q_d = \frac{Q_j}{16} \quad (7)$$

#### e) Débit de pointe en temps de pluie

Le débit de pointe en temps de pluie est donné par :

$$Q_{\text{ptp}} = (3 - 5) \cdot Q_{\text{pts}} \quad (8)$$

$Q_{ptp}$  : débit de pointe en temps de pluie

**f) Concentration moyenne des eaux brutes**

$$C_{DBO_5} = \frac{DBO_5 \times N}{Q_{moy.j}} \quad (9) \quad \text{et} \quad C_{MES} = \frac{MES \times N}{Q_{moy.j}} \quad (10)$$

**g) Les charges moyennes journalières en DBO<sub>5</sub> et en MES**

$$L_0 = C_{DBO_5} \times Q_{moy.j} \quad (11) \quad \text{et} \quad N_0 = C_{MES} \times Q_{moy.j} \quad (12)$$

$L_0$  : Charge moyenne journalière en DBO<sub>5</sub> (Kg/j)

$C_{DBO_5}$  : La concentration en DBO<sub>5</sub> moyenne (Kg/m<sup>3</sup>)

$Q_{moy.j}$  : Débit moyen journalier en (m<sup>3</sup>/j)

$N$  : Nombre d'habitants

$N_0$  : Charge moyenne journalière en MES (Kg/j)

$C_{MES}$  : La concentration en MES moyenne (Kg/m<sup>3</sup>)

**h) La Concentration (C)** : C'est une masse par unité de volume (mg/l -g/l = kg/m<sup>3</sup>). Ce paramètre renseigne sur la qualité de l'effluent.

**i) Le Flux (ou charge) (F)** : C'est le produit du débit (Q) par la concentration (C) (kg/j).

$$F = C \times Q \quad (13)$$

Remarque : il faut maintenir des unités identiques : kg/j = kg/m<sup>3</sup> x m<sup>3</sup>/j.

C'est un paramètre important qui renseigne sur la quantité de pollution.

Exemple : une concentration en matière de suspension de 30 mg/l, et un débit de 200 m<sup>3</sup>/j, donnera un flux de matières en suspension de :

$$C = 30 \text{ mg/l} = 30 \text{ g/m}^3 = 0,03 \text{ kg/m}^3$$

$$F = C \times Q = 0,03 \times 200 = 6 \text{ kg/j.} \quad (14)$$

**j) La charge hydraulique de la station** : C'est le rapport du débit reçu sur la capacité hydraulique nominale de la station. Elle s'exprime en % de la capacité nominale.

Exemple : une station de capacité nominale 10000m<sup>3</sup>/j reçoit un débit de 3000 m<sup>3</sup>/j.

$$\text{La charge hydraulique : } 3000/10000 = 30 \%$$

**k) La charge organique de la station** : C'est le rapport de la pollution reçue sur la capacité nominale de la station elle s'exprime en % du flux nominal en DBO<sub>5</sub>.

Exemple: une station de capacité nominale 1000kg(DBO<sub>5</sub>)/j reçoit une charge en pollution de 250 kg/j (DBO<sub>5</sub>)

$$\text{La charge organique } 250/1000 = 25 \%$$



**l) Le rendement épuratoire de la station:** C'est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il définit les performances de la station.

$$R\% = (C_{\text{entrée}} - C_{\text{sortie}}) * 100 / C_{\text{entrée}} \quad (15)$$

Exemple: une station reçoit une charge en matières en suspension de 250kg /j (DBO<sub>5</sub>). Elle rejette une charge de 15kg/j.

$$\text{Le rendement épuratoire sera : } (250 - 15) / 250 = 94\%$$

**m) La charge massique C<sub>m</sub> :**

C'est le rapport de la charge en DBO<sub>5</sub> reçue sur la quantité de boues présente dans le bassin d'aération.

$$C_m = \text{nourriture/boues} = \text{kg DBO}_5 \text{ reçue} / \text{kg MVS (bassin d'aération)} \quad (16)$$

Elle caractérise l'équilibre biologique du traitement

Exemple: une station équipée d'un bassin d'aération de **5150 m<sup>3</sup>** avec une concentration en boues activées de **4,3g/l** et un taux de MVS (matières organiques = matières actives des boues) de **75%**, reçoit une charge polluante de **1000kg DBO<sub>5</sub> /j**:

$$\text{La quantité de boues} = \text{volume du bassin} \times \text{la concentration en MVS} = \\ 5150 \times 4,3 \times 0,75 = \text{environ } 16610 \text{ kg MVS}$$

**n) La charge volumique C<sub>v</sub> :**

C'est le rapport de la charge en DBO<sub>5</sub> reçue sur le volume du bassin d'aération.

$$C_v = \text{kg DBO}_5 \text{ reçue} / \text{m}^3 \text{ (bassin d'aération)} \quad (17)$$

**C<sub>v</sub>: permet d'estimer la capacité du bassin d'aération**

Exemple: Une station équipée d'un bassin d'aération de 5150 m<sup>3</sup>, reçoit une charge polluante de 1000kg DBO<sub>5</sub>/j.

$$C_v = 1000 / 5150 = 0,195 \text{ kg DBO}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{j}$$

***Des charges massique et volumique faibles témoignent d'un ratio nourriture/boues favorable à une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée***

**o) Equivalent habitant EH :** l'équivalent habitant est une notion théorique, établie sur la base d'un grand nombre de mesures, qui exprime la charge polluante d'un effluent, quelle que soit l'origine de la pollution, par habitant et par jour. La charge polluante rejetée par les ménages, les industries, les artisans est exprimé en EH, autrement dit une industrie de 100 EH pollue autant que 100 personnes.

Un EH correspond à un rejet moyen journalier de 180 l d'effluent présentant une charge:

- De 90 g de MES.
- De 60 g de DBO<sub>5</sub>.
- De 135 g de DCO.
- De 9,9 g d'azote totale.
- De 2g de phosphore total.

### p) Mesure de charge polluante

Des échantillons d'eaux usées sont prélevés proportionnellement au débit pendant 24h. En fonction de la nature du site (point amont de STEP ou station de pompage), il a été analysé un échantillon unique sur les 24h ou bien un échantillon horaire (24 échantillons pour 24h).

Les paramètres recherchés sont la DCO horaire (ou bi-horaire), et la DBO et MES correspondant aux pics de débit maximum diurne et minimum nocturne.

### q) Planning

Tout d'abord, une campagne visant à fournir les données nécessaires à l'entreprise de réalisation de la station pour le dimensionnement de différents ouvrages de cette dernière et qui a eu lieu pendant les quatre saisons de l'année et à différentes heures de la journée.

## II.3.2 Caractéristiques des eaux usées

Les principaux paramètres physicochimiques et bactériologiques les plus rencontrés et les plus analysés dans les eaux usées sont :

Paramètres physiques	pH, MES, MMS, MVS
Paramètres Organoleptiques	Turbidité, couleur, saveur, odeur
Paramètres Chimiques	Conductivité, O <sub>2</sub> dissous, DCO, DBO <sub>5</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , NTK, éléments traces métalliques, huiles et graisses H/C
Paramètres Bactériologiques	Les coliformes totaux, les streptocoques fécaux et <i>Enterococcus</i> , les bactéries sulfite-réductrices

## II.3.3 Analyses des paramètres de l'effluent à traiter

Les caractéristiques des effluents à traiter doivent être nécessairement validées par des campagnes de mesures effectuées sur des échantillons prélevés en continu durant 24 heures (en temps sec et en temps de pluie) de façon que les volumes de prises soient proportionnels aux débits instantanés de l'effluent avec constitution d'un échantillon moyen de 24 h réfrigéré, permet de définir l'identité ou la morphologie singulière de l'effluent. Ces campagnes de mesure permettront en outre de vérifier la cohérence des rapports suivants :

***DCO/DBO<sub>5</sub>***;

***MES/DBO<sub>5</sub>***;

***DBO<sub>5</sub>/NTK***;

***N-NH<sub>4</sub>/NTK***;

***DCO/P<sub>t</sub> et MVS/MES***

#### II.3.4 Données de base pour les projets de station de traitement des eaux usées

- a. Origine de l'eau usée :
- b. Type de réseau
- c. Nombre d'équivalent habitant
- d. Estimation des besoins théoriques en eau potable
- e. Débit des équipements
- f. Evaluation des débits des eaux usées de la STEP
- g. Paramètres physico-chimiques et microbiologique avant épuration
- h. Charges polluantes

Afin de déterminer les quantités de polluants rejetées par un habitant d'une ville **X**, nous devons calculés les charges des différents polluants tel que DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, Azote total et phosphore.

## **Partie 3**

### **Objectifs et schémas de traitement des eaux usées**

### III.1. Introduction

Les eaux usées constituent un effluent très chargé en matières polluantes, nuisibles aussi bien au milieu récepteur qu'à la santé humaine. Pour remédier à cette pollution, l'eau usée doit subir une épuration avant son rejet ou sa réutilisation.

L'épuration est indispensable pour les eaux usées car elle vise à :

- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.
- Valoriser les eaux épurées.
- Valoriser les boues des stations d'épuration.
- La protection et la sauvegarde des ressources et de l'environnement hydrique, sur tout le territoire national. Cette politique nationale d'assainissement doit être menée en concertation avec les collectivités locales.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique et la préservation des réseaux de collecte des eaux usées, des stations de relevage, des stations d'épuration, des émissaires en mer, dans les périmètres urbains et communaux ainsi que dans les zones de développement touristique et industriel.

**N.B : *Il est important de noter que ces législations et normes relative au traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles ont pour but principal de diminuer l'eutrophisation des milieux naturels et d'interdire de déverser dans le milieu naturel sans traitement.***

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

L'épuration des eaux usées s'est donc imposée pour préserver la qualité des milieux naturels et notamment les eaux de surface et souterraines. L'eau épurée est actuellement en majorité rejetée. La généralisation de la réutilisation de ces eaux peut donc contribuer à combler en partie le déficit d'eau de première main. Le recyclage de l'eau dans les industries et l'utilisation de l'eau pour l'arrosage des espaces récréatifs peuvent par conséquent contribuer à diminuer la pression exercée sur les ressources naturelles de bonne qualité.

L'utilisation d'une eau non conventionnelle dans l'agriculture peut contribuer à la création de nouveaux périmètres irrigués ou constituer une source d'appoint pour des périmètres existants. Elle est pratiquée aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement

La réutilisation des eaux usées épurées constitue en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées. Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments nutritifs, notamment en azote, potassium et phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les zones de rejets, elle peut être également une source de pollution avec son contenu en éléments traces organiques et métalliques et en pathogènes. L'utilisation des eaux résiduaires traitées est souvent confrontée à un certain nombre d'obstacles, notamment d'ordres sanitaire et chimique. Pour ces raisons, l'amélioration de la qualité des effluents traités est nécessaire avant leur réutilisation

## III.2 Aspect réglementaire et normes de rejet

La loi n° 03-10 du 19 Juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable a pour but la mise en œuvre d'une politique nationale de protection de l'environnement. Elle fixe les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement à savoir : la protection, la restructuration et la valorisation des ressources naturelles ; la restauration des milieux endommagés, la prévention et la lutte contre toute forme de pollution et nuisance; l'amélioration du cadre et de la qualité de la vie, la promotion de l'utilisation rationnelle des ressources naturelles disponibles.

Les exigences concernant les rejets dans le milieu naturel des eaux résiduaires urbaines et industrielles ou par les stations d'épuration des eaux usées sont fixées par les décrets exécutifs n° 06-141 du 19 Avril 2006 et n°10-23 du 12 janvier 2010.

Le tableau 1-1 comporte les concentrations limites des rejets d'effluents liquides fournies dans le Décret exécutif n° 06-141 et concernant seulement les indicateurs de pollution de rejet des stations d'épuration.

Notons que le décret exécutif n° 06-141 du 19 Avril 2006 fixe les valeurs limite de rejet d'effluents liquides industriels. Cependant, ce décret ne spécifie pas d'une manière claire les normes des différentes eaux usées (industrielles, urbaines, etc.), qui devraient être données en fonction des charges traitées et calculées pendant 24 heures. En particulier, en comparaison avec les nouvelles normes de la directive européenne n° 91/271/CEE du 21 mai 1991, relatives aux traitements des eaux urbaines résiduaires. Nous résumons dans le tableau 1-2 les performances et les valeurs limites de rejet en fonction des flux de pollution journaliers de l'Arrêté du 22 juin 2007 du Journal Officiel de la République Française, pour des installations de traitement de la pollution urbaine et industrielle.

