

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITÉ de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**



# **Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER EN GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : Science et Génie de L'environnement**

Intitulé du mémoire

**VALORISATION ET LA REUTILISATION DES  
BOUES.**

Présenté par :

AISSANI AZIZA

NAMOUDI IMENE

Encadré par :

Dr. N.BENSACIA

Année universitaire 2019/2020

## **REMERCIEMENT**

*Avant tout, je remercie **ALLAH** tout puissant, de nous avoir accordé la force, le Courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.*

*Un grand merci à notre promotrice **Mme BENSACIA** pour le temps qu'elle nous a accordé, Ainsi pour sa grande Aide et ces conseils,*

*Un grande merci à notre Co-encadreur **MR Madjyah Toufik**.*

*Nous tenons à présenter Notre vif remerciement à tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants de notre département.*

*Enfin, nous remercions nos chers parents, familles et*

*Amis pour leur soutien inconditionnel.*

# DEDICACES

*Imene namoudi*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour*

*Mes très chers parents, j'exprime ma sincère reconnaissance pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mes études même dans les moments difficiles, ils ont toujours été présents lorsque j'ai eu besoin d'eux, que dieu les protège, je leur serai éternellement reconnaissante,*

*Mes très chers frères*

*Mon cher époux pour son soutien*

*Sans oublier mes très chers amis(es) et tous les amis de notre promotion Master « Option : Génie de l'environnement »*

*Et à tous ceux que j'ai oubliés*

*Et à tous ceux que j'aime*

*Merci*

# DEDICACES

*AJSSANI AZIZA*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour*

*Mes très chers parents, j'exprime ma sincère reconnaissance pour leur soutien moral et leurs encouragements tout au long de mes études même dans les moments difficiles, ils ont toujours été présents lorsque j'ai eu besoin d'eux, que dieu les protège, je leur serai éternellement reconnaissante,*

*Mes très chers frères*

*Mon cher époux et mes chères sœurs pour son soutien Sans oublier mes très chers amis(es) et tous les amis de notre promotion Master « Option : Génie de l'environnement »*

*Et à tous ceux que j'ai oubliés.*

*Et à tous ceux que j'aime.*

## ملخص

تركز دراستنا على استعادة الحمأة المنشطة وإعادة استخدامها. تم عمل ملخص ببليوغرافي للحمأة المتبقية من معالجة مياه وتحديد رئيسي لإزالة هذه النفايات الصرف من خلال العمليات المختلفة التي نفذتها محطات معالجة مياه الصرف الصحي السائلة الصلبة (الحمأة). وجد أن إمكانية إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المنقاة بواسطة محطة معالجة مياه الصرف الصحي بدون مخاطر صحية وتأثير سلبي على البيئة ممكنة من خلال تطبيق عدة عمليات مثل: عملية فنتون والاستخراج الاسترداد الزراعي (التسميد) هو الحل الأفضل والمسار الرئيسي لإزالة. باستخدام الإيثيلين. ثنائي أمين رباعي الخليك الحمأة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي. السماد له فوائد زراعية مثيرة للاهتمام دون آثار سلبية على البيئة وصحة الإنسان.

- الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي - الحمأة المنشطة - المعالجة - النفايات السائلة - الاسترداد

. إعادة استخدام المياه العادمة - التسميد

## Résumé :

Notre étude porte sur la valorisation et la réutilisation des boues activées. Une synthèse bibliographique sur les boues résiduelles issues de traitement des eaux usées par différents procédés effectués par les stations d'épuration des eaux usées (STEP) et la détermination principale d'élimination de ces effluents solides (les boues) a été faite. Il a été constaté que la faisabilité de réutilisation des eaux usées épurées par la STEP sans risque sanitaire et impact négatif sur l'environnement est possible en appliquant plusieurs procédés tels que : le procédé Fenton et l'extraction à l'aide de l'éthylène diamine tétraacétique (EDTA). La valorisation agricole (compostage) s'avère la meilleure solution et la principale voie d'élimination des boues à partir des stations d'épuration. Le compostage possède un intérêt agronomique intéressant sans des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

