

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Traitement des eaux usées

Présenté par :

◆ Gharmane imane

Encadré par :

◆ Mme EL GHADRAOUI Ouafae

Soutenu Le 08 JUILLET 2021 devant le jury composé de :

- Pr. EL GHAZOUALI Ahmed

- Pr. HARRACH Ahmed

Année Universitaire 2020 / 2021

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

Remerciement

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes encadrants de stage, madame **El Ghadraoui Ouafae** et Pr. **Harrach Ahmed**. Je les remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie ma chère mère **Fatima** et mon père **Driss**, qui ont toujours été là pour moi.

Enfin, Je remercie les membres du jury Pr. **EL GHAZOUALI Ahmed** et Pr. **HARRACH Ahmed** qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Sommaire

I.	introduction	1
II.	Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées	2
1.	Définitions des eaux usées :	3
2.	Les eaux usées domestiques :	4
3.	Les eaux usées urbaines	4
4.	Les eaux usées industrielles	4
5.	La nécessité de l'épuration.....	5
6.	Les substrats polluants	6
a)	Matières fines en suspension.	6
b)	Matières biodégradables.	6
c)	Matières organiques	6
d)	Matières inorganiques	6
e)	Qualité microbiologique	7
III.	Chapitre 2 : L'épuration des eaux usées.....	8
1.	Des traitements différenciés.	9
a)	Procédés physiques.	9
b)	Procédés physico-chimiques.....	10
c)	Procédés radiatifs	11
d)	Procédés chimiques.....	11
e)	Procédés biologiques.	12
2.	Traitement de la pollution minérale.	16
a)	Traitement de l'azote.....	16

b)	Traitement de phosphore.....	17
c)	Traitement de sodium.	18
IV.	Chapitre3 : Analyse de la qualité des eaux après traitement.	19
1.	Les paramètres physico-chimiques.	20
2.	Les paramètres microbiologiques.....	21
V.	Chapitre4: les principales voies de réutilisation des eaux usées.	23
1.	Réutilisation de l'eau dans l'agriculture.....	25
2.	Réutilisation industrielle.	26
3.	Réutilisation en zone urbaine.	27
4.	Production d'eau potable.	27
VI.	Conclusion :.....	28

Liste des tableaux :

<i>Tableau 1: Classifications des substrats polluants.</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 2: Comparaison des procédés de traitement aérobie et anaérobie. [5]</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 3: Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en DBO5, DCO et MES.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4: Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en azote et phosphore</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 5: Eaux usées urbaines, quelques valeurs numériques [10].....</i>	<i>21</i>

Liste des figures :

<i>Figure 1: Nature de la pollution des eaux [1]</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2: Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs. [2] ..</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3: Schéma d'un DEGRILLEUR.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4: Image d'un centrifuge</i>	<i>10</i>
<i>Figure 5: Boues activées, bassin de décantation, traitement des boues.</i>	<i>14</i>
<i>Figure 6: Filière d'épuration.</i>	<i>15</i>
<i>Figure 7: Explication de nitrification et dénitrification.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 8: La réutilisation des eaux usées épurées. [4]</i>	<i>24</i>
<i>Figure 9: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.[11]</i>	<i>25</i>
<i>Figure 10: principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines. [12].....</i>	<i>26</i>

Introduction

L'eau est une ressource naturelle vitale pour la survie de l'humanité, et elle est contenue dans tout organisme vivant sur terre (micro-organismes, animaux, plantes, êtres humains, et même notre cerveau). La terre est couverte 70% de la totalité de l'eau, seulement une petite partie qui est convenable à la consommation humaine.

La pollution de eaux des surfaces et souterraines est produite par les rejets des eaux usées domestiques et industrielles ainsi que par l'accroissement des besoins pour l'agriculture. Ces eaux véhiculent des pollutions posant des problèmes à la santé publique, et à l'environnement. Pour cela, la nécessité d'un traitement adéquat des eaux usées est nécessaire pour contribuer à l'amélioration des performances du traitement.

Il existe plusieurs types de procédés de traitement des eaux usées. Le procédé de traitement le plus utilisé est le traitement biologique. Le bon fonctionnement de ce type de procédé est conditionné en large partie par l'aptitude à la séparation entre la boue et l'eau traitée.

Ce rapport de projet de fin d'études contient 4 chapitres :

Le premier présente les généralités sur les eaux usées, le deuxième dévoile les différents procédés de traitement des eaux usées, ensuite l'analyse de ces eaux après leur traitement, et enfin les principales voies de réutilisation des eaux usées.

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

1. Définitions des eaux usées :

Les eaux rejetées après leurs utilisations par les activités domestiques, industrielles, artisanales ou agricoles et celles déversées à la suite d'évènements pluvieux constituent les eaux usées. Les eaux usées proviennent de quatre sources principales :

- ✓ Les eaux usées domestiques.
- ✓ Les eaux usées industrielles.
- ✓ Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.
- ✓ Le ruissellement dans les zones agricoles.

Donc la composition des eaux usées est variable selon l'origine des eaux (agricoles, industrielles ...)