**Tableau 1. Normes limites de rejet des effluents liquides urbaines, après l'épuration, Algérie**

Paramètres	Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006		
	Unité	Valeurs limites	Tolérances*
<b>Température</b>	°C	30	30
<b>pH</b>	/	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
<b>MES</b>	mg/L	35	40
<b>DCO</b>	mgO <sub>2</sub> /L	120	130
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mgO <sub>2</sub> /L	35	40
<b>NTK</b>	mg/L	30	40
<b>Composés Organiques Chlorés</b>	mg/L	5	7
<b>Phosphore total</b>	mg/L	10	15

**Huiles et graisses** mg/L 20 30

*\*Tolérances aux valeurs limites pour anciennes installations.*

*Tableau 1-2. Normes de rejet des effluents liquides urbaines, après l'épuration, France.  
Arrêté du 22 juin 2007 du Journal Officiel - France*

<b>Paramètres</b>	<b>CHARGE BRUTE</b>	<b>CONCENTRATION</b>	<b>RENDEMENT</b>
	de pollution organique reçue en kg/j de DBO5	maximale	minimum à atteindre
<b>Température</b>	/	< 25°C	/
<b>pH</b>	/	6,0 – 8,5	/
<b>MES</b>	Toutes charges	35mg/L	90%
<b>DCO</b>	Toutes charges	125mgO <sub>2</sub> /L	75%
<b>DBO<sub>5</sub></b>	De 120 à 600	25mgO <sub>2</sub> /L	70%
	➤ 600	25mgO <sub>2</sub> /L	80%
<b>Azote (NGL)</b>	De 600 à 6000	15mg/L	70%
	➤ 6000	10mg/L	70%
<b>Phosphore total</b>	De 600 à 6000	2mg/L	80%
	➤ 6000	1mg/L	80%

### III.3 Filières d'épurations ?

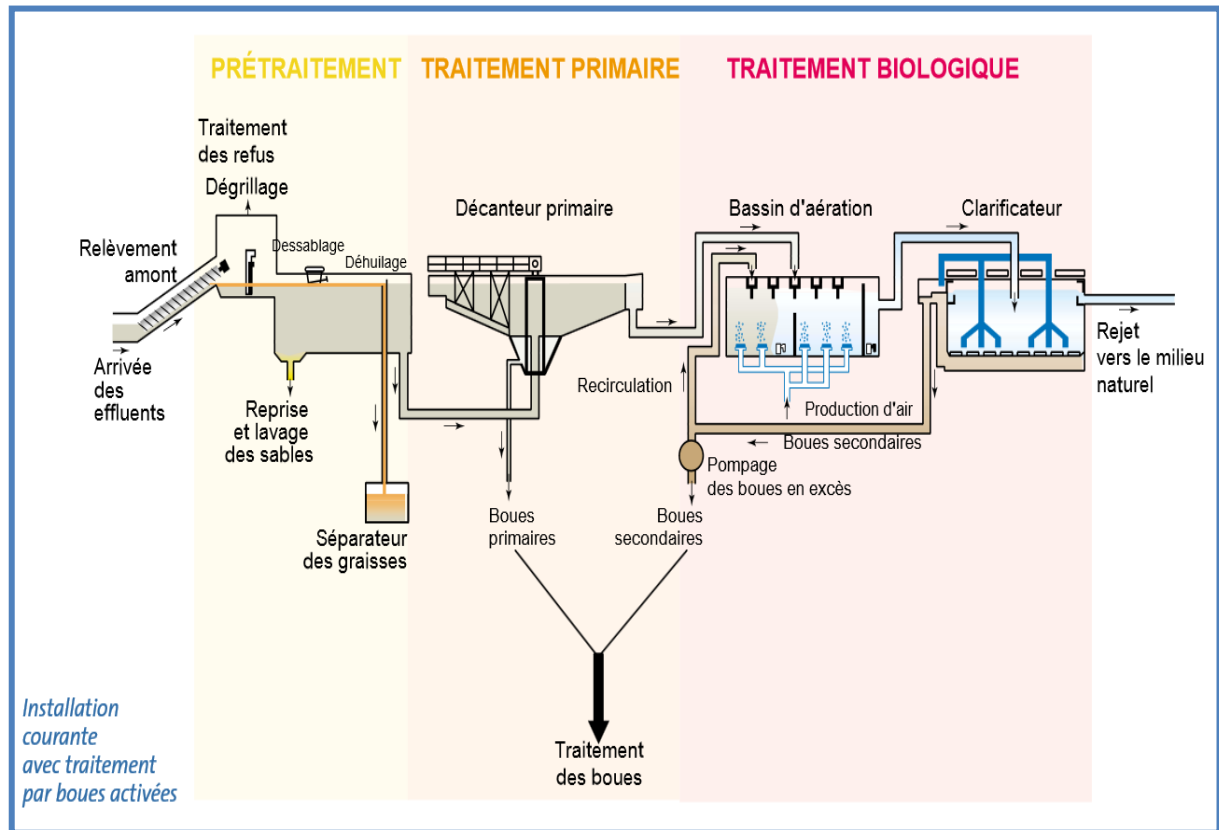


Figure1-Installation courante avec traitement par boue activée

### III.4 Epuration des eaux usées

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement ; ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus celle-ci est démontré sous le vocable de lagunage ou phyto-épuration.

#### 1. Les méthodes classiques de traitements

La ligne de traitement complète des eaux résiduaires peut être schématiquement scindée en deux filières :

- ❑ La filière eau dans laquelle l'eau est débarrassée de tous les polluants avant son rejet dans le milieu naturel ;
- ❑ La filière boue dans laquelle les résidus générés par la filière eau sont traités et déshydratés avant leur évacuation.

La filière eau comprend généralement :

- ❖ Un prétraitement pour l'élimination des objets de taille comprise entre 0,1 et 50 mm (dégrillage, tamisage), des graisses et du sable,
- ❖ Un traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables,
- ❖ Un traitement secondaire composé d'un réacteur biologique pour l'élimination de la pollution biodégradable organique  $DBO_5$  ou minérale ( $NH_3$ ,  $NO_3^-$ , P).



- ❖ Certaines stations sont également équipées d'un traitement tertiaire pour l'élimination des microorganismes ou du phosphore résiduel.
- ❑ Les boues provenant du décanteur primaire (boues primaires) et du traitement biologique (boues biologiques) seront ensuite traitées et conditionnées sur la filière boues.

## III.5. Le réseau d'assainissement urbain

### 1. Définition

Lorsqu'elles sont rejetées par des habitations groupées au sein d'une agglomération, les eaux usées sont prises en charge par un assainissement collectif, équipement indispensable à la salubrité publique en zone urbaine.

Il comprend un dispositif de collecte et d'évacuation des eaux résiduaires, le réseau d'égouts, qui aboutit au dispositif de traitement, la station d'épuration.

Aux eaux usées domestiques s'ajoutent les eaux collectives rejetées par les hôpitaux, commerces... Des industries peuvent également être raccordées au réseau d'égouts si la capacité de la station d'épuration le permet et si la nature des eaux usées est compatible avec le traitement

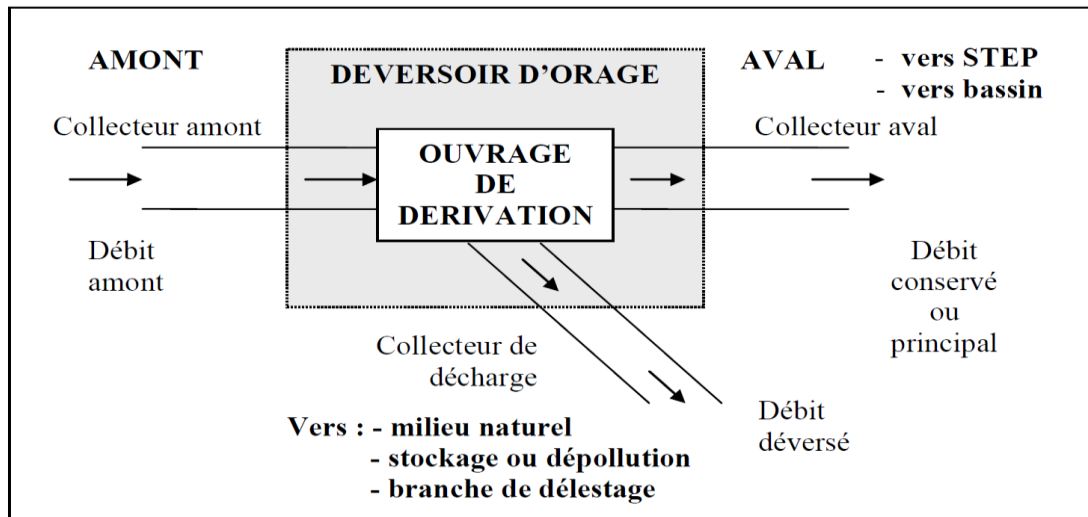
Il existe trois grands types de réseaux d'assainissement :

- i. **Le réseau unitaire:** qui reçoit et évacue, en mélange, les eaux usées et les eaux pluviales. C'est celui qui équipe la plupart des centres villes et qui représente la partie la plus fragile du système.
- ii. **Le réseau séparatif:** qui est composé de deux collecteurs séparés, (un pour les eaux pluviales, un pour les eaux usées)[4].
- iii. **Système pseudo-séparatif:** les eaux météoriques y sont divisées en deux parties:
  - D'une part, les eaux provenant des surfaces de voiries qui s'écoulent par des ouvrages conçus à cet effet : caniveaux, fossés, etc...
  - D'autre part, les eaux des toitures, cours, jardins qui déversent dans le réseau d'assainissement à l'aide des mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques.

### 2. Déversoir d'orage

Le déversoir d'orage est un ouvrage permettant le rejet direct d'une partie des effluents au milieu naturel lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur.

Les déversoirs d'orage sont généralement installés sur les réseaux unitaires dans le but de limiter les apports au réseau aval et en particulier dans la STEP en cas de pluie.



**Figure 2-Parcours de l'eau dans un déversoir d'orage**

Un déversoir d'orage est donc un ouvrage de contrôle permettant une régulation hydraulique des effluents en réseau d'assainissement. Il dérive une partie des effluents lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur que l'on appelle "débit de référence". Le débit dérivé peut sortir complètement du système d'assainissement, soit y être réinjecté après stockage dans le bassin.

Un déversoir d'orage doit donc assurer quatre fonctions principales :

- i. Laisser transiter le débit des eaux usées de temps sec sans surverse et sans trop faire chuter la vitesse de l'écoulement afin de limiter la décantation des matières en suspension présentes dans l'effluent,
- ii. Laisser transiter les eaux usées et celles de petites pluies sans surverse jusqu'au débit de référence, c'est-à-dire le débit maximal admis à l'aval,
- iii. Déverser le débit excédentaire de pluie (au-delà du débit de référence) sans mise en charge et décantation dans la conduite amont et sans surcharge excessive de débit dans le réseau à l'aval,
- iv. Empêcher l'entrée d'eau en provenance du milieu naturel.

## III.6 Procédés de traitement des eaux usées dans une station d'épurations

### 1. Définition d'une station d'épuration

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

La première tentative d'épuration des eaux usées a été inventée en 1914 par des scientifiques anglais [3].



**Figure3- photo d'une station d'épuration**

## **2. Objectifs principaux d'une station d'épuration**

- ✓ Protection de la nappe phréatique contre la pollution;
- ✓ Eviter aux agriculteurs l'irrigation des terres agricoles avec les eaux usées;
- ✓ Minimiser le risque des maladies à transmission hydrique;
- ✓ Réutilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation;
- ✓ Économie importante de l'eau;
- ✓ Eviter la surexploitation des nappes souterraines.

## **3. Conditions d'implantation d'une station d'épuration**

La station d'épuration doit être implantée selon les conditions suivantes:

- ✓ Eviter le maximum les zones inondables;
- ✓ Prendre en considération les zones urbanisées et urbanisables à cause des odeurs désagréables, maladies transmissibles par l'air,...;
- ✓ L'implantation doit être à l'aval du réseau d'assainissement (à l'exutoire) afin d'éviter le relevage et par conséquent le coût élevé;
- ✓ La position de la station d'épuration doit être dans un point où la collecte des eaux usées se fait au maximum (repérer le point stratégique entre deux agglomérations par exemple);
- ✓ Le rejet des eaux épurées ne doit pas affecter le milieu récepteur (inondation des terres agricoles).

## **4. Risques liés à la station d'épuration**

Risques de chutes, de glissades, liées à la circulation du personnel aux abords immédiats des équipements et matériels;

- ✓ Le personnel exploitant peut être contaminé par voie digestive (essentiellement en portant les mains ou les objets souillés à la bouche), par la peau tout au long du processus de traitement de l'eau;
- ✓ Le risque de contamination par voie respiratoire existe à proximité des procédés (dégrillage,...);

- ✓ Les risques d'incendie et d'explosion liés à la présence de gaz de fermentation ou de résidus de produits inflammables, nécessaires à l'exploitation ou introduits accidentellement par les eaux résiduaires;
- ✓ Les risques d'asphyxie liés aux espaces confinés, aux fosses...

## III 7 Chaine de traitement des eaux usées

### III.7.1 Prétraitements physiques :

#### **a. Dégrillage :**

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles par des moyens mécaniques, manuels ou automatiques, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères.

Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de 60 à 80° par rapport à l'horizontale.

#### **b. Dessablage**

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables pour éviter leur sédimentation ultérieure. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage.

Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés.

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2 mm environ.

#### **c. Dégraissage-déshuilage**

Le dégraissage-déshuilage vise à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. L'opération s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses et huiles sont raclées à la surface, puis stockées avant d'être éliminées (mise en décharge ou incinération) [4].



**Figure4- Photo de Dégrilleur Photo de Désableur-Déshuileur**

### III.7.2 Traitements primaires

#### **d. Décantation naturelle**

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques naturels, éventuellement assortie de procédés physicochimiques, tels que la coagulation- floculation.

Les matières en suspension se déposent au fond du bassin et sont épaissies mécaniquement dans une fosse positionnée sous les lamelles. Les matières issues de la décantation primaire constituent les boues primaires.

Elles sont extraites par pompage vers la filière de traitement des boues. L'eau clarifiée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

#### **e. Décantation physico-chimique**

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin.

Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

##### **-Coagulation**

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).

##### **-Floculation**

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'assemblent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par le procédé de décantation





**Figure5-photo de décanteur Primaire**

### III.7.3. Traitements secondaires (Biologiques)

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments.

#### **a. Traitements anaérobies**

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO<sub>2</sub>.

C'est une opération délicate qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

#### **b. Traitements aérobies**

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène. On distingue cinq méthodes essentielles :

##### **i. Boues activées (Les cultures libres)**

En pratique, le procédé consiste à alimenter un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) avec l'eau à épurer (effluent préalablement prétraité voir décanté) au sein d'un courant continu d'eau usée, les bactéries aérobies sont soumises à l'action prolongée d'une forte oxygénation obtenue par introduction d'air régulièrement répartie dans l'effluent, ces bactéries absorbent et dégradent la matière organique et forment de gros floccs (biofloc) qui décantent, lesquels à leur tour, constituent des boues ou des masses flocculeuses dites boues activées.

Le mélange eau usée + biofloc forme une liqueur mixte.



**Figure 6-Bassin d'aération**

**ii. Lits bactériens (Cultures fixes)**

Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire pouvant atteindre 4 à 5 mètres de hauteur dans laquelle se trouve un matériau (Pouzzolane ou Plastique).

L'effluent ruisselle à la surface de la pellicule biologique qui prolifère sur le support (interstices), celle-ci renferme une forte concentration de bactéries, de champignons.

Ces organismes absorbent et métabolisent la matière organique de l'effluent, l'appauvrissent progressivement au cours de son trajet.

L'approvisionnement en oxygène se fait naturellement à l'aide d'Ouïes d'aération assurant ainsi les besoins en oxygène de la biomasse.