**Mot clés :** Eau usées - Boues activée- Epuration- Effluents- Valorisation- Réutilisation des eaux usées -Compostage.

## Abstract :

Our study focuses on the recovery and reuse of activated sludge. A literature review on the residual sludge from wastewater treatment by different processes carried out by wastewater treatment plants (STEP) and the main determination of the elimination of these solid effluents (sludge) was made. It was found that the feasibility of reusing wastewater purified by the WWTP without health risk and negative impact on the environment is possible by applying several processes such as: the Fenton process and extraction using ethylene tetra acetic diamine (EDTA). Agricultural recovery (composting) is the best solution and the main route for eliminating sludge from wastewater treatment plants. Composting has interesting agronomic benefits without negative effects on the environment and human health.

Keywords: Wastewater - Activated sludge- Treatment- Effluents- Recovery-

Reuse of waste water - Composting.

## Liste des Figures

<b>Les titres des figures</b>	<b>Les pages</b>
<b>Figure 1.1</b> : Un dégrilleur	7
<b>Figure 1.2</b> : Dégrillage- déshuilage	8
<b>Figure 1.3</b> : Schéma d'une filière traditionnelle d'épuration des eaux usées	8
<b>Figure 1.4</b> : Etapes de traitement des eaux usées	15
<b>Figure 2.1</b> : boues primaire	21
<b>Figure 2.2</b> : Boues physique –chimique	21
<b>Figure 2.3</b> : boues biologiques	22
<b>Figure 2.4</b> : Epannage	28
<b>Figure 2.5</b> : compostage	29

## Liste de Tableaux

<b>Les titres des tableaux</b>	<b>Les pages</b>
<b>Tableau I.1.</b> Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur	19
<b>Tableaux II.1:</b> la composition géniale des boues d'épuration	23

## Liste des Abréviations

AEF : extractible à l'ammonium et à l'acide fraction ;

°C : Degré Celsius

DBO5 : La demande biologique en oxygène pendant cinq jours

DCO : La demande chimique en oxygène

DW : unité déciwatte.  
EPS : substances polymères extracellulaires.  
Kg : kilogramme.  
KJ : kilojoules.  
MES : Les matières en suspension.  
MMS : Les matières minérales en suspension.  
MO : la matière organique.  
MS : matière sèche.  
MVS : Les matières volatiles en suspension.  
N : Azote.  
NA : acide naphthénique.  
P : Phosphore.  
PAC : poly-alumino- chlorure .  
pH : Le potentiel d'hydrogène.  
Q-PCR : Réaction de polymérisation en chaine ;  
WTP : station d'épuration.

## Sommaire

**Remerciement**

**Dédicaces**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**

## Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

Les titres	Les pages
1-Introduction	3
2-Définition des eaux usées	3
3-Origines des eaux usées	3
3-1- Les eaux usées domestique	3
3-2- Les eaux usées industrielles	4
3-3- Les eaux agricoles	4
3-4- Les eaux pluviales	5
4-Les procédés d'épuration des eaux usées	5
4-1-Les prétraitements	5
4.1.1. Le dégrillage	6
4.1.2. Dessablage	7
4.1.3. Dégraissage- Déshuilage	7
4.2. Traitement primaire (physico-chimique)	9
4.2.1. Décantation primaire	9
4-2-1-1-La décantation physique naturelle	9
4-2-1-2-Les traitements de décantation physico-chimiques	10
4.2.2. Coagulation – Flocculation	10
4.2.3. Flottation	11
4.2.4. Filtration	11
4.3. Traitement secondaire ou traitement biologique	12
4.3.1.Les procédés biologiques extensifs	12
4-3-2- Les procédés biologiques intensifs	13
5. Les caractéristiques des eaux usée	16
5.1. Les paramètres organoleptiques	16
5.1.1. La couleur	16
5.1.2. L'odeur	16
5.2. Les paramètres physiques	16
5.2.1. La température	16
5.2.2. La turbidité	16
5.2.3. Les matières en suspension	16