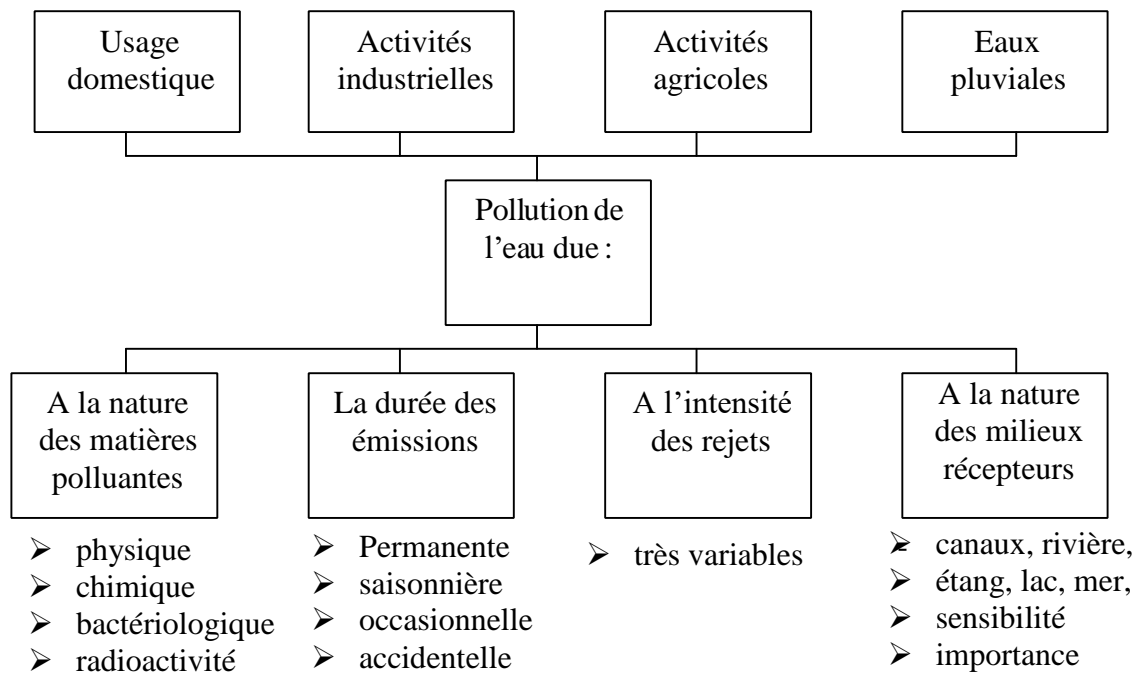


Figure 1: Nature de la pollution des eaux [1]

Les conséquences de l'émission d'eaux usées non traitées ou mal traitées peuvent être classées en trois catégories :

- ✓ Effets nocifs pour la santé humaine.
- ✓ Impacts négatifs sur l'environnement.
- ✓ Répercussions néfastes sur les activités économiques.

2. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout » Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, ainsi que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, tels que les oligoéléments)

3. Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines regroupent les eaux usées ruissellement (eaux pluviales, eaux de lavage, des caniveaux, des marchés et des cours) et les eaux usées domestiques.

Les eaux qui pleuvent sur les jardins, les espaces verts, les voies publiques entraînent toutes conformation de déchets organiques et minéraux (des boues, des sables, des déchets végétaux, feuilles, graines, herbes, etc.) et toute conformation de micropolluants (pesticides venant des jardins, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules).

4. Les eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont l'ensemble des eaux rejetées par une usine dans le milieu extérieur après avoir rentré à la fabrication, au nettoyage, au transport et au refroidissement.

En général les eaux usées industrielles se compose des :

- ✓ Eaux de lavage des machines
- ✓ Eaux des circuits de refroidissement
- ✓ Eaux de fabrication

Selon le rapport de l'agence des nations unies (UN WATER 2017), l'activité humaine qui produit plus d'eaux usées c'est l'industrie.

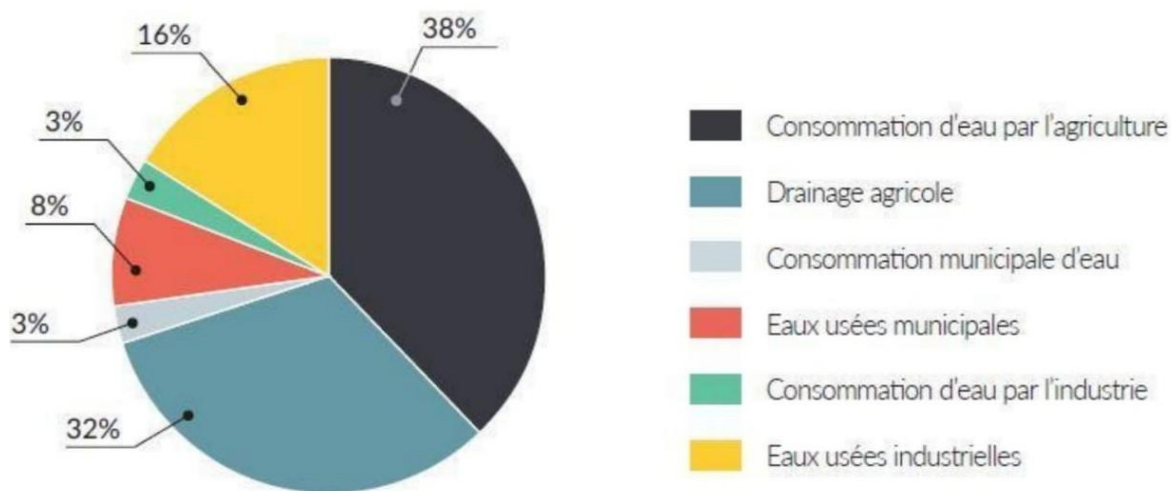


Figure 2: Consommation d'eau et production d'eaux usées par les principaux secteurs[2].

Suivant le type de l'industrie, la concentration des effluents industriels varie. Chaque opération industrielle engendre des quantités spécifiques d'eaux usées qui peuvent contenir des charges de polluants. En plus de la matière organique, elles peuvent contenir des composés toxiques, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures. Donc ces eaux sont toxiques pour l'homme et les espèces végétales et aquatiques.

Les caractéristiques physiques des eaux industrielles sont : le pH, la couleur, la salinité, la teneur en matières solides, et l'odeur. Parmi les principales caractéristiques chimiques, on peut citer DBO (demande biologique en oxygène), COT (carbone organique total), l'azote (nitrite, nitrate), et le phosphore.

5. La nécessité de l'épuration.

À partir de ce qui précède, il est nécessaire d'épurer les eaux usées par un ensemble de techniques qui sert à purifier l'eau soit pour les recycler soit pour leur réutilisation.

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique, et d'une façon générale avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielle, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignade et autres activités sportives)[3].

6. Les substrats polluants

a) Matières fines en suspension.

Les matières en suspension sont de nature biodégradable formée de particules visibles à l'œil nu (de 0.1 à 1 mm), contribuent à la turbidité de l'eau.

Elles donnent à l'eau un mauvais goût, une apparence trouble, et une mauvaise odeur. Leur traitement se fait par des techniques de sédimentation ou de centrifugation.

b) Matières biodégradables.

Issues d'activités biologiques des micro-organismes, cette fraction biodégradable peut être divisée en deux groupes :

- ⇒ Matières aisément dégradables : sont directement absorbées par les bactéries.
- ⇒ Matières lentement dégradables : formés par un mélange de substances solubles, colloïdales, et organiques solides. Ces matières sont soumises à certains processus intermédiaires avant d'être absorbées par les bactéries.

c) Matières organiques

Elles sont constituées d'un grand nombre de composés, et qui ont la particularité de posséder au moins un atome de carbone. Ces atomes de carbone sont oxydés biologiquement par les micro-organismes pour donner l'énergie nécessaire à leur croissance.

d) Matières inorganiques

Faite de composants solides. La fraction minérale des eaux résiduaires représente principalement les produits azotés et phosphorés.