**iii. Disques biologiques (Cultures fixes)**

L'eau usée, préalablement décantée, alimente un ouvrage dans lequel des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à vitesse lente. Sur ces disques biologiques en plastique se développe alors un film bactérien. Lors de leur émergence, ces bactéries prélèvent l'oxygène nécessaire à leur respiration et lors de l'immersion, elles absorbent la pollution dissoute dont elles se nourrissent. Dès que le film biologique dépasse une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau épurée. Les boues ainsi piégées sont renvoyées par pompage périodique vers l'ouvrage de tête pour y être stockées et digérées.



Figure7-photo de clarificateur

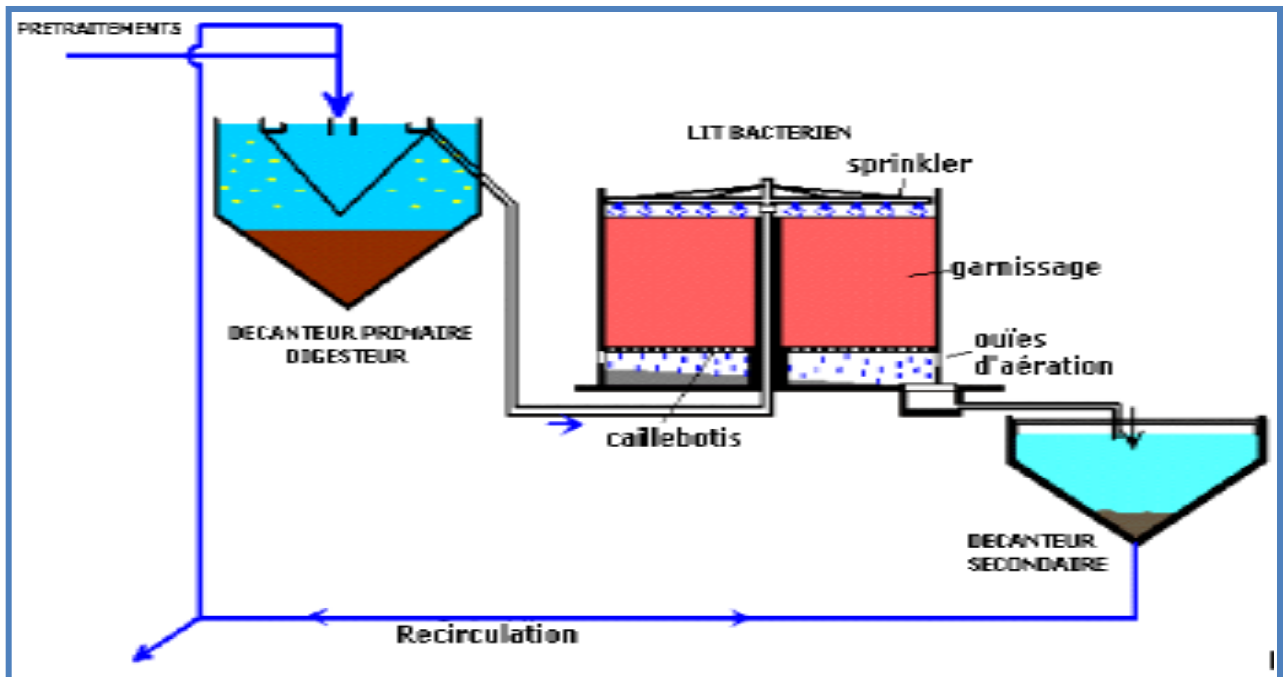


Figure8-Lits Bactérien





**Figure9-Disques biologiques**

### **iii.Lagunage**

#### **1. Lagunage naturel (Cultures fixes)**

Le lagunage est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées.

Les plantes aquatiques sont ici utilisées comme support aux colonies bactériennes, assurant l'épuration efficace de l'eau qui traverse lentement les colonies végétales installées.

Les éléments polluants comme les nitrates sont ainsi absorbés par les plantes pour restituer en sortie de lagunage, une eau de bonne qualité.

#### **Bassin 1: (La minéralisation par les bactéries)**

Dans ce bassin, l'élimination des déchets passe par deux voies :

- La voie physico-chimique : naturellement des réactions chimiques ont lieu dans l'eau entre les différents éléments minéraux déjà présents.
- La voie micro-biologique : C'est le moyen le plus efficace où les déchets organiques sont progressivement dégradés par les bactéries.

#### **Bassin 2: (Le rôle des plantes)**

Les nutriments présents (sels minéraux, dérivés des lessives et dans une moindre mesure des engrais minéraux issus de l'agriculture) et le CO<sub>2</sub> (déchet de la respiration de certaines bactéries) vont être assimilés par les plantes pour permettre leur croissance. Ces organismes autotrophes vont transformer, directement grâce à l'énergie solaire, les différents sels minéraux et le CO<sub>2</sub> en tissu organique (sucres) pour la plante et en oxygène évacué dans le milieu extérieur : c'est le phénomène de la photosynthèse.

#### **Bassin 3: (Le rôle du zooplancton)**

Le rôle du zooplancton est d'assurer la finition de l'épuration des eaux. Ils vont jouer un rôle important comme consommateur de micro-algues, et donc comme régulateur de ces populations phytoplanctoniques.

## 2. Lagunage aéré

Dans un premier bassin, des bactéries interviennent pour éliminer les déchets (la matière organique) et les transformer en sels minéraux et en gaz. Par la suite, dans un deuxième bassin, ces produits sont récupérés par les plantes pour permettre leur développement.

Celles-ci vont alors produire de l'oxygène (par photosynthèse). Les micro-algues (phytoplancton) seront consommées dans les derniers bassins par le zooplancton (animaux microscopiques). A la fin de cette étape (80 jours environ après l'entrée dans le premier bassin), les eaux sont aptes à être rejetées dans le milieu naturel.

### d. Traitements tertiaires

Appelés aussi les traitements complémentaires qui visent à l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques.

Les traitements tertiaires permettent d'affiner ou d'améliorer le traitement secondaire, ces derniers visent à améliorer la qualité générale de l'eau afin d'une réutilisation ultérieure dans l'industrie ou l'irrigation.

Ces traitements sont réalisés lorsque le milieu récepteur l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes:

- ✓ La nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique);
- ✓ La désinfection bactériologique et virologique.



**Figure10- photo de Lagunage Aéré**

## III.7.4 Elimination de l'azote et du phosphore

### a. Elimination de l'azote

L'azote peut être éliminé par trois voies possibles:

Physique: par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension.

Physico-chimique: un soluté gazeux est chassé de l'eau par l'action d'un autre gaz appelé gaz laveur.

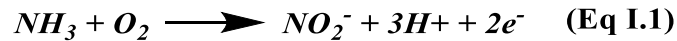
Biologique: L'élimination de l'azote est le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de " nitrification-dénitrification " .

### -Nitrification

La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains micro-organismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammoniaque ou de l'ammonium en nitrate, c'est à dire la conversion biologique de la forme réduite,  $NH_4^+$ ,  $NH_3$  en la forme oxydée  $NO_3^-$ .

La nitrification est un processus se déroulant sous l'action de certains micro-organismes autotrophes en milieu aérobie et qui conduit à la transformation qui consiste en l'oxydation de l'azote organique sous forme d'un ammoniac en nitrate en 2 étapes :

Nitrosation : ou l'ammoniac est d'abord converti en nitrite ( $NO_2^-$ ) par des bactéries nitreuses aérobies (Nitrosomonas) :



Nitration : Les nitrites sont ensuite oxydés en nitrates par les bactéries nitrifiantes aérobies (Nitrobacter) :



Le temps de rétention des eaux dans le bassin d'aération doit donc être assez long

### -dénitrification

La dénitrification se fait généralement dans le même bassin que la nitrification par syncopage (arrêt de l'aération, phase anoxie). Cette étape a pour but de protéger le milieu naturel.

La dénitrification est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux ( $N_2$ ) qui retourne à l'atmosphère

Cette relation est réalisée par le fait qu'en absence d'oxygène, ces bactéries sont capables d'utiliser immédiatement l'oxygène des nitrates comme un oxydant. En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin tertiaire anaérobie.

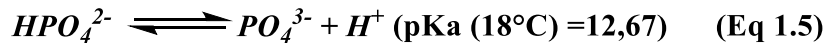
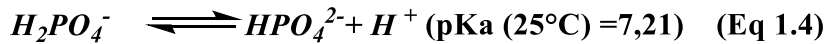
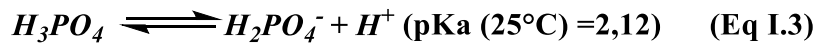
### III.7.5 Elimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par deux voies:

- ✓ Voie chimique: (pour les petites installations) Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux; on obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques.
- ✓ Voie biologique: La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Les mécanismes de la déphosphatation biologique sont relativement complexes et leur rendement variable.

Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à une déphosphatation physico chimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis.

Les phosphates sont les oxydes de phosphore les plus connus, ce sont les sels de l'acide orthophosphorique  $H_3PO_4$ . En fonction du pH du milieu, le phosphore peut exister sous forme de  $H_3PO_4$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  ou  $PO_4^{3-}$ . Les orthophosphates ne sont pas (ou rarement) dans les eaux sous forme  $PO_4^{3-}$  qui est la base finale des trois équilibres suivants :



### III.7.8. Les procédés de désinfection

#### III.7.8.1. Les traitements chimiques de désinfection

##### a. La chloration

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries, mais moins efficace contre les virus. Le chlore est utilisé sous les formes suivantes: chlore gazeux, hypochlorite de sodium (eau de javel) et bioxyde de chlore.

##### b. L'ozonation

C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus, l'ozone est un gaz instable que l'on doit générer sur place, dans les stations d'épuration, au moyen d'une décharge électrique produite dans de l'air ou de l'oxygène. L'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme «O<sub>2</sub>» en oxygène sous forme «O<sub>3</sub>».

L'ozonation ne nécessite aucun transport de produits chimiques et est plus sécuritaire pour le personnel de la station d'épuration que la chloration [5].

#### III.7.8.2. Les traitements physiques de désinfection

##### a. Le rayonnement ultraviolet

Il consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets.

Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, de même que la simplicité et la sécurité d'exploitation comparativement aux méthodes chimiques.

## 5. Traitements des boues

Une station d'épuration produit 2 litres de boues résiduaire par habitant et par jour.

Les boues récupérées lors de la décantation, le traitement biologique et la clarification doivent être traitées.

##### a. Définition de la boue :

Boue de station d'épuration désigne l'ensemble des résidus de l'activité biologique des microorganismes vivant dans les stations d'épuration, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites. Elles sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique.

## **b. Types des boues:**

### **b.1. Les boues primaires :**

Ceux sont des dépôts proviennent du traitement primaire des eaux usées, par décantation.

### **b.2. Les boues physico-chimiques :**

Proviennent de la décantation après traitement avec des réactifs chimiques (agents flocculants).

### **b.3. Les boues biologiques :**

Proviennent d'une épuration biologique des eaux usées, composées d'agrégats de micro floccs bactériens.



**Figure11-photo de récupération des boues épaissies**

## **c. La composition des boues**

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type d'épuration et du conditionnement pratiqué dans la station d'épuration.

En général, trois sortes d'éléments sont présentes dans les boues :

- ✓ Des éléments fertilisants.
- ✓ Des éléments indésirables (contaminants chimiques inorganiques et organiques)
- ✓ Des micro-organismes pathogènes.

### **c.1. Eléments fertilisants :**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, phosphore, magnésium, calcium et en soufre, elles peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium.

Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

### **c.2. Eléments indésirables**

Les éléments indésirables contenus dans les boues peuvent avoir différentes natures et compositions, parmi ces éléments on y trouve :



### **c.2.1-Des éléments traces minéraux :**

Constitués en majorité par des métaux, certains de ces éléments occupent une place essentielle à faibles concentrations dans l'organisme (oligo-éléments), mais deviennent généralement toxiques au-delà d'un certain seuil.

### **c.2.2-Des micropolluants organiques :**

A savoir les substances les plus fréquemment considérées sont HPA (Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques) et les PCB (Polychlorobiphényles) car ils sont particulièrement persistants.

Dans cette catégorie on y trouve d'autres composés tels que les pesticides, les résidus de médicaments, les palatales, les nitrates, etc.

### **c.3-Des micro-organismes pathogènes :**

Tels que les virus, les bactéries, les protozoaires, les parasites, et les champignons. Ils sont notamment présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et donc inévitablement présents dans les boues brutes.

#### **d. Techniques de traitements des boues :**

Quel que soit le mode d'épuration des eaux, les boues sont initialement constituées d'eau, de matière organique fraîche très fermentescible, et des matières minérales dissoutes ou insolubles. Selon le but de leur utilisation, des traitements complémentaires sont appliqués pour :

- ✓ Réduire leur teneur en eau et leur volume et d'éviter la putréfaction de la matière organique facilement décomposable.
- ✓ Stabiliser la matière organique en diminuant sa fermentescible.
- ✓ Pour les hygiéniser, si nécessaire détruire les micro-organismes pathogènes.

#### **e. Procédés de réduction de la teneur en eau :**

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide.

#### **e.1. L'épaississement :**

L'épaississement est la première étape du traitement par concentration, il réduit le volume à transférer sur la filière et permet d'obtenir une boue dont la concentration varie de 15 à 100 g/l, elle peut être donc pompée. L'épaississement peut être statique ou dynamique.

##### **e.1.1. L'épaississement statique gravitaire :**

Il s'effectue par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la pesanteur, la boue épaissie est évacuée par le bas.

##### **e.1.2. L'épaississement dynamique :**

Il est réalisé sous l'action de forces mécaniques, et s'effectue selon différentes méthodes.

**e.1.2.1. Par flottation :** de fines bulles d'air permettent à la boue de remonter en surface, par captation ce procédé est principalement réservé aux boues biologiques de faible densité.

**e.1.2.2. Par égouttage :** la boue floculée est épaissie par égouttage sur une toile filtrante.

**e.1.2.3. Par centrifugation :** la boue floculée est épaissie sous l'effet de la force centrifuge.

## **e.2. Stabilisation :**

La stabilisation des boues est la réduction des matières organiques ainsi que le volume.

Le pouvoir fermentescible des boues (odeur) issues de l'épuration biologique, mais aussi à les pasteuriser afin d'éliminer les germes bactériens (hygiénisation) pour pouvoir les valoriser.

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, boues secondaires ou à l'ensemble des boues.