5.2.4. La Conductivité	17
5.3. Les paramètres chimiques	17
5.3.1. Potentiel d'hydrogène	17
5.3.2. La Demande Biochimique en Oxygène	18
5.3.3. La Demande Chimique en Oxygène	18
5.3.4. La biodégradabilité	18
5.3.5. La Matière Organique	19
6. Normes Algériennes	19

## Chapitre 2 : Généralités sur les boues

Les titres	Les pages
1-Introduction	20
2. Définition	20
3. L'origine des boues	20
3.1. Les boues primaires	20
3.2. Les boues physico-chimiques	21
3.3. Les boues biologiques	22
4. La composition des boues	23
5. Les caractéristiques des boues	23
5.1. Caractéristiques physiques chimiques des boues	23
5.1.1. Les matières en suspension	23
5.1.2. Les matières volatiles sèches	23
5.1.3. Les matières minérales	24
5.1.4. Fraction volatile	24
5.1.5. La siccité	24
5.1.6. Indice de boue	24
5.1.7. Définition de volume de décantation	25
5.1.8. Viscosité	25
5.2. Les caractéristiques biologiques des boues	25
5.2.1. Les bactéries	25
5.2.2. Les parasites	26
5.2.3. Les micropolluants	26

5.2.4. Composition des matières organiques	26
5.2.5. Composition des matières minérales	26
6. Valorisation des boues	26
6.1. Définition de la valorisation	26
6.2. Les différents types de la valorisation	26
6.2.1 Valorisation énergétique	26
6.2.2. Valorisation industrielle	27
6.2.3. Valorisation agricole	27
6.2.3.1. L'épandage	27
6.2.3.2. Le compostage	28
7. Les impacts des boues sur l'environnement	29

### **Chapitre 3 : Synthèse bibliographique**

Les titres	Les pages
Introduction	30
Conclusion	38
références	40

## Introduction générale

L'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Ces eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel [1].

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station, il en résulte d'une part une eau épurée qui est rejetée dans le milieu naturel et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles [2].

Une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment les ressources hydriques. Le rôle secondaire réside bien entendu la réutilisation des eaux épurées dans l'agriculture et à usage industriel ainsi que la valorisation des boues produites en agriculture. Les procédés de traitement des boues existants au niveau des stations d'épuration dépendent de l'origine et de la nature des boues produites par ces stations. Les quantités des boues produites sont très importantes et leur élimination s'avère être délicate. Un traitement efficace pour ces boues accompagné par des analyses afin d'indiquer leurs structures et compositions avant leur utilisation dans l'agriculture sont indispensables. Ces traitements consistent essentiellement à mettre en évidence leur stabilité afin de bloquer toute activité biologique [3].

Le traitement des boues conduit à la réduction de la teneur en eau basé sur des procédés d'épaississement ou/et de déshydratation après conditionnement des boues, et des traitements complémentaires ou post-traitement qui permettent une meilleure stabilisation de la boue ce qui facilite sa manipulation : compostage [4] .

Le compostage des boues consiste à aérer un mélange de boues fraîches et de coproduits de type cellulosique (déchets verts, copeaux de bois broyés...) puis à laisser évoluer l'ensemble pendant quelques semaines. Le compostage permet une stabilisation, une hygiénisation et un séchage partiel de la boue. Il transforme la boue en un amendement organique proche d'un terreau. Une nouvelle norme garantit aujourd'hui la qualité du compost [5].

Le compostage ouvre de nouvelles voies à la filière d'épandage des boues. En effet, le compost est utilisé comme amendement organique, tandis que les boues classiques

sont épandues comme des engrais minéraux. Compte tenu du déficit en matière organique des sols agricoles, les boues compostées sont plus attrayantes pour les agriculteurs [6].

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre englobe des généralités sur les eaux usées, leurs sources ainsi les différentes techniques appliquées pour leurs traitement.
- Le deuxième chapitre est consacré aux généralités sur les boues, leurs compositions et caractéristiques, la fin du chapitre est dédiée au compostage,
- Le troisième chapitre comporte une synthèse bibliographique sur l'utilisation des boues dans le traitement des eaux usées ainsi l'efficacité de différents traitements appliquées sur les boues afin de les utilisées pour améliorer le traitement des eaux usées.