Classification selon	Polluants
Taille	<ul style="list-style-type: none"> • Matières fines en suspension • Matières colloïdales
Pouvoir de dégradation	<ul style="list-style-type: none"> • Matières biodégradables <ul style="list-style-type: none"> – aisément dégradables – lentement dégradables • Matières non-biodégradables
Structure chimique	<ul style="list-style-type: none"> • Matières organiques • Matières minérales

Tableau 1: Classifications des substrats polluants.

e) Qualité microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [4].

Chapitre 2 : *L'épuration* des eaux usées.

En général, le traitement des eaux usées a pour effet de les transformer en eau potable, ainsi que l'assainissement des eaux usées a pour but d'assembler puis d'épurer les eaux issues de pollution avant leur rejet. Le terme "traitement" est utilisé pour désigner l'opération d'assainissement. Par ailleurs épurer c'est "rendre pur", au cas d'épuration des eaux résiduaires, ce n'était pas la question de les rendre pures, mais d'en retirer le maximum possible de déchets avant de les évacuer.

1. Traitements différenciés

Les eaux brutes ont des caractéristiques variables. Il existe un nombre de procédés élémentaires qui sert à les traiter. Les professionnels de l'eau peuvent assembler de différentes manières ces procédés, selon des cas spécifiques. Par ailleurs chaque procédé peut changer son rôle selon sa place qu'il occupe dans la filière du traitement.

Il n'est pas simple d'analyser d'une manière complète les différents procédés et filières de traitement, mais il est possible de poser une classification générale de procédés de base, ensuite une description des étapes les plus principales du traitement.

a) Procédés physiques

C'est l'ensemble des opérations qui sert aux séparations de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. Parmi ces procédés les plus courantes on distingue:

- ✳ **Dégrillage** : le but de cette opération est l'élimination des gros déchets, par passage à travers des grilles.



Figure 3: Schéma d'un DEGRILLEUR

- * **Filtration** : à travers un milieu poreux qui retient les solides et laisse passer les liquides (filtrat).
- * **Décantation** : est un procédé physique qui sert à déposer les particules de densité supérieure à l'eau dans le fond du bassin par gravitation.

Pour accélérer le processus de décantation lors de prétraitement, on ajoute des produits comme le chlorure ferrique qui ont pour but d'agglomérer les particules en suspension en les transformant en flocons.

Toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces :

- les forces de frottement.
 - les forces de la pesanteur qui permettent la chute de la particule.
- * **Centrifugation** : opération qui permet de séparer sous l'action de la force centrifuge, du mélange entraîné dans un mouvement de rotation.



Figure 4: Image d'un centrifuge

- * **Flottation** : par action de la poussée d'Archimède, les phases solides et liquides se séparent entre eux. En flottation naturelle, les flocons de faible densité remontent librement à la surface. La flottation assistée s'obtient par l'injection d'air.

b) Procédés physico-chimiques.

Utilisés en général comme moyens de traitement complémentaires, ces procédés combinent les principes de la chimie et de la physique. Certaines substances comme les colloïdes sont particulièrement stables en suspension et leur durée de décantation peut être trop longue. Afin de favoriser leur décantation, le décanteur est probablement

conditionné avec les réactifs chimiques qui facilitent l'agglomération des particules. Deux techniques sont utilisées :

- * La coagulation : c'est un processus par lequel les charges électriques qui se trouvent à la surface des particules solides en suspension sont neutralisées par l'ajout de réactifs minéraux.
- * La floculation : provoque l'agglomération des petites particules déchargées, et la formation de gros floccs plus denses. Cette deuxième phase suppose l'apport d'additifs floculant.

c) Procédés radiatifs

Ces techniques peuvent être utilisées dans les opérations de décontamination de l'eau :

- * Les ultra-violetts irradient les cellules vivantes indésirables. Suivant la qualité d'énergie UV reçue, elles sont soit stérilisées (effet bactériostatique) soit détruites (effet bactéricide).
- * Le bombardement électronique est un dispositif basé sur l'exposition brève des eaux polluées à un fort flux d'électrons. La structure des éléments complexes est décomposée sous l'action des ions qui cassent leurs liaisons chimiques. La décontamination bactériologique est réalisée par destruction des bactéries et des virus.

d) Procédés chimiques.

Par l'utilisation des réactifs chimiques adressent on attaque les métaux lourds et les matières organiques. On peut citer les procédés suivants :

- * L'oxydation : par des agents tels que le chlore et l'ozone.
 - l'oxydation au chlore élimine l'ammoniaque, le fer et évite le développement des algues.
 - l'ozonation : l'ozone de formule chimique O_3 , c'est un gaz très instable ce qui lui donne capacité oxydante très importante.

Donc le but principale de l'ozone est l'oxydation de toutes les substances organiques mais il est inactif pour les organismes pathogènes, les virus et les bactéries.

La mise en contact de l'eau avec l'ozone issu des installations de production se fait dans une cuve à plusieurs compartiments dans laquelle on pulse de l'air ozoné. L'ozone ne laisse pas de traces dans l'eau comme les autres principes de traitement de l'eau.

* La désinfection.

A la fin du traitement, la désinfection élimine les micro-organismes pathogènes (virus et bactéries). Donc c'est pour cela qu'on utilise un désinfectant chimique comme l'ozone, le chlore, ou les rayonnements ultra-violet.

Pour qu'aucun germe ne se développe dans les tubes, et que l'eau peut séjourner plusieurs jours, ces traitements doivent être poursuivis sur tout le réseau. De plus, pour protéger les canalisations de la corrosion et de l'entartrage, ces traitements corrigent la dureté et l'acidité de l'eau.

Grâce à son efficacité, le chlore est considéré comme un élément chimique le plus utilisé pour cette désinfection. De plus la mise en œuvre de ce procédé est assez simple et non coûteuse. L'eau de Javel est utilisée dans les plus petites infrastructures de traitement de l'eau. Pour éviter la combinaison du chlore avec des matières organiques encore présentes, parce que cela peut former des composés dangereux à la consommation, on utilise le bioxyde de chlore ClO_2 est sous forme de liquide, ce qui évite la formation de ces composés. En revanche, il est moins utilisé car il est plus onéreux et il est plus compliqué à utiliser.