La stabilisation peut se faire :

- ✓ **En présence d'air :** c'est la digestion aérobie.
- ✓ **En absence d'air :** c'est la digestion anaérobie.
- ✓ **Par adjonction de chaux :** c'est la stabilisation chimique

### **e.2.1. Stabilisation biologique :**

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles.

La stabilisation biologique se fait soit par :

#### **e.2.1.1-Voie aérobie (présence d'oxygène) :**

Dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à une teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable.

Le taux de réduction de la matière organique varie entre 20 et 35%.

##### ▪ **Le compostage :**

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie, il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage, les boues n'étant pas auto-composables.

Les boues compostées ont un aspect de terreau et présentent une structure solide, elles sont stables, on constate actuellement un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets.

Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues.

##### ▪ **Voie anaérobie (absence d'oxygène) :**

La méthanisation ou digestion anaérobie est un procédé naturel de transformation de la matière organique en hydrocarbure par des bactéries en l'absence d'oxygène.

Conduite dans des enceintes confinées (digesteurs) à l'intérieur desquelles les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées, elle produit du biogaz composé majoritairement de méthane, tout en réduisant de moitié le taux de matières organiques de nombreux déchets ou sous-produits biodégradables.

Le résidu de la digestion (ou digestat) est stable, désodorisé, débarrassé en majeure partie des germes pathogènes.

En effet, la méthanisation comporte les avantages suivants :

- ✓ Réduit de 40 % en moyenne les quantités des boues à traiter.
- ✓ Élimine fortement les nuisances olfactives.
- ✓ Produit un digestat stabilisé, débarrassé en grande partie des germes pathogènes (bactéries mais aussi virus et parasites)

En sortie des décanteurs et des clarificateurs, les boues sont introduites dans les digesteurs, elles y séjournent pendant 3 à 4 semaines.

Les digesteurs sont des enceintes fermées, privées d'oxygène, ils sont maintenus à une température de 37 ou 55 °C et brassés pour maintenir des conditions favorables au développement de micro-organismes [6].

Plusieurs populations bactériennes vont se développer et transformer des substrats organiques, complexes à longue chaîne carbonée en molécules simples à un seul carbone : méthane (CH<sub>4</sub>) et dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), il y a ainsi production de biogaz.

## ▪ **La stabilisation chimique :**

### **1. Le chaulage :**

Le chaulage bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30%), élevant le pH au-delà de 12.

La chaux utilisée peut se présenter sous deux formes différentes : Chaux vive (CAO) ou Chaux éteinte (Ca(OH)<sub>2</sub>).

Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique lors de la valorisation de la boue. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues.

### **2. La stabilisation aux nitrites :**

La stabilisation aux nitrites étant réalisée sur une boue épaissie, les nuisances olfactives sont éliminées dès le début de la filière.

La boue peut ensuite être stockée plusieurs mois, sans dégager d'odeurs, cette technique permet de stabiliser la boue, mais de l'hygiéniser de façon plus ou moins importante.

### **3. Le séchage thermique :**

Il permet une élimination quasi-totale de l'eau, les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés, mais en raison du coût énergétique, ce procédé reste peu utilisé. Deux grands procédés de séchages sont couramment utilisés :

- ✓ **Le séchage direct :** la boue est séchée par contact avec un gaz chaud.
- ✓ **Le séchage indirect :** la boue est séchée par contact avec une paroi chauffée par un fluide.

✓

### ▪ **La déshydratation :**

La déshydratation constitue l'étape de réduction du volume des boues, elle correspond en fait, à une forte augmentation de la siccité (30 à 40 % de matière sèche), et modifier l'état physique des boues, celles-ci passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Généralement, une boue est jugée apte à être déshydratée lorsque sa concentration est au minimum de 15 g/l.



✓ **Séchage par des procédés mécaniques (déshydratation mécaniques) :**

On distingue deux modes de déshydratation mécanique:

✓ **La déshydratation sur décanteuse centrifuge :**

L'eau est séparée de la boue sous l'effet d'une accélération de plusieurs milliers de gramme en termes de siccité, cette technique permet généralement d'obtenir de meilleures performances que le filtre à bandes.

✓ **La déshydratation par filtration :**

Il existe deux techniques :

- **Sur filtre à bande :** la boue flocculée est déshydratée par compression et cisaillement entre deux toiles.
  
- **Sur filtre à plateau :** la boue conditionnée est déshydratée par compression entre deux plateaux.

▪ **Séchage sur lit :**

La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine l'évaporation naturelle et le drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable ou de graviers.

Ce système extensif donne des boues solides de 35 à 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

**Destination finale des boues :**

Pour la destination finale des boues déshydratées, on pourra (en fonction des propriétés intrinsèques des boues, possibilités locales d'élimination et de considérations technico-économiques) envisager.

- ✓ Valorisation agricole
- ✓ Incinération
- ✓ Valorisation énergétique

### 1. Dimensionnement :

#### ▪ L'épaississement

Il reçoit les boues issues du décanteur primaire et secondaire.

La production journalière des boues est de :

#### ✓ **Boues issues du décanteur primaire**

Boues primaires :

$$\Delta X_p = \text{DBO}_{5e} + \text{MES}_e \quad (19)$$

#### ✓ **Boues issues du décanteur secondaire**

Boues secondaire : ( $\Delta X_s$  : représente les boues en excès)

#### ✓ **Quantité totale journalière des boues sera :**

$$\Delta X_T = \Delta X_p + \Delta X_s \quad (20)$$

#### ✓ **Concentration des boues**

A l'entrée de l'épaississeur les boues fraîches ont les concentrations moyennes suivantes :

- $20 \leq \text{Boues primaires} \leq 30$  (g/l)
- $10 \leq \text{Boues secondaires} \leq 30$  (g/l)
- ✓ **Calcul du débit journalier reçu par l'épaississeur**

Calcul du débit journalier de boues entrant dans l'épaississeur :

#### 1. Débit arrivant du décanteur primaire :

$$Q_1 = \frac{\Delta X_p}{s_1} \quad (21)$$

$\Delta X_p$ : quantité issues du décanteur primaire

$S_1$ : concentration des boues

#### 2. Débit arrivant du décanteur secondaire

$$Q_2 = \frac{\Delta X_s}{s_2} \quad (22)$$

$\Delta X_s$ : quantité issues du décanteur secondaire

$S_2$ : concentration des boues

#### 3. Débit total :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (23)$$

#### 4. Concentration du mélange :

$$S = \frac{\Delta X_T}{Q_T} \quad (24)$$

## 5. Volume de l'épaisseur :

$T_s$  : temps de séjours

$$V = Q_T * T_s \quad (25)$$

Supposons que l'épaisseur est de forme cylindro-conique ayant une pente de  $20^\circ$  avec l'horizontale.

## 6. Surface horizontale :

Pour une profondeur de  $H=X$

D'où :

$H$  : hauteur =  $X$  (hors cône)

Hauteur boue =  $Y$

Hauteur d'eau claire =  $X-Y$

On calcule la surface horizontale :

$$S_h = \frac{V}{H} \quad (26)$$

## 7. Diamètre :

$$S_h = \frac{\pi D^2}{4} \quad (27)$$

$$D = \sqrt{\frac{4S_h}{\pi}} \quad (28)$$

## 8. Hauteur du cône :

La hauteur du cône de l'épaisseur sera définie par :

$$H = \frac{R}{\text{tg} \alpha'} \quad (29)$$

$R$  : rayon du cylindro-conique

$\alpha'$  : angle  $90-\alpha$

$$H = \frac{D}{2\text{tg} \alpha} \quad (30)$$

$\alpha$  :  $20^\circ$

## 9. Volume du cône :

$$\text{Volume du cône} = V' = \frac{S_h * H_{conz}}{3} \quad (31)$$

La concentration des boues à l'extraction  $C_{be}$  varie entre 25 et 30  $\text{Kg/m}^3$

- ✓ Quantité des boues à extraire sera :  $C_{be}$

$$Q_b = \frac{\Delta X_t}{C_{be}} \quad (32)$$

- Digesteur aérobie

Le but de la stabilisation est d'éliminer dans la phase de respiration endogène 45% de MVS contenues dans les boues.

L'oxygénation est assurée par des aérateurs de surface ou insufflation d'air pour maintenir une concentration d'oxygène au moins égale à 2mg /l.

- Quantité de MVS contenue dans les boues

$$MVS = MES - MMS \quad (33)$$

- Quantité de MVS à la sortie du bassin de stabilisation

$$MVS_s = MVS - 45\%MVS \quad (34)$$

- Boues en excès dans le stabilisateur

En admettant que les matières minérales sont entièrement conservées, on doit extraire tous les jours.

$$Q_{excès} = MVS + MVS_s \quad (35)$$

- Volume du bassin de stabilisation

$$V = \frac{M_B}{q_B} \quad (36)$$

$q_B$  : la concentration ;

$M_B$  : la masse de boue à maintenir dans le stabilisateur

$$\text{Avec : } M_B = Q_{excès} * T \quad (37)$$

$T$  : temps de stabilisation :  $T = \left( \frac{MES}{MM} \right) * t \quad (38)$

- Surface horizontale

Dans ce cas on prend la hauteur du bassin de stabilisation  $H'$

$$S_h = \frac{V}{H'} \quad (39)$$

- Longueur de bassin :

$$L = 2l \Rightarrow l = \frac{L}{2} \quad (40)$$

$$L = \sqrt{2S_h} \quad (41)$$

- Largeur de bassin :

$$L = 2l \Rightarrow l = \frac{L}{2} \quad (42)$$

- **Lits de séchage**

Les boues épaissies sont épandues sur des lits pour y être déshydratées naturellement. Les lits sont formés d'aires délimitées par des murettes. Ils sont constitués d'une couche de sable disposée sur une couche support de gravier. Les drains, disposés sous la couche support, recueillent les eaux d'égouttage pour les ramener en tête de station. L'épaisseur maximale (H) de boues à admettre sur les lits de séchage est 50 cm.

Les opérations successives de remplissage d'un lit doivent être faites à intervalles rapprochés, soit 2 à 3 jours.

La durée de séchage est de 4 à 6 semaines suivant les climats et les saisons. Une largeur (b) optimum de 8 m et une longueur (L) de 20 à 30 m est conseillée si le lit n'est alimenté qu'en un seul point.

D'où le volume de boues épandues sur chaque lit :

$$V = b * L * H \quad (43)$$

Le séchage des boues se fera quotidiennement avec une période de latence correspondant à la période d'enlèvement des boues séchées et de nettoyage des lits. Le volume des boues à extraire quotidiennement V est celui qui correspond à la quantité des boues à extraire qui est :

$$Q_f = MVS \text{ (sortie)} \quad (44)$$

Plus la quantité de boues fraîches à la sortie des décanteurs primaire : Q

La concentration des boues du stabilisateur  $C_{bs}$

$$V_1 = \frac{Q_f + Q}{C_{bs}} \quad (45)$$

- **Nombre de lit nécessaire à chaque épandage :**

$$n \geq \frac{V_1}{V} \quad (46)$$

- **Volume des boues épandues par lit et par an**

Il est généralement admis que chaque lit sert  $n'$  fois par an :

$$V_2 = n' * V \quad (47)$$

- **Volume des boues à sécher par an :**

$$V_{Ba} = V_1 * 365 \quad (49)$$

- **Nombre de lit nécessaire :**

$$N \geq \frac{V_{Ba}}{V_2} \quad (50)$$

- **Surface nécessaire :**

$$S = S_0 * N \quad (51)$$

Ou :  $S_0$  : surface d'un lit de séchage  $S_0 = L * b \quad (52)$

### III.8. Désinfection

#### 1. Principe

La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé. La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont: le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques: ébullition, ultrasons, ultra-violetts ou rayons gamma.

Les maladies d'infection causées par les bactéries pathogènes, les virus, les parasites protozoaires sont parmi les plus courantes et étendent les risques sanitaires de l'eau potable. Les personnes sont contaminées par ces microorganismes à travers l'eau potable contaminée, les aérosols et les lavages ou les bains.

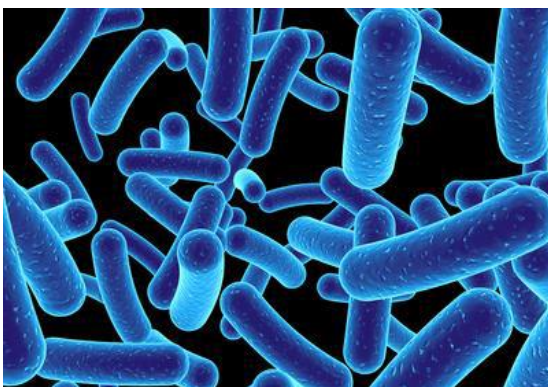


Figure 12-Bactérie Legionella



Figure 13-Bactérie d'E. Coli

La désinfection est l'étape ultime du traitement des de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banales, car la désinfection n'est la stérilisation (stérilisation = destruction de tous les germes présents dans un milieu).

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banales moins résistant.

C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevée pour éviter les reviviscences bactériennes.

### **VIII.8.1. Différents modes de désinfection**

Tous les procédés et les produits de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.) et sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit:

- a) Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux;
- b) Être toxique, à de faibles concentrations, pour les microorganismes;
- c) Être soluble dans l'eau;
- d) Former avec l'eau une solution homogène;
- e) Être efficaces aux températures normales de l'eau de consommation (0 à 25°C).
- f) Être stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps;
- g) Ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des microorganismes;
- h) Ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive;
- i) Éliminer les odeurs;
- j) Exister en grande quantité et être vendu à un prix abordable;
- k) Être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs;
- l) Permettre une mesure aisée de sa concentration.

La désinfection à l'aide de chlore représente 80% de la désinfection dans le monde, car ce désinfectant présente plusieurs désavantages énoncés ci-dessus. Cependant, l'addition de ce produit peut entraîner des effets secondaires indésirables qui, dans certains cas, obligent à utiliser d'autres désinfectants. Ainsi, le chlore réagit avec la matière organique de l'eau, ce qui peut parfois entraîner la formation de substances cancérigènes (trihalométhane) ou d'odeurs désagréables (chlorophénols). Par ailleurs, le chlore n'est pas suffisamment puissant pour éliminer complètement certains microorganismes très résistants comme les virus et les protozoaires. Afin de pallier ces carences, on utilise le dioxyde de chlore ou l'ozone. Ces désinfectants, beaucoup plus puissants que le chlore, ont toutefois l'inconvénient d'être instables.