Enfin, on achève par une conclusion où elle regroupe l'essentiel des résultats trouvés par rapport aux travaux de recherches consultés durant cette étude ainsi que les perspectives envisagés pour la présente étude.

## **CHAPITRE I : Généralités sur les eaux usées**

### **1. Introduction :**

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc épurer avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs. La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Le traitement des eaux usées est une alternative susceptible de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs. Il s'agit essentiellement de réaliser l'élimination de composés organiques biodégradables. Certains procédés permettent la culmination de l'azote et même du phosphore. Une grande majorité de ces polluants est transférée de la phase liquide vers une phase concentrée boueuse [7].

### **2-Définition des eaux usées :**

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établie [8]. Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisance [9].

### **3-Origines des eaux usées**

Suivant l'origine et la qualité des substances, on distingue quatre (04) catégories d'eaux usées :

#### **3-1-Les eaux usées domestiques :**

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux sanitaires, eaux de lessive, eaux de cuisine) et les eaux de vannes (urines et matières fécales) dans le système dit « tout-à-l'égout » [10].

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et organiques. Les matières minérales sont constituées de chlorures, phosphates, sulfates, etc. Les matières organiques englobe de composés ternaires, telles que les sucres et les graisses (formés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, mais aussi d'azote et dans certains cas, d'autres corps tels que le soufre, le phosphore, fer, etc.) [11].

### **3-2-Les eaux usées industrielles :**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle, elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries)
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations.

### **3-3-Les eaux agricoles :**

L'agriculture est une source de pollution des eaux qui n'est pas du tout négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

### **3-4-Les eaux pluviales :**

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans les canalisations d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique

### **4-Les procédés d'épuration des eaux usées**

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grandes tailles), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses). Vient ensuite un traitement dit primaire, une décantation plus longue, pour éliminer une partie des matières en suspension (MES). Des traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont ensuite appliqués afin d'éliminer la matière organique. Ils sont généralement suivis d'une phase de clarification qui est encore une décantation. Enfin, un traitement des nitrates et des phosphates est exigé en fonction de la sensibilité du milieu récepteur. Il existe également des traitements dits extensifs, comme le lagunage, qui combinent des traitements biologiques, physiques et naturels [12].

#### **4-1-Les prétraitements :**

Les prétraitements visent à retirer de l'eau usée les matières qui peuvent nuire à la qualité du traitement aval ou à la pérennité des ouvrages. Ces matières sont :

- les objets encombrants: un dégrilleur retient les objets trop volumineux et encombrants qui pourraient dégrader les pompes ou obstruer les canalisations. Les dégrilleurs modernes disposent de râteliers d'évacuation des objets avec des systèmes automatisés d'ensachage des refus de dégrillage. Les refus de dégrillage sont envoyés soit en centre d'enfouissement technique de classe 2 (CET II), soit en incinération.

–les graisses, huiles et autres matières flottantes : elles sont récupérées dans un dégraisseur, ouvrage dans lequel, par diffusion de fines bulles d'air, les huiles et les graisses remontent à la surface où elles sont raclées. Les graisses peuvent soit être traitées sur la station soit être évacuées en CET ou en incinération. Les graisses perturbent les traitements biologiques en limitant la diffusion de l'oxygène dans l'eau et en gênant la décantation des boues. Par leurs propriétés chimiques, elles peuvent également être source d'odeurs nauséabondes et de colmatage des canalisations. Elles diminuent aussi les performances de la déshydratation des boues. Enfin, les substances lipidiques favorisent le développement des bactéries filamenteuses, sources de graves perturbations sur les stations [13].

Les sables et les matières facilement décantables : un dessableur récupère par décantation les sables, protégeant ainsi les ouvrages en aval d'un ensablement et les pompes d'une usure accélérée. Les sables sont également évacués en CET. Toutefois des systèmes modernes permettent leur recyclage par lavage et classification [14].

Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre les opérations à savoir : le dégrillage (principalement pour les déchets volumineux), le dessablage (pour les sables et graviers) et le dégraissage-déshuilage (pour les huiles et les graisses) [15].