Par la suite pour tuer les différents germes, on fait passer des rayons UV dans l'eau. Enfin on fait passer l'eau dans une membrane qui va éviter aux micro-organismes restants de passer dans le réseau de distribution.

e) Procédés biologiques.

Le traitement biologique consiste à utiliser les micro-organismes naturellement présents dans l'eau, principalement une masse bactérienne. Elle dégrade et se nourrit la matière organique biodégradable, les micropolluants ou la matière naturelle.

Le traitement biologique est largement utilisé dans la dépollution de l'eau, parce qu'il consiste à favoriser la prolifération de ces micro-organismes.

On cite deux voies possibles pour dépolluer les influents organiques biodégradables :

- * Le traitement aérobie : Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La dégradation des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré. La voie aérobie peut se réaliser par des traitements « conventionnels » ou par des traitements « extensifs » [3].

- * Le traitement anaérobie : Ce traitement s'effectue en condition d'anaérobiose c'est-à-dire en absence d'oxygène. Les bactéries anaérobies assurent la décomposition métabolique des composés biodégradables par des processus de fermentation.

Paramètres	Anaérobie	Aérobie
Energie produit	Elevée	Faible
Energie consommée	Faible	Elevée
Production de boues	Faible	Elevée
Elimination des nutriments (N/P)	Faible	Elevée
Surface requise	Petite	Grande
Capital investit	relativement faible	relativement élevé
Prétraitement	suivi invariablement par le traitement aérobie	filtration/désinfection

Tableau 2: Comparaison des procédés de traitement aérobie et anaérobie. [5]

Parmi l'ensemble des procédés biologiques utilisés dans le traitement des eaux usées, on peut citer les principaux procédés suivants :

- Les disques biologiques : dans ce procédé, on trouve des disques biologiques tournants lentement (quelques tours par minute), autour d'un axe horizontal sur lesquels se fixent les micro-organismes et forment un film épurateur à la surface des disques, cette technique peut coûteuse en énergie mais peut entraîner l'émanation d'odeurs.
- les lits bactériens ou filtres à ruissellement : c'est un procédé biologique utilisé pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles depuis plus de 100 ans. Ce procédé aérobie à cultures fixées, non immergées, permet de faire supporter les microorganismes par des matériaux poreux.
- Les traitements à boue activée, dans un bassin d'aération à un volume allant de 3 à 15 grammes par litre d'eau usée, ou les boues contenant des matières se nourrissent des particules polluants en les fournit de l'oxygène O₂ afin de leur donner l'énergie, une fois le temps nécessaire écoulé, l'eau et la boue sont dirigées vers un clarificateur appelé bassin de décantation qui fait retomber la boue au fond, et l'eau de rester à la

surface. Enfin l'eau traitée va être renvoyé dans la nature ou les industries, 70% des boues sortant de bassin de décantation seront remises en circulation dans la même station d'épuration, et 30% seront des boues contenant une concentration importante d'éléments reproductifs.

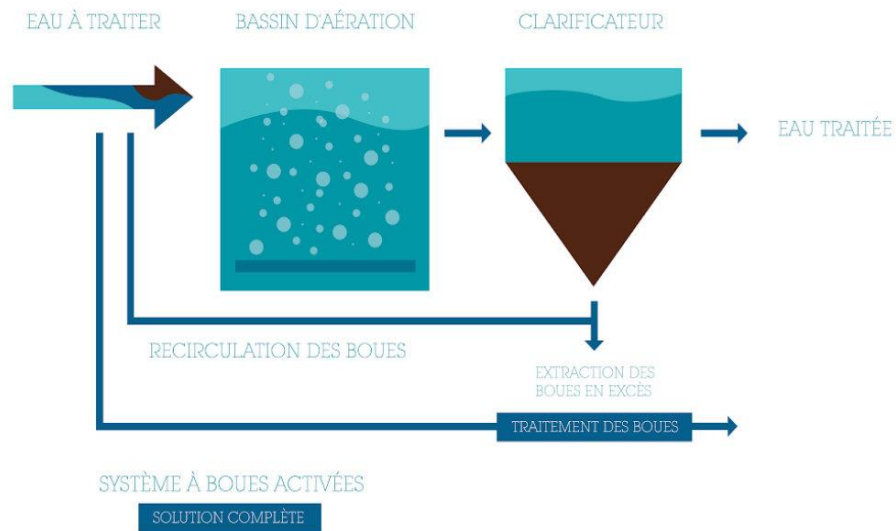


Figure 5: Boues activées, bassin de décantation, traitement des boues.