### **III.8.2. Facteurs fondamentaux de la désinfection :**

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration de désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, type de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration de matières organiques dans l'eau. Il n'existe actuellement aucune loi mathématique connue qui permette de calculer le taux de destruction des microorganismes en

fonction de ces variables. Cependant, sur la base de mesures effectuées en laboratoire, on peut énoncer certaines règles particulières.

### III.8.3. Les différents Désinfectants

La désinfection de l'eau peut être réalisée à partir de plusieurs désinfectants. Les plus utilisés sont :

- Le chlore,  $Cl_2$
- L'hypochlorite de sodium, NaOCl
- Le dioxyde de chlore,  $ClO_2$
- Les chloramines,  $NH_2Cl$
- Peroxyde d'hydrogène,  $H_2O_2$
- Ionisation cuivre/argent.
- Autres désinfectants incluant l'ozone et les UV.

#### a. LE CHLORE

Le chlore est l'un des désinfectants les plus utilisés. Il est facilement applicable et très efficace contre la désactivation des microorganismes pathogènes. Le chlore peut-être facilement appliqué, mesuré et contrôlé. Il est assez persistant et relativement bon marché. Le chlore a été utilisé pour des applications telles que la désactivation des organismes pathogènes dans l'eau destinée à la consommation, dans les piscines, et dans les eaux usées, pour la désinfection dans le ménage des maisons ou pour le blanchissement des textiles.

Le chlore tue les organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus en cassant les liaisons chimiques de leurs molécules. Les désinfectants qui sont utilisés à cette fin sont des composés de chlore qui peuvent échanger des atomes avec d'autres composés, tels que des enzymes dans les bactéries et autres cellules [7].

#### - Dosage de chlore

Quand on dose le chlore on doit prendre en compte le fait que le chlore réagit avec des composés dans l'eau. La dose doit être assez importante pour qu'une quantité significative de chlore reste dans l'eau et permette la désinfection. La demande en chlore est déterminée par la quantité de matière organique dans l'eau, du pH, le temps de contact et la température. Le chlore réagit avec la matière organique pour donner des sous-produits de désinfection, tels que les trihalométhanes et les acides acétiques halogénés.

Le chlore peut être ajouté pour la désinfection de différentes manières. Quand une chloration ordinaire est appliquée, le chlore est simplement ajouté à l'eau et aucun traitement antérieur n'est nécessaire.

Une pré ou une post-chloration peuvent être effectuées en ajoutant du chlore à l'eau avant ou après d'autres étapes de traitement. Rechloration signifie l'addition de chlore à l'eau traitée dans un ou plusieurs points du système de distribution afin de préserver la désinfection.

Pour tuer des bactéries peu de chlore est nécessaire ; environ 0,2-0,4mg/l. Les concentrations en chlore ajoutées à l'eau sont habituellement plus hautes, en raison de la demande en chlore de l'eau.



- **Efficacité du chlore?**

Les facteurs qui déterminent l'efficacité de la désinfection au chlore sont les suivants: concentrations en chlore, temps de contact, température, pH, nombre et types de micro-organismes, concentrations en matière organique dans l'eau.

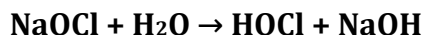
**Tableau2 : temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de 1 mg/l (1 ppm) alors que pH = 7,5 et T=25°C.**

<b>E. coli bacterium</b>	<b>&lt; 1 minute</b>
Hepatitis A virus	Environ 16 minutes
<b>Giardia parasite</b>	<b>Environ 45 minutes</b>
Cryptosporidium	Environ 9600 minutes (6-7 jours)

**b.Hypochlorite de sodium *NaOCl***

L'hypochlorite de sodium est un composé qui peut être utilisé efficacement dans le cadre de la purification de l'eau. Il est utilisé pour de nombreuses applications telles que la purification de surface, le blanchiment, l'élimination d'odeurs et la désinfection de l'eau. La compagnie Javel introduisit ce produit et le baptisa 'liqueur de Javel'

En additionnant de l'hypochlorite à l'eau, de l'acide hypochlorite (HOCl) est formé:



L'acide hypochlorite est divisé en acide chlorhydrique et en oxygène.

L'atome d'oxygène est un oxydant très puissant. L'hypochlorite de sodium est efficace contre les bactéries, les virus et les champignons. L'hypochlorite de sodium désinfecte de la même manière que le chlore le fait.

- **Avantages**

- ✓ L'hypochlorite de sodium comme désinfectant a les avantages suivants:
- ✓ Il peut être facilement transporté et stocké lorsqu'il est produit sur site.
- ✓ Son dosage est simple.
- ✓ Le transport et le dosage de l'hypochlorite de sodium est sûr.
- ✓ L'hypochlorite de sodium est aussi efficace que le chlore gazeux pour la désinfection.
- ✓ L'hypochlorite de sodium produit des désinfectants résiduels

- **Inconvénients**

- ✓ L'hypochlorite de sodium est une substance dangereuse et corrosive.
- ✓ Lorsque l'on travaille avec de l'hypochlorite de sodium des mesures de sécurité doivent être prises pour protéger les travailleurs et leur environnement.
- ✓ L'hypochlorite de sodium ne devrait pas rester en contact avec l'air, car cela peut provoquer sa désintégration.

- ✓ L'hypochlorite de sodium et le chlore ne désactivent pas les Giardia Lambia et Cryptosporidium

### c. Dioxyde de chlore

Le traitement de l'eau potable est la principale application de désinfection du dioxyde de chlore. Grâce à ses facultés de biocide, le dioxyde de chlore est aussi utilisé dans la désinfection des eaux d'égouts, les procédés industriels de traitement de l'eau, la désinfection de l'eau des tours de refroidissement, le traitement de l'air industriel, production et traitement de produits alimentaires, l'oxydation des rejets industriels et la stérilisation de gaz d'équipement médical.

Les substances organiques naturelles des cellules des bactéries réagissent avec le dioxyde de chlore entraînant l'interruption de plusieurs processus cellulaires. Le dioxyde de chlore réagit directement avec les acides aminés et l'ARN des cellules. Le dioxyde de chlore affecte la membrane des cellules en changeant les protéines et les corps gras de membrane et en empêchant l'inhalation.

Lorsqu'on élimine les bactéries, le dioxyde de chlore pénètre dans la paroi des cellules. Les virus sont éliminés de différentes manières ; le dioxyde de chlore réagit avec la peptone, une substance hydrosoluble qui provient de l'hydrolyse des protéines aux acides aminés. Le dioxyde de chlore tue les virus en empêchant la formation des protéines. Le dioxyde de chlore est plus efficace contre les virus que le chlore ou l'ozone.

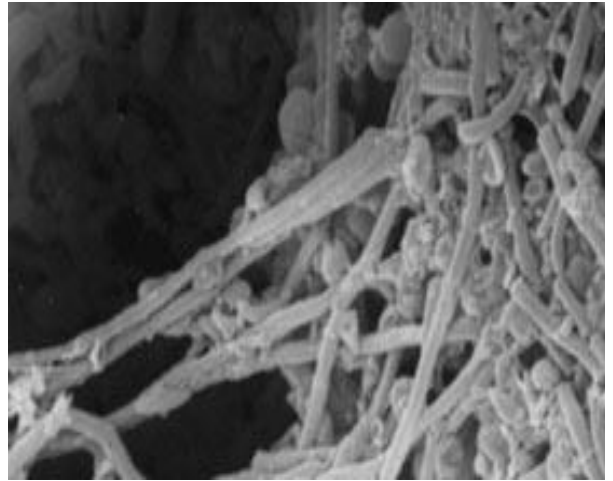
Pour le traitement de l'eau potable, le dioxyde de chlore peut être utilisé à la fois comme désinfectant et comme agent d'oxydation. Il peut être utilisé pour les étapes de pré-oxydation et de post-oxydation. En ajoutant du dioxyde de chlore dans l'étape de pré-oxydation du traitement des eaux de surface, le développement des algues et des bactéries peut être évité. Le dioxyde de chlore oxyde les particules flottantes et a un effet bénéfique sur le procédé de coagulation et l'élimination de la turbidité de l'eau.



**Figure 14-Installations au dioxyde de chlore dans le traitement de**

Le dioxyde de chlore est un puissant désinfectant contre les bactéries et les virus. Dans l'eau, le dioxyde de chlore est actif en tant que biocide pour au moins 48 heures.

Le dioxyde de chlore empêche la croissance des bactéries dans le réseau de distribution de l'eau potable. C'est aussi un agent actif contre la formation de biofilm dans le réseau de distribution. Un biofilm est souvent très dure à défaire. Il forme une couche protectrice sur les microorganismes pathogènes.



La plupart des désinfectants ne peuvent atteindre les microorganismes protégés. Cependant, le dioxyde de chlore élimine les biofilms et tue les microorganismes pathogènes. Le dioxyde de chlore empêche aussi la formation de biofilm parce qu'il reste actif dans le système pendant un long moment.

#### **d. Les chloramines $\text{NH}_2\text{Cl}$**

Les chloramines comme le chlore sont des agents oxydants. Les chloramines peuvent tuer les bactéries par pénétration de la cellule et blocage du métabolisme. Les chloramines primaires sont les plus efficaces en tant que désinfectant. Elles réagissent directement avec les aminoacides présents dans l'ADN. Pendant la désactivation des microorganismes, les chloramines détruisent les cellules qui protègent les virus. Lorsque la valeur du pH est supérieure ou égale à 7, les chloramines primaires sont les chloramines présents en majorité. La valeur du pH n'influence pas l'efficacité des chloramines.

Les chloramines restent actives plus longtemps dans les canalisations. Cela provient du fait qu'il faut un long moment avant de pouvoir les casser.

Les chloramines ne provoquent pas de goûts ou d'odeurs désagréables et sont relativement inoffensifs.

##### **- Les avantages**

- ✓ Peu de sous-produits créés par la désinfection-
- ✓ Les chloramines restent actives pendant de longues périodes
- ✓ Les chloramines améliorent le goût et l'odeur de l'eau
- ✓ La désinfection par les chloramines peut être améliorée en augmentant la température.

##### **- Les Inconvénients**

- ✓ Lorsque des grandes quantités de matières organiques sont présentes dans l'eau, l'azote organique permet la formation de chloramines organiques.
- ✓ Le principal désavantage des chloramines est qu'ils sont moins réactifs que le chlore pour l'élimination des microorganismes pathogènes.
- ✓ Des quantités importantes d'ammoniac servent de nutriments pour les bactéries dans l'eau, ce qui peut causer des niveaux en nitrate trop importants dans l'eau.

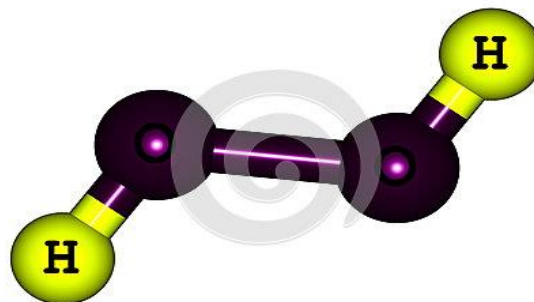
- ✓ Lorsque les chloramines sont éliminées chimiquement, de l'ammoniac peut persister dans certains cas, et ainsi provoquer la corrosion.

### **e. Peroxyde d'hydrogène $H_2O_2$**

Le peroxyde d'hydrogène est un composé polyvalent, il peut être utilisé pour beaucoup d'applications. Il peut aussi bien être utilisé pour l'air que pour l'eau, l'eau usée ou le sol. Il est parfois combiné avec d'autres agents, pour améliorer et accélérer les procédés. Le peroxyde d'hydrogène est plus communément utilisé pour éliminer les polluants de l'eau et de l'air.

Il est connu pour son importante capacité d'oxydation et son efficacité en tant que biocide. Le peroxyde d'hydrogène n'a pas souvent été utilisé pour la désinfection de l'eau destinée à la consommation, mais sa popularité semble croître.

Il est souvent combiné à un traitement par l'ozone, l'argent, ou les UV.



#### **- Avantages**

- ✓ Contrairement aux autres substances chimiques, le peroxyde d'hydrogène ne produit pas de résidus ou de gaz. La sûreté de son application dépend de la concentration mise en jeu, car le peroxyde d'hydrogène est complètement soluble dans l'eau.

#### **- Inconvénients**

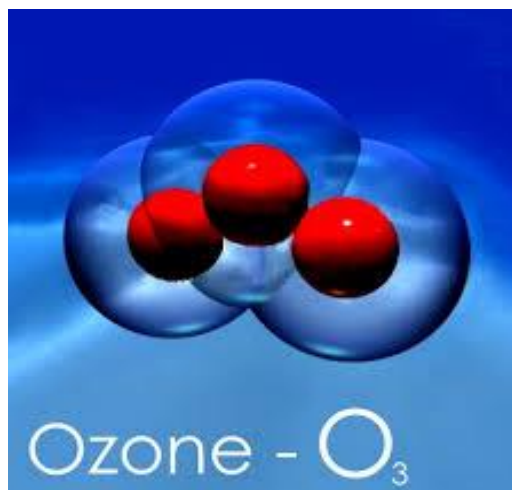
- ✓ Pour des désinfections au peroxyde d'hydrogène, des concentrations très importantes sont requises.
- ✓ Le peroxyde d'hydrogène se décompose lentement en eau et en oxygène. Une élévation de la température et la présence de pollution peuvent accélérer le procédé.
- ✓ L'efficacité du peroxyde d'hydrogène dépend de plusieurs facteurs, tels que le pH, les catalyseurs, la température, la concentration en peroxyde et le temps de réaction.
- ✓ La plupart des gens connaissent le peroxyde d'hydrogène en tant que composé utilisé pour le blanchissement des cheveux

### **f. L'ozone $O_3$**

L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique. Puisque l'ozone se décompose rapidement en oxygène, on doit le produire immédiatement avant son utilisation, grâce à l'émission d'un effluve électrique sous haute tension dans une atmosphère contenant de l'air sec. Dans la production de l'ozone, les coûts imputables à l'énergie électrique utilisée et à l'entretien sont très importants.

Le pouvoir désinfectant de l'ozone est de 10 à 100 fois supérieur à celui du chlore, et ce pour tous les types de microorganismes. Il est même efficace contre les spores et les kystes, qui sont pourtant les microorganismes les plus résistants.