#### **4.1.1 Le dégrillage :**

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent à travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses et flottantes charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquant leurs exécution. Le dégrillage permet aussi de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères.

Cette opération est effectuée si possible avant la station de relevage afin de protéger les pompes à vis d'Archimède et de ne pas gêner le fonctionnement des étapes ultérieures du traitement à savoir :

- Le pré-dégrillage grossier dont les barreaux des grilles sont espacés de 30 à 100mm,
- Le dégrillage moyen de 10 à 30mm,
- Le dégrillage fin moins de 10mm.



Les grilles peuvent être verticales, mais sont le plus souvent inclinées de  $60^\circ$  à  $80^\circ$  sur l'horizontale [12].

La figure ci dessous présente un dégrilleur



**Figure 1.1** : Un dégrilleur [16].

#### **4.1.2. Dessablage :**

Le dessablage a pour but d'extraire à partir des eaux brutes : les graviers, le sable et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux, conduites et les installations et de protéger les unités de traitement contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques. L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à  $100\mu\text{m}$

#### **4.1.3. Dégraissage - Déshuilage :**

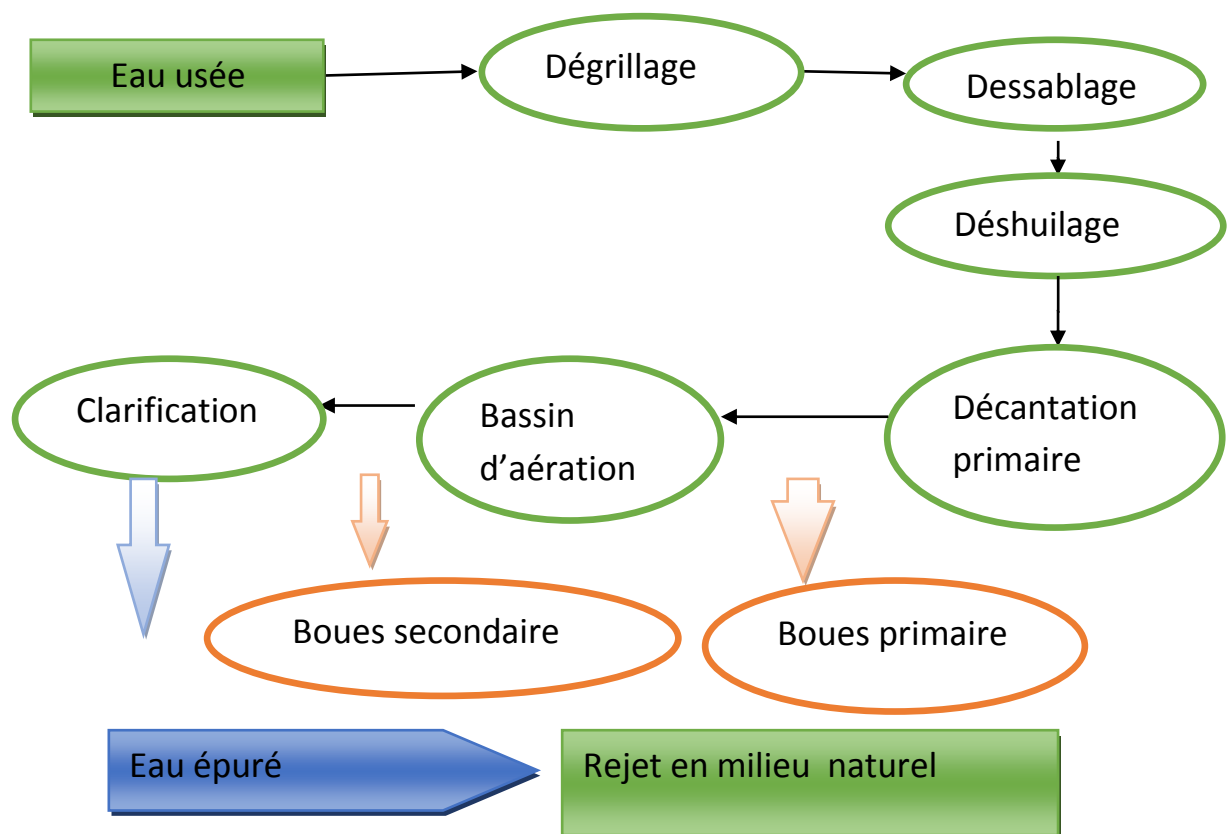
Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau issue non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs.... etc. Le dégraissage et le déshuilage permettent de récupérer grâce à des racleurs les huiles et les graisses domestiques ou industrielles qui tendent généralement à remonter en surface des eaux usées par flottation. Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence de corps gras dans les eaux