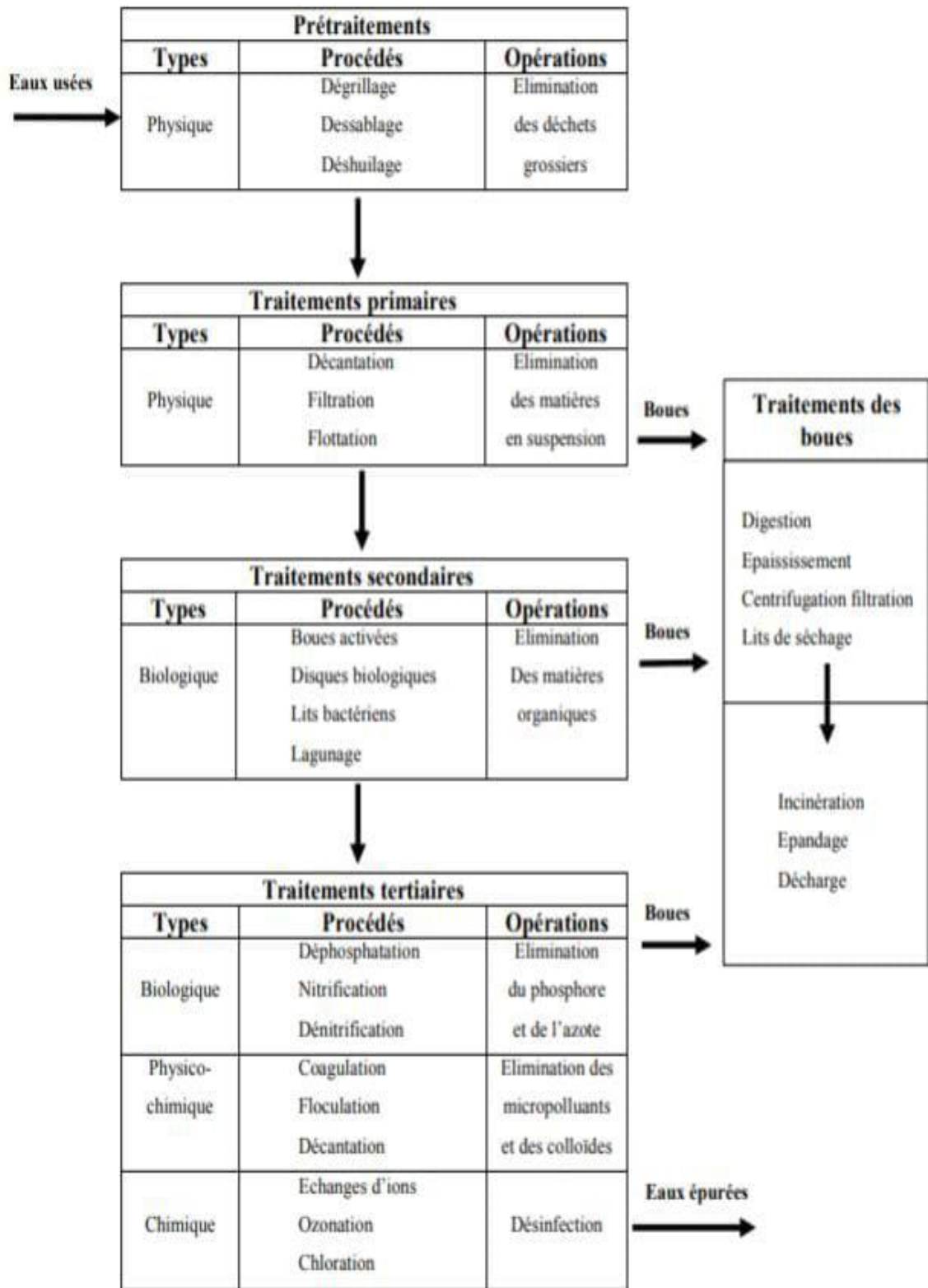


Figure 6: Filière d'épuration.

2. Traitement de la pollution minérale.

La pollution minérale provient des eaux usées des unités productrices de boissons, par les différentes opérations (lavages des cuves, des machines, et des espaces de production). Avant de rejeter les eaux dans la nature, il faut éliminer l'azote et le phosphore. Ces derniers ont des effets négatifs car ils peuvent être responsables du phénomène d'eutrophisation des milieux récepteurs. Par ailleurs, la matière organique azotée peut aussi causer une demande élevée en oxygène dans les cours d'eau, et donc l'appauvrissement de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur contribuant à une perturbation du développement de la faune aquatique. D'autre côté, la présence du sodium dans les eaux rejetées peut causer des altérations dans la structure du sol lors de la réutilisation des eaux usées ou des eaux usées traitées pour l'irrigation causant une diminution de la capacité de rétention de l'eau.

a) Traitement de l'azote.

Généralement dans les milieux aqueux les composés azotés sont présents sous forme organique et formes minérales (nitrates, nitrites, ion ammonium).

L'élimination de l'azote passe par 3 étapes :

- L'ammonification : cette première étape sert à transformer les formes organiques azotés présents dans les effluents en ion ammonium.
- Nitrification : cette étape sert à la transformation de l'azote ammoniacal en nitrate.

Cette nitrification se déroule en deux étapes :

- la nitritation qui oxyde l'ammonium en nitrite selon l'équation suivante:
$$\text{NH}_4^{++} + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$$
- la nitratation qui convertit les nitrites en nitrates selon l'équation suivante : $\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

Ces deux processus sont réalisés en milieu aéré par des microorganismes spécifiques.

- La dénitrification, est l'étape suivante, la nitrification, les nitrites (NO_2) et les nitrates (NO_3^-) sont transformés en azote N_2 , l'azote gazeux s'échappe de l'eau dans l'air.

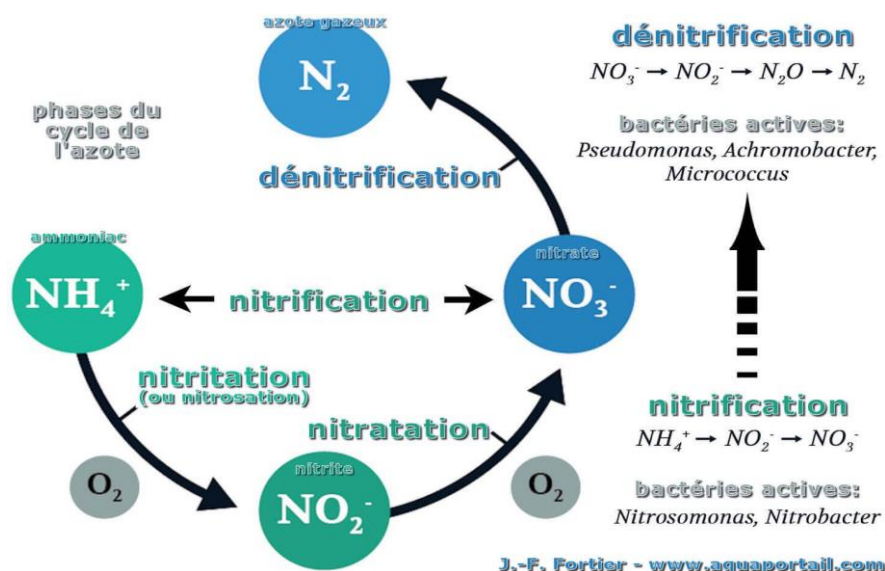


Figure 7: Explication de nitrification et dénitrification.

Un grand nombre de bactéries est capable d'effectuer la dénitrification. En l'absence d'oxygène dans l'eau, ces bactéries utilisent le nitrate et le nitrite comme source d'oxygène.

b) Traitement de phosphore

Dans les effluents de brasseries, on trouve une concentration en phosphate qui varie entre 10 et 50 mg/L [6], dont 70% sous la forme soluble, et le reste sous forme d'orthophosphate (HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Utilisant le procédé de traitement primaire et secondaire, on élimine environ 10 à 30% de phosphore dans les eaux usées, mais cela n'est pas suffisant, car au niveau de la réglementation environnementale il faut une concentration en phosphore total de 50mg/L dans les eaux usées de brasseries rejetées.

L'élimination de phosphore se base sur 2 voies principales :

⇒ Par voie biologique : il repose sur la génération de deux phases.

- phase anaérobie : des germes aérobies stricts qui, sous l'action du stress anaérobie, libèrent du phosphore dans le milieu et accumulent des réserves de polyhydroxybutyrate.
- phase aérobie : les mêmes germes aérobies strict réabsorbent le phosphore libéré plus celui présent dans l'eau usée en hydrolysant leur réserve de polyhydroxybutyrate, on parle d'assimilation pléthorique.