Etant donné le faible nombre d'études effectuées à ce sujet, on connaît mal le comportement de l'ozone en fonction des variations du pH de l'eau. Il semble cependant que le pouvoir désinfectant de l'ozone ne soit pas affecté dans la plage de pH située entre 6 et 8,5. On ne connaît pas davantage l'influence de la température sur le pouvoir désinfectant de l'ozone. Néanmoins, on sait que, à des températures élevées, l'ozone est moins stable et que le transfert de l'ozone à l'eau est plus difficile, puisque sa solubilité dans l'eau est réduite [7].



**Figure 15 :dispositif de production de l'ozone**

La quantité d'ozone qu'on doit ajouter à l'eau pour obtenir une bonne désinfection varie d'une eau à l'autre en fonction de la demande d'ozone due aux matières organiques et inorganiques oxydées par l'ozone. Tout comme pour le chlore, on suggère donc de maintenir une certaine concentration résiduelle après un temps de contact déterminé

- **Avantages :**

- ✓ Pas de dérivés dangereux contrairement au chlore;
- ✓ Ne reste pas dans l'eau, redevient de l'oxygène;
- ✓ Oxydation très complète ;
- ✓ Se décompose ou s'enlève facilement.

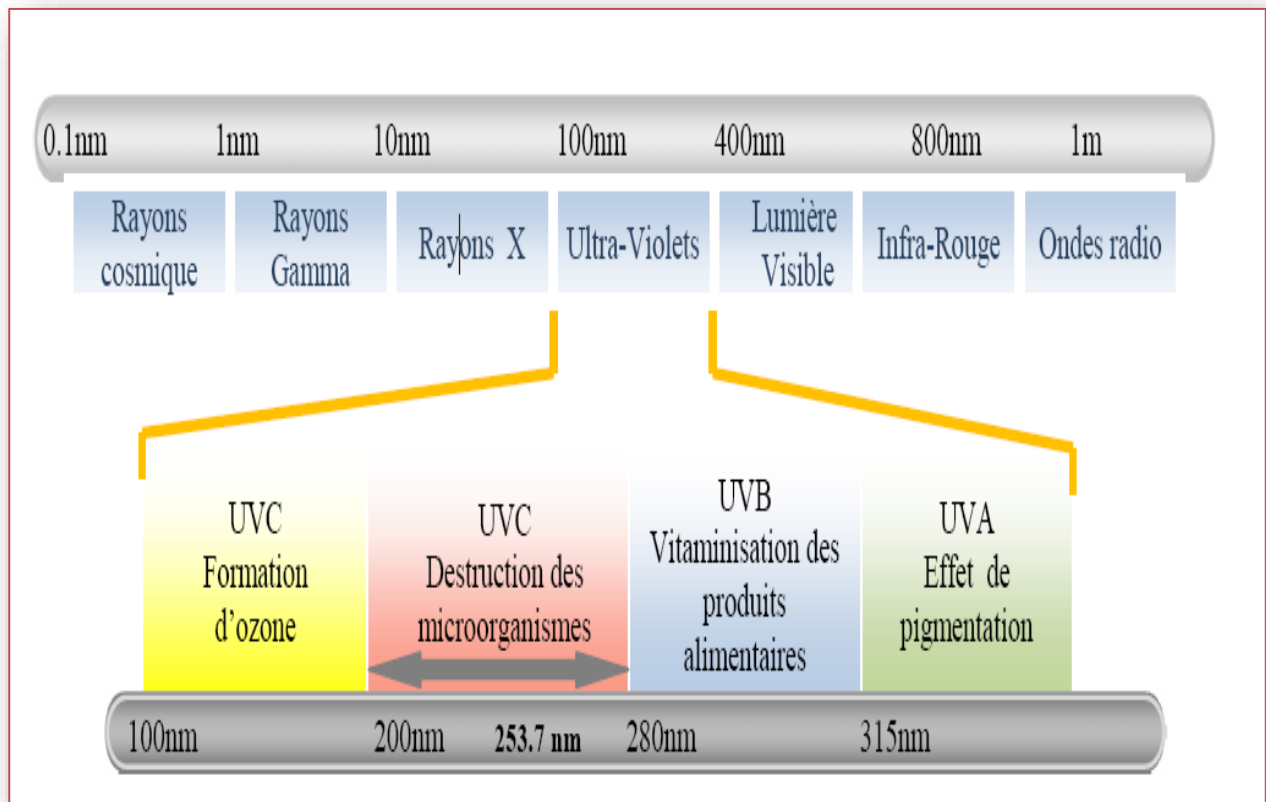
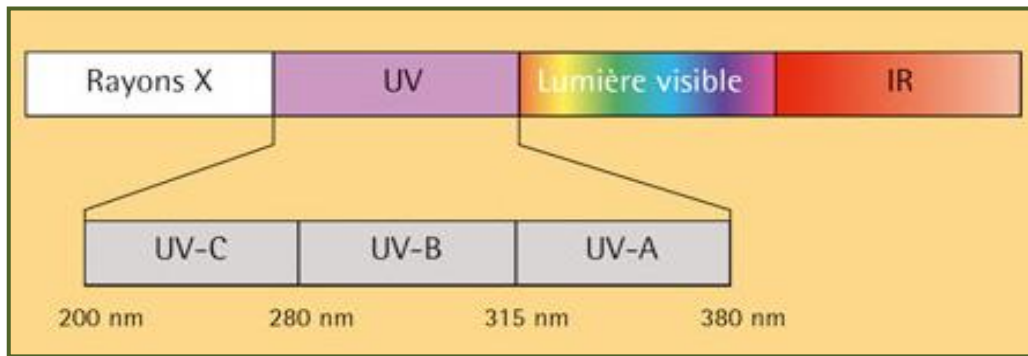
- **Inconvénients**

- ✓ Coûts d'investissement et d'exploitation plus élevée;
- ✓ Système plus complexe;
- ✓ Consommation en énergie plus élevée, puisque l'ozone est produit par décharge électrique.

**g. Les rayonnements Ultra-violet**

Durant les 100 dernières années, la science a pu identifier les effets bactéricides du rayonnement UV du spectre électromagnétique.

Les longueurs d'ondes spécifiques responsables de ces effets sont celles situées entre 240 et 280 nm, avec un pic à 253,7 nm. Ces longueurs d'ondes sont situées dans le domaine des UV-C.



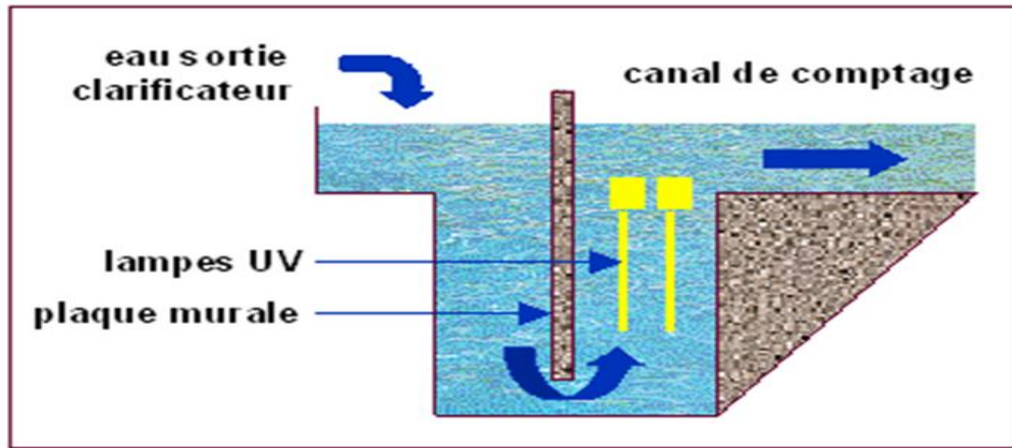
### ❑ Effet du rayonnement UV

Lorsqu'un micro-organisme est exposé à un rayonnement UV-C, le noyau de la cellule est atteint, et la duplication de l'ADN est stoppée. Les rayonnements UV ont un effet sur l'ADN, l'acide nucléique et les enzymes. Les organismes pathogènes sont donc inactivés ou détruits.

### ❑ Production d'UV-C

Les sources d'UV-C sont typiquement des tubes de type néon, contenant du quartz et de la silice, d'un diamètre allant de 15 à 25 mm pour une longueur de 100 à 1200 mm. Ce tube est rempli d'un gaz chargé de vapeur de mercure. Les lampes basses pression sont seulement capables de produire 2 raies, à 185 et 254 nm. Une augmentation de la tension d'alimentation provoque rapidement un échauffement de la lampe; entraînant ainsi une augmentation de la pression dans la lampe. On obtient ainsi un spectre typique moyenne pression.





### ❑ Dose d'exposition

La dose d'exposition s'exprime par le produit de l'intensité du rayonnement (énergie par unité de surface) par le temps d'exposition.  $Dose = I * T$

Avec:

- ✓ I: l'intensité du rayonnement
- ✓ T: le temps d'exposition
- ✓ L'unité couramment utilisée est le  $mJ/cm^2$ , équivalent à  $1000 \mu Ws/cm^2$ .

### ❑ Relation dose d'exposition/ effets destructifs

La relation entre la dose d'exposition et l'effet destructif sur un type de micro-organisme visé est donnée par la formule suivante :

$$N/N_0 = e^{-KD} \quad (53)$$

Où : N = Nombre de micro-organismes après traitement  $N_0$  = Nombre initial de micro-organismes visés K = Constante associée au type de micro-organisme D = Dose

La relation ci-dessus indique donc que doubler la dose d'exposition multiplie l'effet destructif par 10. Pour augmenter l'effet destructif de 90 à 99%, il faut donc doubler la dose. Pour passer à 99,9 % il faudra la tripler, etc.

#### - Avantages :

- ✓ Destruction immédiate et sûre des germes sans apport de produits chimiques;
- ✓ Dégradation des substances indésirables par photochimie;
- ✓ Pas d'odeur ni de goût désagréables de l'eau;
- ✓ Action très rapide;
- ✓ Coûts d'investissement et d'exploitation réduits, fiabilité et performance élevées.

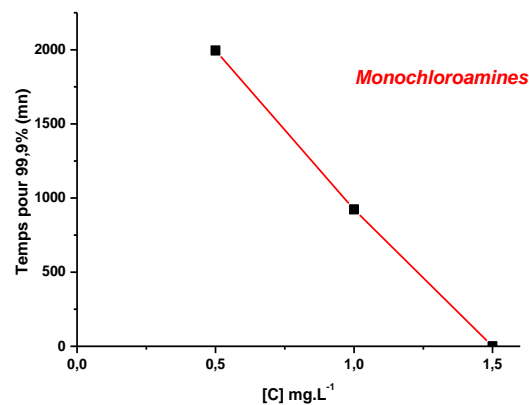
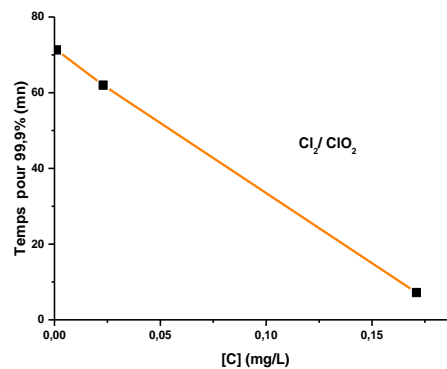
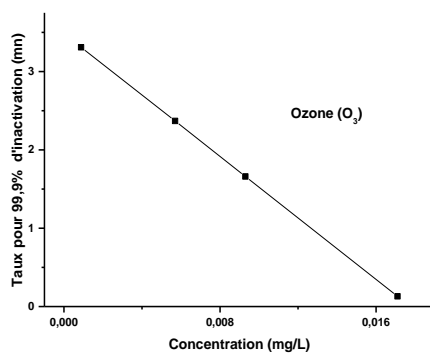
#### - Inconvénients :

- ✓ Pas d'effet rémanent (mise en place d'une poste-oxydation);
- ✓ Encrassement des tubes (influence de la turbidité et de la dureté );
- ✓ Vieillessement des lampes.

### III.8.4. Conditions d'applications des différents réactifs utilisés

Une bonne désinfection via les réactifs oxydants demande la combinaison d'une concentration résiduelle  $C$  avec un temps de contact  $T$ ; c'est le facteur  $C.T$  :  $C \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} \times T \text{ (mn)} = C.T \text{ (mg.mn.L}^{-1}\text{)}$

Cette valeur varie avec les micro-organismes concernés, le type de désinfectant et la température. A titre d'exemple, la figure ci-dessous donne les conditions pour éliminer 99,9% d'une population d'*Escherichia coli*;



#### ▪ Critères de sélection de la méthode désinfection

On choisit un type de désinfection en tenant compte de plusieurs critères :

- ✓ Intervalle entre traitement et consommation
- ✓ Caractéristiques de l'eau en sortie
- ✓ Micro-organismes à éliminer ( $C_t$ )
- ✓ Débit de l'installation

#### ▪ Effet bactéricide et effet rémanent

La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes, correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné:



- ❑ **Effet bactéricide** : c'est la capacité de détruire des germes à une étape donnée du traitement.

**Effet rémanent** : c'est un effet du désinfectant qui se maintient dans l'eau, en particulier dans le réseau de distribution, et qui permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau jusqu'au robinet du consommateur : c'est à la fois un effet bactériostatique contre les reviviscences bactériennes et un effet bactéricide contre des pollutions faibles et ponctuelles survenant dans le réseau, en même temps qu'une prévention des développements de micro-invertébrés dont des formes de résistances ou de reproduction auraient pu traverser la station.

**Tableau3 :Effet rémanent**

Effet	O <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub>	ClO <sub>2</sub>	Chloramines	UV
Bactéricide+virulicide	+++	++	++	+	++
Kyste de protozoaire	+	0	0	0	+++
Rémanent	0	+	++	+++	0

- **Dose du chlore à injecter**

Pour agir correctement, le chlore impose d'une part que l'eau soit préalablement bien épurée et, d'autre part, qu'un temps de contact de 30 min soit respecté.

Les doses habituellement adoptées se situent entre 5 et 10 g/m<sup>3</sup> de chlore.

On utilise une dose de 10 g/m<sup>3</sup> pendant un temps de contact de 30 min.