usées qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite [12].

La figure 1.2 : ci-dessous représente dégraissage - déshuilage et la figure 1.3 : un schéma d'une filière traditionnelle d'épuration des eaux usées.



**Figure 1.2 :** Dégraissage -déshuilage [16]



**Figure 1.3:** Schéma d'une filière traditionnelle d'épuration des eaux usées [17].

## **4.2. Traitement primaire (physico-chimique) :**

Le traitement primaire consiste en une étape de décantation. Cette phase permet d'éliminer une fraction des matières en suspension jusqu'à 60 % , de la matière organique et de l'ordre du tiers de la DBO5 entrante [18].

Cette pollution constitue alors les boues primaires, fortement organiques et fermentescibles qui sont envoyées vers la chaîne de traitement des boues. Le traitement primaire permet de réduire la charge polluante arrivant au traitement secondaire mais génère un volume de boues important. Cette étape ne permet pas d'atteindre les seuils de rejets réglementaires. La fosse Imhof, particulièrement bien adaptée aux petites STEP, est un procédé qui cumule la décantation primaire, la digestion et le stockage des boues [19].

Dans les stations qui fonctionnent uniquement par traitement physico-chimique (cas de nombreuses villes côtières), le traitement primaire est la seule étape de traitement de l'eau. Dans ce cas, la décantation est optimisée par un conditionnement préalable avec un coagulant. Ce dernier est mélangé à l'eau usée (coagulation) et regroupe les particules et colloïdes faiblement décantables en floccs plus lourds (floculation) qui sont alors piégés par décantation. La décantation lamellaire, version optimisée de la décantation classique, permet également d'améliorer la performance de cette étape et de diminuer l'emprise au sol des ouvrages. Le traitement primaire est une étape facultative et dans de nombreuses STEP, les eaux usées prétraitées sont directement acheminées vers la phase de traitement secondaire [20].

Les procédés de traitement physico-chimiques font appel à des procédés physiques. Ces traitements sont la décantation, la coagulation- floculation, flottation et filtration.

### **4.2.1. Décantation primaire**

#### **4-2-1-1-La décantation physique naturelle**

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels : grosseur et densité des particules. La base de ces procédés de séparation solide liquide est la pesanteur. L'usage de réactifs coagulants (chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ), sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ).... etc), bien qu'ils ne soient pas souvent employés, peut favoriser l'agglomération des petites particules et faciliter

leur séparation par décantation. On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire obtenir la clarification de l'eau brute; si l'on veut obtenir une boue concentrée, on parle de sédimentation qui a pour but d'éliminer les matières en suspension de la fraction liquide, en utilisant la seule force de gravité. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de l'ordre de 1,2 m/h, de 40 à 60 % des MES, soit 40% de matière organique, 10 à 30 % des virus, 50 à 90 % des helminthes et moins de 50 % des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluants. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les boues "primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage. L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable.

#### **4-2-1-2-Les traitements de décantation physico-chimiques**

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. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

#### **4.2.2. Coagulation – Floculation :**

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). La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former des flocons qu'on peut facilement éliminer par les procédés de

décantation et de filtration. Ces traitements sont généralement utilisés dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). La séparation du floc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les procédés les plus modernes utilisent du micro sable injectés dans l'effluent afin d'accélérer la décantation des floes. On parle alors d'élimination à floes lestés [21].

Les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus. Cependant, leur utilisation, et notamment le dosage de sels de fer et d'aluminium, n'est pas toujours bien optimisée. Il y a donc un risque de surcoût lié à une mauvaise utilisation, voire un risque environnemental.