Le phosphore de l'eau usée est transféré de la phase liquide vers la phase solide. Il sera donc éliminé dans les boues lors de la phase de décantation.

⇒ par voie physico-chimique.

Le phosphore soluble des orthophosphates et des polyphosphates est éliminé par précipitation avec le coagulant. Le phosphore particulaire sera éliminé lors de l'étape de décantation avec les autres matières en suspension.

c) Traitement de sodium.

En général, la teneur naturelle du sodium dans le sol est inférieure ou égale à 0.03%, l'analyse du sodium fournit un indicateur sur la salinité du sol. Le suivi de la teneur en sodium est indispensable pour éviter les risques de déstabilisation structurale. La présence de sodium dans les eaux d'irrigation produit une dégradation de la structure du sol, elle est visible sur la surface par une aggravation de la battance, [7]. Lorsque la teneur est élevée, le pH du sol est élevé (pH basique) et la croissance des végétaux est fortement perturbée.

On fait éliminer le sodium dans les eaux par des procédés de filtration sur membranes (osmose inverse ou nanofiltration), de désionisation, et d'électrodialyse.

L'osmose inverse est très utilisée dans l'élimination du chlorure de sodium (NaCl). La nanofiltration pour sa part, permet avec une consommation énergétique moins importante que l'osmose inverse, de retenir les ions de façon générale avec des rendements intéressants. Ces rendements pourraient être suffisants dans le cadre du traitement des eaux usées où les besoins de réutilisation pour l'irrigation recommandent des concentrations de sodium inférieures à 150 mg/L [8].

Chapitre 3: Analyse de la qualité des eaux après traitement.

De telles études sont souvent réalisées en préalable à une opération de réutilisation des eaux usées épurées, afin d'apporter les assurances sanitaires nécessaires.

1. Les paramètres physico-chimiques.

Il y'a des normes de rejet à respecter en ce qui concerne les matières azotés, les matières carbonées et les matières phosphorées.

Le règlement distingue les stations qui rejettent en zones sensibles et non sensibles.

En zone non sensibles, on doit respecter seulement les normes concernant les matières carbonées. En zone sensible s'y ajoutent les normes concernant les nitrates et/ou les phosphates.

On mesure les rejets en matières carbonées par les paramètres suivants :

- La DCO (demande chimique en oxygène) : c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toutes les matières organiques et les matières minérales contenues dans l'eau.
- La DBO5 (demande biologique en oxygène au bout de 5 jours) : c'est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par les micro-organismes pour oxyder la matière organique. Onensemence l'effluent et on le sature en oxygène, puis au bout de 5 jours on mesure la quantité d'oxygène consommée.
- Les MES (matières en suspensions) : leur taux est mesuré par filtration puis pesée, ou par centrifugation puis pesée.
- Azote total : c'est la mesure de l'azote total, réduit ou oxydé. L'élimination du l'azote signifie que les nitrates formés ont été éliminés (dénitrification). L'élimination des nitrates permet d'éviter les phénomènes d'eutrophisation. Le taux de phosphate (PT) est également réglementé, les phosphates rejetés dans le milieu sont en partie responsables de l'eutrophisation des cours d'eau.

Les stations d'épuration versent une taxe aux agences de l'eau en fonction de leurs rejets dans le milieu naturel.

Paramètres	Concentration maximale autorisée.(mg/l)
DBO ₅	25
DCO	125
MES	35

Tableau 3: Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en DBO5, DCO et MES en mg /l

★ Pour les rejets dans le milieu naturel de bassins de lagunage, cette valeur est fixée à 150 mg/l (**Source** : www.cieau.com) [9]

Paramètres	Concentration maximale autorisée. (mg/l)
Azote	15
Phosphore	2

Tableau 4: Normes de rejet d'une station d'épuration : concentrations maximales autorisées en azote et phosphore en mg /l

Ces exigences se réfèrent à une température de l'eau du réacteur biologique aérobie de la station d'épuration d'eau moins 12° C. Cette condition de température peut être remplacée par la fixation de périodes d'exigibilité déterminées en fonction des conditions climatiques régionales (**Source** : www.cieau.com) [9]

Les concentrations moyennes des eaux usées urbaines avant traitement pour ces différents paramètres sont données dans le tableau suivant :

MES (mg /l)	DB0 (mg /l)	DCO (mg/l)	AZOTE (mg/l)	PHOSPHORE (mg/l)
De 150 à 500	De 100 à 400 d'O2	De 300 à 1000 d'O2	De 30 à 100	De 10 à 25

Tableau 5: Eaux usées urbaines, quelques valeurs numériques [10]

2. Les paramètres microbiologiques.

Le principal facteur du risque sanitaire est celui qui concerne les rejets microbiologiques des eaux usées.

Grâce à la mesure de la concentration en germes témoins, les recommandations nationales et internationales sur la réutilisation des eaux usées épurées fixent des normes microbiologiques.

Donc selon les traitements précédents des eaux usées on peut obtenir toutes une gamme d'eaux de qualités différentes. Dans le chapitre qui va suivre, on va présenter les différents usages possibles.

La protection de la santé publique est un point très important à considérer, compte tenu des risques de contamination inhérent à l'usage des eaux usées spécialement dans le secteur agricole.

Chapitre 4: les principales voies de réutilisation des eaux usées.

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est d'assurer l'équilibre de cycle d'épuration naturelle de l'eau et la protection du milieu environnant.

Cette réutilisation vise la production des quantités supplémentaires d'eau en bonne qualité pour différents usages. En fonction des exigences de qualité des consommateurs, on peut classer deux catégories principales :

- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriels et urbains.
- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.