- La dose journalière du chlore D<sub>j</sub>

$$D_j = Q_{moyj} * 0,01 \quad (54)$$

- Dimensionnement du bassin de désinfection

T<sub>s</sub> = 30 min

- ✓ Volume du bassin :

$$V = Q_{pts} * T_s \quad (55)$$

- ✓ Hauteur du bassin :

On fixe H= 3m

✓ Surface horizontale :

$$S_h = \frac{V}{H} \quad (56)$$

✓ Longueur :

Généralement la longueur est égale à deux fois la largeur :  $L = 2l$

$$S_h = L * l = L * \frac{L}{2} \quad (57)$$

$$2S_h = L^2$$

$$L = \sqrt{2S_h} \quad (58)$$

✓ Largeur :

$$L = 2l \Rightarrow l = \frac{L}{2} \quad (59)$$

### III.8.5. Elimination des Phosphates

- **Technologies existantes pour le traitement des effluents contenant le phosphore**

Cette section présente les procédés généralement employés pour le traitement d'effluents contenant du phosphore. Deux grandes catégories distinguent les méthodes de traitement pour l'enlèvement du phosphore, soit par traitement physico-chimiques ou par traitements biologiques[7].

#### 1. Traitements physico-chimiques

La filière de traitement du phosphore par voie physico-chimique consiste à transformer le phosphore dissous en espèces insolubles (précipitation) ou à le retenir sur une matrice solide (membrane, échangeur d'ions et adsorption)

##### a. Précipitation chimique

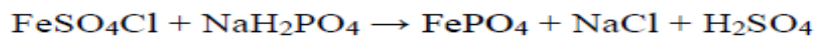
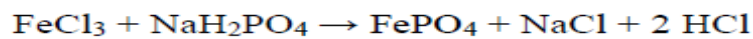
La précipitation à l'aide d'ajout de produits chimiques est le principal processus commercial pour l'élimination des phosphores dans les eaux.

L'obtention d'un précipité avec les orthophosphates s'effectue grâce à un changement de phase au contact d'éléments cationiques, tels que les ions calciums, magnésiums ou ferriques qui sont présents soit dans les eaux causant une précipitation naturelle, soit par l'ajout de réactifs à base d'aluminium (alun, chlorure d'aluminium prépolymérisé et l'alun prépolymérisé), de fer (chlorure ferrique, chlorure ferreux et le sulfate ferreux) ou de chaux permettant une précipitation forcée.

Le traitement du phosphore par précipitation chimiques peut être utilisé séparément ou en complément des techniques biologiques. Dans la chaîne de traitement des eaux usées, cette technique s'applique au niveau du traitement tertiaire.

L'alun aussi réagit dans l'eau et donne de l'hydroxyde d'aluminium qui réagit avec le phosphore soluble. Le sel  $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$  est parfois utilisé avec des effluents acides ; sa réaction avec le phosphore libère des  $\text{OH}^-$  qui tamponnent le milieu.

Les sels de fer généralement utilisés sont le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) et le chlorosulfate ferrique ( $\text{FeClSO}_4$  ou Clairtan) qui se présentent sous forme liquide. Les réactions chimiques dominantes entre les ions ferriques et les phosphates sont



### **b. Coagulation-floculation**

L'élimination des composés phosphorés par traitement chimique comprend des opérations de précipitation et/ou coagulation-floculation. Les opérations de coagulation-floculation consistent en l'ajout d'un agent coagulant qui provoque l'agglomération des colloïdes en détruisant les forces physiques et électriques qui gardent ces particules séparées les unes des autres et leurs agglomérations en particules plus grosses. Le floculant est un polymère qui emprisonne la matière colloïdale agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocons. Les agents chimiques servant de coagulants sont principalement des cations métalliques. Les sels de fer ou d'aluminium sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés. Des chercheurs ont testé l'efficacité de la précipitation chimique à la chaux et de la coagulation floculation au sulfate d'aluminium pour éliminer les phosphates.

L'alun réagit dans l'eau et donne de l'hydroxyde d'aluminium qui réagit avec le phosphore soluble. Ce procédé permet de réduire la teneur en phosphore en rendant le phosphore résiduel inaccessible, en le fixant et en le précipitant. Le pH de l'effluent à traiter est d'une importance particulière pour la précipitation de l'aluminium.

L'efficacité maximale du sulfate d'aluminium se situe aux alentours de pH 5,5-6,5). Cependant, pour une élimination plus efficace, le pH de la solution doit être légèrement supérieur pour anticiper une baisse de pH causée par un excès de sel d'aluminium. Selon (d'autres chercheurs plus le rapport molaire Al/P est élevé, meilleur est le rendement.

### **c. Filtration membranaire**

Les procédés membranaires consistent en un transfert de soluté d'une solution diluée vers une solution concentrée à travers une paroi microporeuse sous l'action d'un gradient de pression. Les types de membranes permettant d'enlever la plupart des polluants ioniques des eaux usées sont ; l'osmose inverse ou la nanofiltration Le traitement membranaire est très coûteux et n'est pas spécialement utilisé pour l'enlèvement des orthophosphates dans les eaux usées. Il est davantage utilisé dans le traitement d'eau potable. On retrouve aussi des technologies alliant les procédés des boues activées dont la séparation solide-liquide se fait à l'aide d'une membrane (microfiltration) plutôt que d'un clarificateur secondaire. Cependant, le phosphore est majoritairement enlevé par le phosphore particulaire provenant de la matière organique.

Des chercheurs ont testé l'efficacité d'élimination des phosphates par filtration membranaire.

#### **d. Échange ionique**

L'échange ionique est un procédé dans lequel les ions sont éliminés par transfert d'ions sur un matériau solide pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide. Par exemple, certaines résines dont les contre-ions de ces groupements anioniques (par exemple des ions chlorures, bicarbonates ou d'hydroxydes) sont échangés aux ions phosphate en solution, jusqu'à saturation de la résine. La résine saturée est ensuite régénérée par passage d'une solution concentrée de chlorure de sodium, de bicarbonate de sodium ou d'hydroxyde de sodium. Cette méthode est simple et efficace, mais les principaux problèmes sont que la résine échangeuse d'ions est encore assez chère en fonction des applications. Elle peut aussi augmenter la présence de chlorure dans l'eau résiduelle dans certains cas des scientifiques ont décrit une méthode pour la séparation de l'ion phosphorique. La séparation s'accomplit à l'aide de l'échangeur d'ions "Amberlite IRA-400".

La méthode est rapide et il n'y a pas introduction de cations étrangers au cours de la séparation

#### **e. Adsorption**

L'adsorption est un phénomène mettant en jeu l'affinité des surfaces d'un absorbant solide sur lequel vient se fixer, selon divers processus, un adsorbat, soit des ions, des molécules de gaz, des polymères, des micro-organismes, etc. présents dans un liquide). Il ne faudrait pas confondre avec l'absorption qui est l'incorporation d'une substance dans un état à un autre état, c'est-à-dire, un liquide absorbé par un solide ou un gaz absorbé par un liquide. Deux catégories d'adsorption sont distinguées en fonction du type d'interaction mis en jeu.

La physisorption, qui est caractérisée par des interactions interatomiques (liaison d'hydrogène), intermoléculaires (interaction de type Van Der Waals) entraînant la fixation de l'adsorbat sur l'adsorbant sans modification des structures moléculaires. Ces interactions, d'une intensité modérée, sont souvent liées aux sites actifs de la surface de l'adsorbant et cette réaction est réversible et permet une accumulation de couches.

La chimisorption est caractérisée par la formation de liaisons chimiques généralement de type covalente entre l'adsorbat et l'adsorbant qui est provoqué par des énergies de liaisons élevées diminuant la réversibilité du processus. Alors, cette interaction se produit par échange électronique entre deux atomes.

Des chercheurs ont testé l'efficacité de l'adsorption pour l'élimination des phosphates sur les argiles. D'autres ont testé l'adsorption des phosphates sur de l'hydrogel de chitosane microsphérique.

## **2. Traitement biologique**

Les procédés de déphosphatation à biomasse fixe, en suspension ou mixte font partie de la catégorie des traitements biologiques. Le phosphore, l'azote, l'oxygène et hydrogène sont les composantes essentielles à la formation de la biomasse épuratoire, tels que les bactéries et les protozoaires. Selon (Comeau et al, 1986), dans une boue traditionnelle, la teneur en phosphore est de l'ordre de 2% à 3% (m/m) par gramme de biomasse qui est exprimée en matière volatile en suspension. Dans des conditions optimales, par l'ajout de nutriments, la teneur en phosphore peut atteindre de 8 à 10% par gramme de biomasse.

Pour obtenir une biomasse en suraccumulation en phosphore, il faut placer cette dernière sous des conditions anaérobiques et aérobiques en alternance. Le schéma ci-dessous montre un procédé traitant biologiquement le phosphore par boue activée.

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans la biomasse. Le mécanisme de suraccumulation nécessite de placer la biomasse alternativement en phase anaérobie et aérobie. En phase anaérobie, les bactéries relarguent des polyphosphates dans la solution, mais dès qu'elles sont replacées en phase aérobie, elles reconstituent leurs stocks en polyphosphates,

Cette réabsorption est plus importante que ce qui avait été relargué en anaérobiose. Ainsi par succession de phases anaérobie-aérobie, le phosphore s'accumule progressivement dans ces micro-organismes jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10% de leur poids sec

### **Osmose inverse**

L'osmose inverse est une technologie membranaire largement appliquée dans la désalinisation des eaux, la production d'eau potable et, très récemment, dans le traitement des eaux usées industrielles (Bilidit 1985). Le traitement est réalisé dans un système où l'eau brute s'écoule le long de la membrane de l'osmose inverse. L'eau traitée ou perméat, accompagnée d'une faible quantité d'ions nitrate et d'autres sels dissouts, passent à travers la membrane, tandis que le concentré de nitrate est retenu et évacué séparément. Des chercheurs ont pu démontrer que l'osmose inverse pouvait être très efficace quand appliquée à la dénitrification. Ils ont ainsi pu réduire la concentration en ions nitrate d'une eau de 42,5 mg/L à 0,9 mg/L, soit un rendement d'enlèvement de 98%. Pour arriver à de tels résultats, l'eau a d'abord subi un prétraitement entre filtre à sable et addition d'acide sulfurique et d'antitartre.

### **Echange d'ions**

Le procédé par échange d'ions nécessite le passage d'une eau nitratée à travers un lit de résines, comprenant des particules solides ou matrice, sur lesquelles sont fixées des groupements anioniques de bases fortes. Les contre-ions de ces groupements anioniques (ions chlorures ou bicarbonates) sont échangés aux ions nitrate en solution, jusqu'à saturation de la résine. La résine saturée est ensuite régénérée par passage d'une solution concentrée de chlorure de sodium ou de bicarbonate de sodium. La dénitrification des eaux riches en sulfates est difficile, car le plus souvent, les résines ont plus d'affinité envers ces derniers.

Boumediène et al. (2004) ont affirmé que, pour des températures d'eau atteignant 5°C, l'échange ionique est la méthode la plus adaptée. Ils ont également démontré qu'on pouvait solutionner le problème des sulfates, en optant dès le départ pour des résines ayant plus d'affinité pour les ions nitrate que les ions sulfate, genre : Duolite A 196, Amberlite IRA 996, Purolite A520E. Ils ont ainsi expérimenté la Purolite A520E, et leurs meilleurs résultats de traitement ont été obtenus en fixant un rapport  $[NO_3^-] / [NO_3^-] + [SO_4^{2-}] = 0,19$  dans l'eau brute, correspondant à une fuite ionique en nitrate de 0,79 mg/L dans l'eau traitée. Ils ont aussi remarqué que cette fuite ionique en nitrate augmentait avec ce rapport. Chabani et al. (2006) ont aussi procédé à une dénitrification par échange d'ion en utilisant comme résine, F Amberlite IRA 400, chargée à 1,25 g/l dans des solutions d'ions nitrate de 18 mg/l au maximum, à 25°C. Ils ont ainsi pu obtenir des capacités d'adsorption maximale de 769,2 mg de  $NO_3^-$  par gramme de résine.

Terry, (2009) a, quant à elle, démontré l'efficacité de l'hydrotalcite en tant que résine dénitrifiante avant de constater le frein que pouvait constituer la présence des phosphates lors de la dénitrification. En effet, l'hydrotalcite utilisée à la charge optimale de 0,2 g/L pour une solution d'ions nitrate seuls à 25 mg/L pour un temps de contact de 20 minutes, donnait un rendement d'enlèvement de 92%. Quand elle a ajouté à trois solutions de nitrate de même concentration (25 mg/L), successivement 0,31 ; 0,61 et 6,13 mg/l d'ions phosphate, le rendement d'enlèvement des ions nitrate a chuté respectivement de 64, 32, à 24%. Ce qui démontre le caractère gênant des phosphates lors de la dénitrification utilisant l'hydrotalcite comme résine.

Avec la création de nouvelles résines hautement sélectives en ions nitrate comme la Purolite A520E, l'attrait qu'exerce l'échange d'ion s'en trouve encore accru. De plus, le problème de la régénération décrit par plusieurs chercheurs peut être solutionné avec le procédé CARTX. En effet, CARIX est un nouveau procédé d'échange d'ion qui permet de régénérer et de saturer la résine en suivant la même direction. CARIX permet d'enlever le nitrate, les sulfates et la dureté de l'eau en se basant sur les principes de l'échange d'ion. La résine saturée est régénérée par contact avec une solution concentrée de dioxyde de carbone. Un appareil pilote CARIX (0,047 m<sup>3</sup>/s) construit en Allemagne, est utilisé pour réduire les concentrations de nitrate de 90 mg/L à moins de 5,7 mg/L. La consommation en dioxyde de carbone s'élève à 0,35 Kg/m .