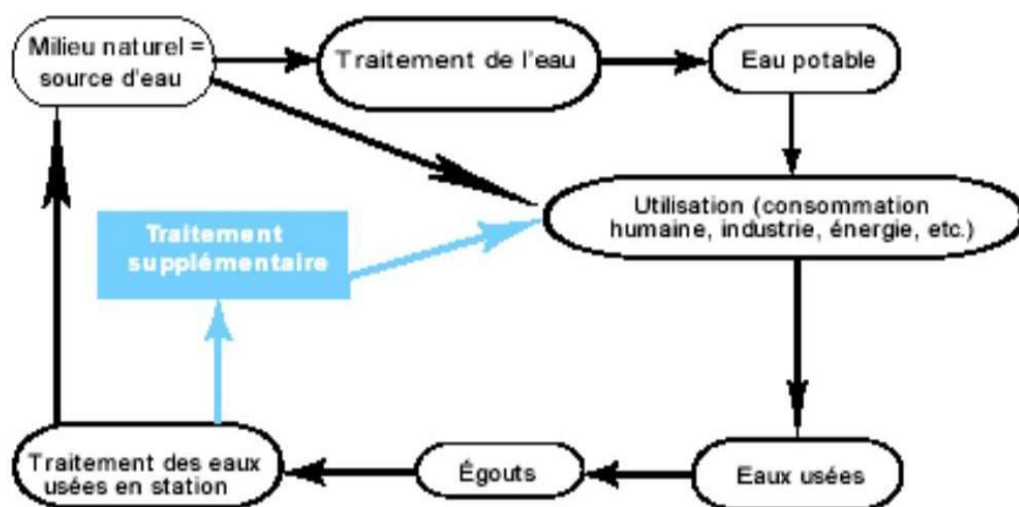


Figure 8: La réutilisation des eaux usées épurées. [4]

L'utilisation de cette technique par l'agriculture couvre 70% pour l'industrie, 20% et pour les usages domestiques 10% de leur demande en eau. La figure 9 montre les principales voies de réutilisation des différents pays qui ont une expérience dans ce domaine. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud [10].

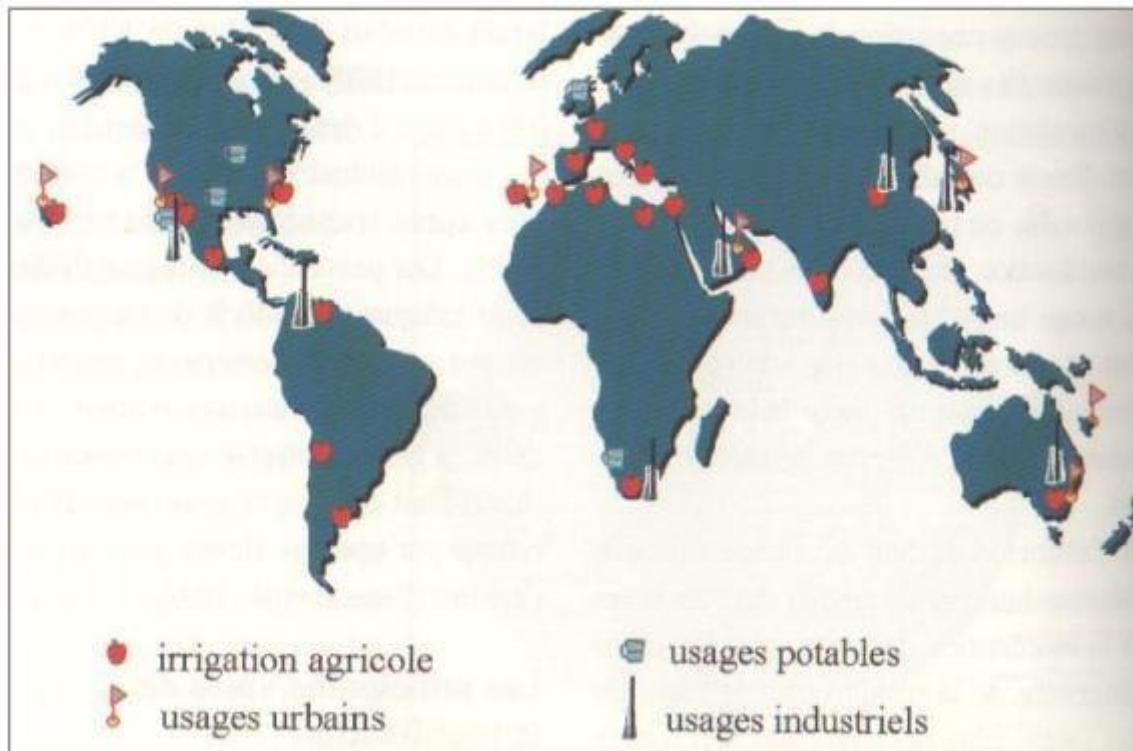


Figure 9: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.[11]

1. Réutilisation de l'eau dans l'agriculture.

L'irrigation constitue l'essentiel de l'utilisation des eaux usées traitées, non traitées ou partiellement traitées à travers le monde, car dans les zones urbaines des pays en développement il y'a des millions de petits agriculteurs qui utilisent les eaux usées ou des sources d'eau polluée pour irriguer des cultures comestibles.

Le bénéfice d'une réutilisation des eaux usées traitées peut donc être double :

- au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais.
- au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue [4].

Les constituants indésirables des eaux usées peuvent endommager l'environnement et la santé humaine (production alimentaire et fourragère), à cause d'une utilisation non planifiée d'eaux usées partiellement ou non traitées.

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue. Ici au Maroc cette réutilisation en irrigation est pratiquée par les eaux usées qui sont mélangés avec les eaux des oueds dans lesquels elles sont diverses. Ainsi par exemple, les superficies irriguées par ces eaux sont de 1400 ha à Meknès, 3000 ha à Marrakech et 800 ha à Fès. Une grande partie des eaux de l'oued Fès et de ses affluents, dans lesquels se déversent les eaux usées de cette ville, sert à l'irrigation des vergers et cultures maraîchers avant de rejoindre l'oued Sebou. Ce genre d'irrigation est utilisée aussi de plus en plus aux alentours des villes moyennes à titre, d'exemple cette eau de seconde main assure l'irrigation de 150 ha à Beni Mellal, 55 ha a Fquih ben salah et 300 ha a Taroudant. [12]

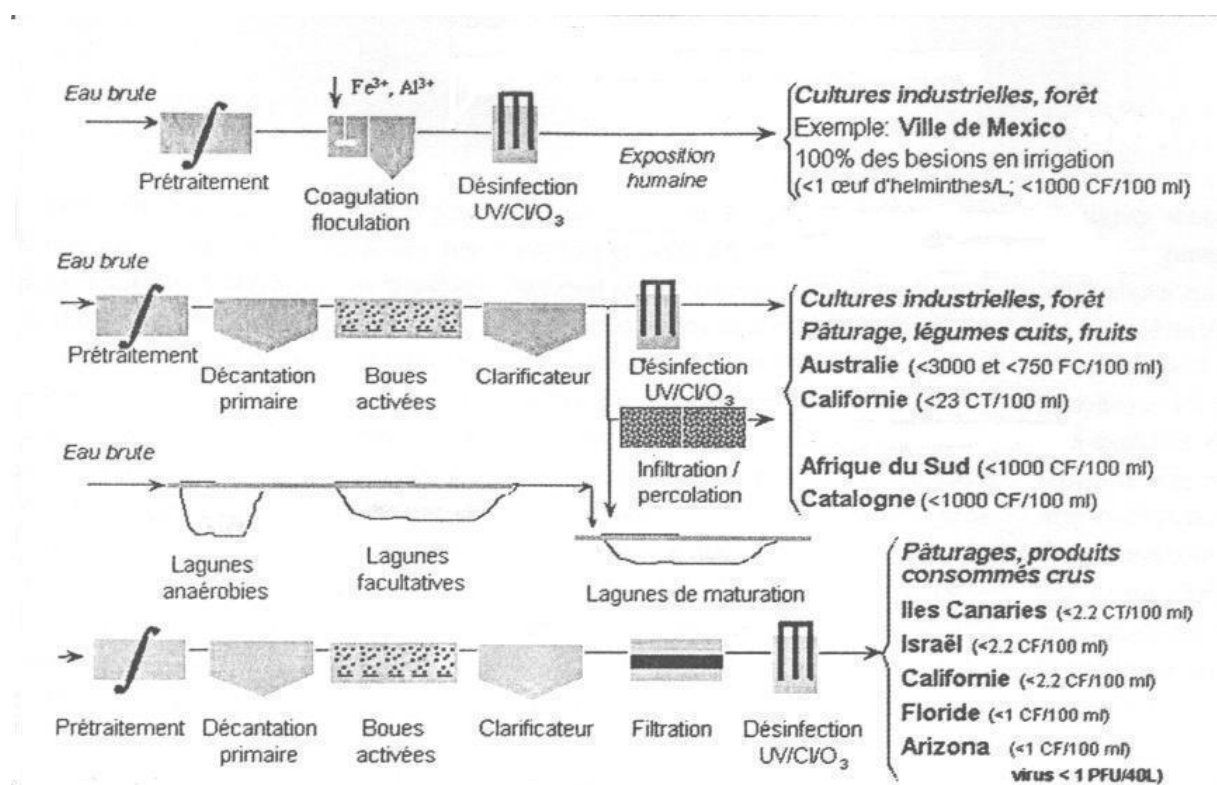


Figure 10: Principales filières de traitement pour la réutilisation agricole des eaux résiduaires urbaines. [13]

2. Réutilisation industrielle.

La réutilisation des eaux usées industrielles sert à recycler les eaux usées industrielles à des objectifs industrielles. Pour certains types d'industries, l'eau recyclée fournit 85% des besoins globaux en eau. La qualité de l'eau réutilisée dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie.

Parmi les activités industrielles, on distingue la production d'énergie, la fabrication dans les centrales électriques, les raffineries de pétrole, l'industrie textile, ainsi que dans le secteur du chauffage et de climatisation etc.

L'un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est alimentée en eaux épurées depuis 1951 [14].

3. Réutilisation en zone urbaine.

Il existe plusieurs utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine à travers le monde. On peut citer :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux.
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance.
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles.
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

Pour les usages urbains, l'Afrique du Sud et l'Australie sont les pays dont les normes sont les plus sévères. Ils exigent respectivement une qualité d'eau potable et l'élimination totale des virus. Dans ce cas, les filières de traitement se rapprochent de celles de production d'eau réutilisée pour des usages potables.

4. Production d'eau potable.

L'unique exemple dans le monde de la réutilisation directe d'eau potable à partir d'eau usée se trouve en Afrique à Windhoek, capitale de la Namibie [15].

Quand les eaux ne reviennent jamais dans le milieu naturel, on parle de réutilisation directe car les eaux épurées sont renvoyés directement à l'usine où il y'a la station d'épuration.

Grace au progrès technologique du métier de l'eau, à partir des eaux usées on peut produire l'eau de très bonne qualité, et donc ce procédé constitue l'une des solutions efficaces pour augmenter les ressources des eaux potables, mais le refus de réutiliser l'eau usée par le public ne permet qu'à une infime partie de l'eau de récupération d'être incorporée dans les réservoirs d'eau douce pour une réutilisation indirecte.

Conclusion :

En effet, pour déterminer les filières de traitement ainsi leur dimensionnement, et même connaître les objectifs de qualité de milieu récepteur permet de définir des normes de rejet en sortie de station d'épuration, il faut savoir la qualité des eaux usées sortant des différents réseaux.

Dans ce travail, on a essayé de regrouper un maximum de connaissance en ce qui concerne les différents types des eaux usées et indiquer quelques problématiques posées sur l'environnement, ainsi que leurs filières d'épuration et les principales voies de leur réutilisation.

Alors le traitement des eaux usées a pour but de diminuer la pollution présente dans l'eau provenant des activités humaines à travers des utilisations domestiques ou industrielles.

Ces eaux traitées vont être utilisées dans les activités humaines, ou bien rejetées en milieu naturel, mais il est obligatoire de ne pas rejeter des matières nuisibles aux espèces qui vivent dans le milieu naturel.

Références bibliographiques :

- [1] Direction de l'environnement. (1990)., Les stations d'épuration d'effluents domestiques.
- [2] UN WATER, 2017. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017.
- [3] Xanthoulis D. (1993). Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.
- [4] Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A. (2004)., Réutilisation des eaux usées: risques.
- [5] Jaiyeola, A.T., Bwapwa, J.K., 2016. Treatment technology for brewery wastewater in a water.
- [6] IFC, 2007. Environmental, Health, and Safety Guidelines BREWERIES.
- [7] Sou/Dakouré, M.Y., Mermoud, A., Yacouba, H., Boivin, P., 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties.
- [8]FAO, 2003. L'irrigation avec des eaux usées traitées : manuel d'utilisation. FAO, Rome.
- [9] www.cieau.com
- [10] http://perso.wanadoo.fr/bernard.pironin/aquatech/index_1.htm
- [11] Lazarova V. (1998)., Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources.
- [12] La réutilisation des eaux usées traités. Ministre de l'environnement.
- [13] Ecosse D. (2001)., Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde.
- [14] « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, 62 pages.
- [15] Asano T. (1998)., Wastewaterreclamation and reuse. Water quality management library.
- www.pcawater.com
- www.water-quality-journal.org
- industrie.airliquide.fr
- Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017.