L'avantage de l'électrodialyse est qu'il ne nécessite pas de produits chimiques et est facile à réaliser, en plus des bons rendements d'enlèvement obtenus (supérieurs à 97 %). Son point faible est principalement lié aux coûts de maintenance des membranes de filtration

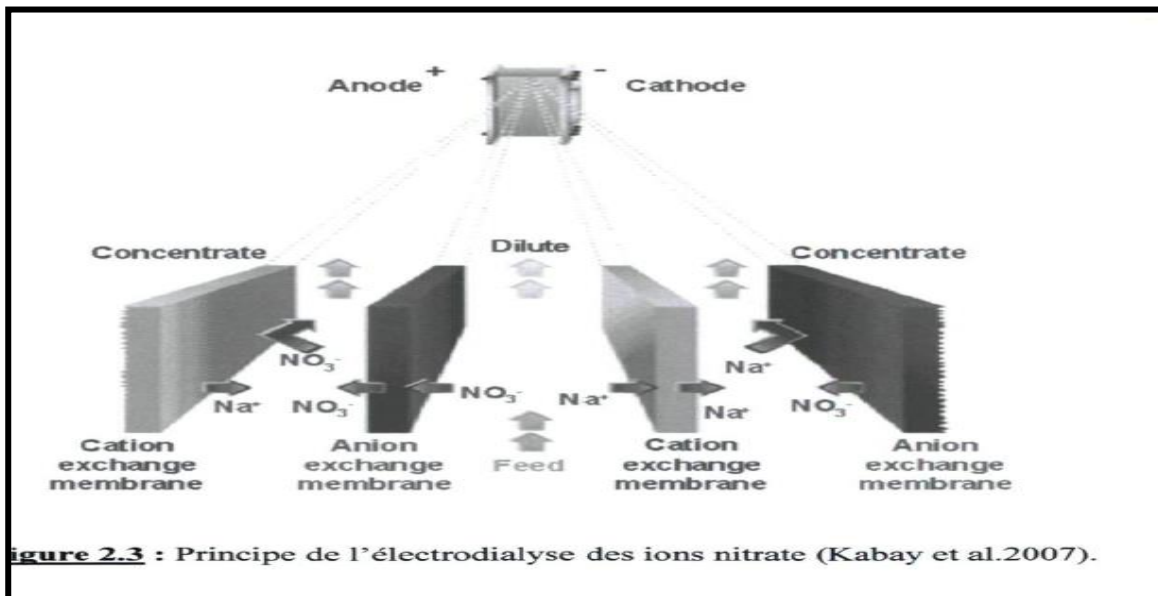


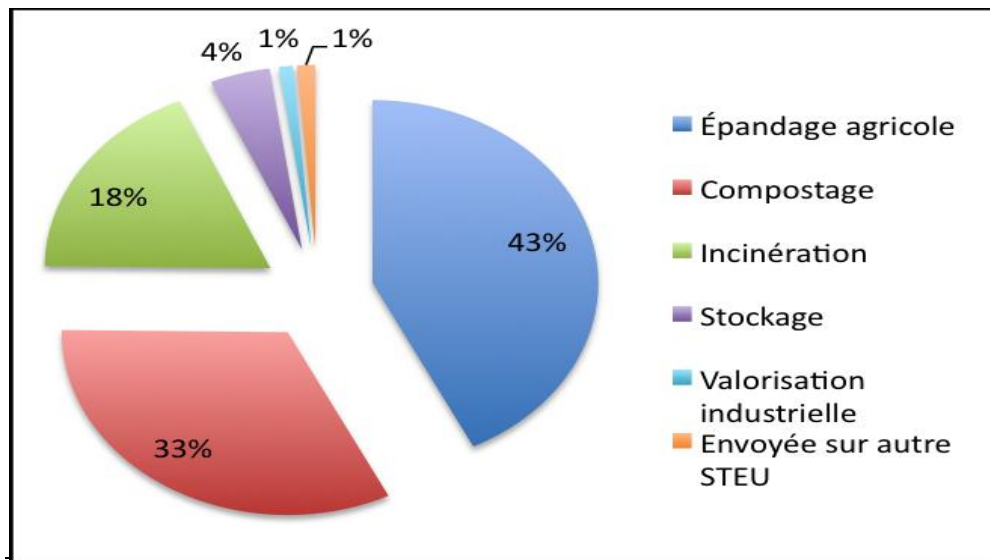
Figure 2.3 : Principe de l'électrodialyse des ions nitrate (Kabay et al.2007).

### Nanofiltration

La nanofiltration a déjà eu à montrer son efficacité dans l'enlèvement d'une grande variété de composants indésirables dans l'eau (Van Der Bruggen et al. 2003 ; Moros et al. 2007). Son mécanisme de séparation combine un effet de tamisage, les différences de diffusivité et de solubilité des solutés, et les interactions électrostatiques entre les groupements superficiels des membranes et les ions.

Dans le cas de membranes chargés négativement, les anions comme les ions nitrates peuvent être éliminés efficacement. Une membrane de nanofiltration idéale pour l'enlèvement des ions nitrate doit avoir les pores serrés et être chargée négativement.

Des chercheurs en (2009) ont testé deux membranes de nanofiltration : UTC-70UB et UTC-20, avec des solutions aqueuses nitratées, synthétiques et des eaux souterraines nitratées, naturelles. C'est ainsi que les meilleurs résultats, quel que soit le type d'eau utilisé, ont été obtenus avec la membrane UTC-70UB. Pour les eaux synthétiques dont les concentrations en ion nitrate se situaient entre 25 et 500 mg/L, Kang a pu obtenir des rendements d'enlèvement en ion nitrate de 88%. Pour les eaux souterraines, il a pu atteindre 80% d'enlèvement, à l'exception d'une seule d'entre elles qui avait une concentration en chlorure de 59,8 mg/L, et sur laquelle une légère baisse a amené le rendement à 73%. Ce qui démontre ainsi l'efficacité et la stabilité de la membrane UTC-70UB dans la nanofiltration des ions nitrate, quelle que soit la qualité de l'eau souterraine à traiter



## Conclusion

Pour l'instant, la valorisation agricole reste la voie privilégiée de recyclage des boues. En effet, celles-ci agissent comme un catalyseur de la biologie du sol et non pas seulement comme un engrais au sens strict du terme. C'est surtout en raison de leur richesse en carbone organique, en azote et en phosphore, que les boues sont potentiellement intéressantes pour améliorer les propriétés des sols.

Cependant, l'azote présent dans les boues se trouve principalement sous forme organique et n'est disponible pour la plante qu'après minéralisation de la matière organique.

Le phosphore est un constituant cellulaire et un transporteur d'énergie important. Dans les boues il se trouve essentiellement sous forme inorganique et constitue dans le sol un «pool» lentement utilisable par la végétation. Etant donné les teneurs élevées en azote et en phosphore dans les boues, leur épandage constitue alors un apport essentiel de nutriments dans les sols.

Les amendements en matière organique vont donc améliorer l'ensemble des propriétés d'un sol, ainsi que sa fertilité, en induisant une diminution des besoins en engrais commerciaux. Même si la matière organique ne représente généralement que 5% d'un sol, elle est un constituant fondamental et va y jouer différents rôles:

- ❖ Rétention des particules du sol afin de former des agrégats et améliorer sa structure,
- ❖ Libération des éléments nutritifs par biodégradation, favorisant le développement des végétaux,
- ❖ Amélioration de la rétention d'eau.

La matière organique se trouve sous différentes formes dans le sol:

- ❖ La matière vivante animale et végétale constituée de bactéries, champignons, vers de terre,
- ❖ La matière organique fraîche composée de débris végétaux (résidus de récoltes, racines, etc..) et animaux (déjections, amendements apportés),
- ❖ Les produits transitoires qui vont évoluer de la matière organique fraîche à l'humus sous l'action de la matière organique vivante,
- ❖ Les composés organiques stabilisés désignés sous le terme général d'humus.

L'humus correspond au stade ultime de l'évolution de la matière organique du sol avant



Minéralisation. Seuls les composés ligno-celulosiques conduisent à de l'humus stable. Ce dernier pourra se combiner aux argiles pour donner des complexes argilo-humiques dont le rôle est essentiel dans la stabilité structurale du sol et la fixation des éléments minéraux.

Les apports de boues d'épuration vont permettre d'accroître les sources en matière organiques dans le sol et donc enrichir ce dernier en carbone organique. Les composés organiques présents dans les boues vont permettre d'améliorer certaines propriétés du sol telle que la porosité ou la structure.

Pour des sols particuliers (en conditions semi-arides), l'apport de boues augmente de façon importante les teneurs en matière organique, en azote, en carbone organique des sols, et améliore le niveau de la porosité et le taux d'humidité du sol.

Cependant, l'utilisation des boues en agriculture soulève de plus en plus de débats passionnés en raison de leur origine et de la présence d'éléments indésirables tels que les micropolluants organiques, les éléments traces métalliques ou les éléments biologiques pathogènes. Les composés organiques des boues domestiques utilisées en agriculture sont soumis à une grande variété de processus physiques, chimiques et biologiques après épandage et ils peuvent être volatilisés, immobilisés par adsorption ou transportés à travers la colonne du sol vers les eaux souterraines. Les composés organiques adsorbés peuvent être chimiquement ou photochimiquement dégradés, micro-biologiquement décomposés ou désorbés. Ainsi, l'épandage des boues d'épuration doit se faire de manière réfléchie, et les boues susceptibles d'être épandues sont donc soumises à des normes.

Celles-ci portent essentiellement sur les teneurs en éléments traces métalliques et sur un nombre limité de composés organiques (essentiellement les hydrocarbures polycycliques aromatiques - HPA- et les hydrocarbures polycycliques aromatiques halogénés de type polychlorobiphényles-PCBs).

## V. Normes

Le décret du 8 décembre 1997 et son arrêté du 8 janvier 1998 (Journal Officiel de la République-*cf texte complet présenté dans les annexes*), pris en application de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, viennent clarifier la réglementation française en matière d'épandage des boues issues du traitement des eaux usées urbaines. Ce décret spécifie que les boues doivent avoir fait l'objet d'un traitement de manière à réduire leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation. De plus, le décret précise la valeur agronomique des boues, les teneurs en éléments traces, ainsi que les teneurs limites en micropolluants organiques admissibles. Les teneurs limites en éléments traces métalliques ont été fortement diminuées (divisées par deux) par rapport à l'ancienne réglementation de 1992. Les éléments traces suivis sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc.

La méthodologie utilisée pour le dosage de ces micropolluants métalliques est par ailleurs précisée. Les extractions doivent être réalisées à l'eau régale, puis le séchage doit être effectué aux micro-ondes ou à l'étuve. Les éléments sont ensuite dosés par spectrométrie d'absorption atomique, spectrométrie d'émission, ou encore par spectrométrie d'émission couplée à la spectrométrie de masse ou à la spectrométrie de fluorescence. Le tableau 1 résume les valeurs limites en éléments traces au-delà desquelles une boue ne peut pas être épandue.

**Tableau 4: Teneurs limites en éléments traces métalliques dans les boues d'épuration**

Eléments traces	Valeur limite dans les boues En (mg/KgMS)	Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/m <sup>2</sup> )
Cadmium	20*	0,03**
Chrome	1000	1,5
Cuivre	1000	1,5
Mercure	10	0,015
Nickel	200	0,3
Plomb	800	1,5
Zinc	3000	4,5
Cr + Cu + Ni + Zn	4000	6

(\*) 15 mg/kg MS (matière sèche) à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2001 et 10 mg/kg MS à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2004

(\*\*) 0,015 g/m<sup>2</sup> à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2001.

La norme s'appliquant aux micropolluants organiques présents dans les boues cible sept **PCBs (hydrocarbures polycycliques aromatiques halogénés de type polychlorobiphényles)** qui sont:

- le 2,4,4'-trichlorobiphényle (isomère n028),
- le 2,2',5,5'-tétrachlorobiphényle (n052),
- le 2,2',4,5,5'-pentachlorobiphényle (n0101),
- le 2,2',3,4,5,5'-hexachlorobiphényle (n"138),
- le 2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphényl (n0153),
- le 2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphényl (n"180),
- le décachlorobiphényle (n0209)

La norme porte également sur **trois HPAs (hydrocarbures polycycliques aromatiques) qui sont le fluoranthène, le benzo(b)fluoranthène et le benzo(a)pyrène**. Ces composés sont présents dans la fraction des boues d'épuration extractible aux solvants organiques

Les modes d'extraction préconisés par la norme, sont soit une extraction à l'acétone de 5g de matière sèche pour les HPAs, soit une extraction au mélange acétone/éther de pétrole de 20 g de matière sèche pour les PCBs. L'extrait obtenu est ensuite séché au sulfate de sodium et purifié à l'oxyde d'aluminium ou par passage sur résine XAD (dans le cas des HPAs) ou sur colonne de célite ou gel de «bio-beads» (pour les PCBs). Enfin, les fractions obtenues sont concentrées afin d'être ensuite analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée soit à un spectromètre de masse pour la détection des HPAs, soit à un détecteur à capture d'électrons pour la détection des PCBs. Les concentrations limites autorisées de ces différents composés sont résumées dans le tableau 2.

**Tableau 5. Teneurs limites en micropolluants organiques dans les boues**

	Valeurs limites dans les boues (mg/KgMS)		Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/m <sup>2</sup> )	
	Cas général	Epandage sur paturage	Cas général	Epandage sur paturage
<b>Total des 7 PCBs</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
<b>Fluoranthène</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>7,5</b>	<b>6</b>
<b>Benzo(b) Fluoranthène</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Benzo(a)pyrène</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

La valeur agronomique des boues est également à prendre en considération. Elle est évaluée grâce aux paramètres suivants:

- mesure de la matière sèche (en %) et de la matière organique (en %),
- mesure du pH,
- mesure de l'azote total et de l'azote ammoniacal,
- mesure du rapport C/N,
- mesure du phosphore total (en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), du potassium total (en K<sub>2</sub>O), du calcium total (en CaO), du magnésium total (en MgO),
- mesure des oligo-éléments (B, Co, Cu, Fe, Mo, Zn).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Desjardins, R. Le Traitement des Eaux, Ed. Ecole Polytechnique de Montréal, (1997), 303p.
- [2] Bonnin J. Hydraulique urbaine, 5<sup>ème</sup> édition Eyrolles, Paris, (1977), 228p.
- [3] Edeline, F. L'épuration biologique des eaux : Théorie et technologie des réacteurs, Ed. Cebedoc, liège, (1993), 298 p.
- [4] Gaid, A. Epuration biologique des eaux usées urbaines, Tome 1, Ed. OPU, Alger, (1984), 261 p.
- [5] Gaid, A. Epuration biologique des eaux usées urbaines, Tome 2, Ed. OPU, Alger, (1984), 234 p.
- [6] Gomella, C. et Guerree, H. Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales, Tome 2 : Le traitement, Ed. Eyrolles, Paris (1982), 260p.
- [7] Ouali, M. Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux 2<sup>ème</sup> Edition, office des publications universitaires, Alger (2008) 156p.