#### **4.2.3. Flottation :**

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient [22].

Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau [23].

Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO5 et de la DCO [22].

#### **4.2.4. Filtration :**

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente. La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement, de certains goûts et odeurs .La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). L'utilisation de membrane ayant des pores de plus en plus petits permettent de pousser très loin le seuil de séparation de la matière pour aller jusqu'à la rétention de molécules et de sels [12].

### **4.3. Traitement secondaire ou traitement biologique**

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Des micro-organismes mis en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les micro-organismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à culture fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériens, etc.), les procédés à décantation interne (lagunage) et les techniques d'épandage-irrigation,.. etc. Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent aussi à l'élimination de l'azote et du phosphore. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène [24].

En traitement biologique on distingue des procédés extensifs et d'autres intensifs.

#### **4.3-1-Les procédés biologiques extensifs :**

Une lagune aérée utilise le même principe que le lagunage simple dans le quel, l'apport d'oxygène est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques. Une lagune aérée est assimilée à un vaste bassin aérobie. Il existe deux types de lagunes aérées : Les lagunes aérobies dans laquelle on maintient une concentration en oxygène dissous dans tout le bassin. Les lagunes facultatives dans laquelle l'oxygène n'est maintenu que dans la partie supérieure du bassin. Une zone anaérobie est donc présente au fond du bassin. Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes.

#### 4-3-2- Les procédés biologiques intensifs :

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Trois grands types de procédés sont utilisés [25]:

- les lits bactériens,
- les disques biologiques,
- les boues activées.

Deux types d'installations sont utilisés [26] :

1) **Les installations à "cultures fixées"**, d'où on distingue différents types de supports pour les cultures bactériennes : les disques biologiques et lits bactériens.

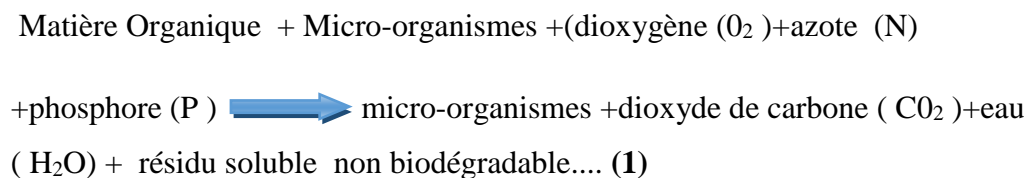
a) **Disques biologiques** : est une technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants où se développent les micro-organismes et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. [27]

b) **Lits bactériens** : le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu' aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO5 [28].

2) **Les installations à "cultures libres", ou par boues activées** : est le procédé le plus répandu actuellement pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines des petites, moyennes ou grandes collectivités. Le procédé à boues activées est un système en

continu dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec des eaux usées renfermant des matières biodégradables pendant un temps suffisant. Ces amas biologiques sont maintenus en agitation au sein de l'eau de façon à assurer un contact avec toute la partie de l'effluent. L'oxygénation est fournie en quantités suffisantes par des aérateurs [29].

Les procédés biologiques regroupent l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution. Le principe est de provoquer une prolifération de micro-organismes qui dépend des matières organiques apportées par l'effluent et en présence ou non d'oxygène. Ce dernier est présenté par l'équation ci dessous, il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de microorganismes).



Selon que l'oxydation se produit grâce à l'existence de l'oxygène dissout dans l'eau (processus aérobie) ou bien contrairement lorsque le processus se fasse sans oxygène, l'opération est appelée processus anaérobie. Le moteur de décomposition (aérobie ou anaérobie) des substances organiques est constitué par des enzymes catalyseurs organiques sécrétés par les organismes. On distingue les enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein de la cellule. Les enzymes intracellulaires qui assurent l'assimilation et par conséquent, sont à l'origine des phénomènes vitaux provoquant la prolifération des cellules. Les traitements biologiques sont bien adaptés pour éliminer la pollution carbonée mais également les pollutions azotées et phosphorées. [25].

la figure I-3 schématise les différentes étapes de traitement des eaux usées.



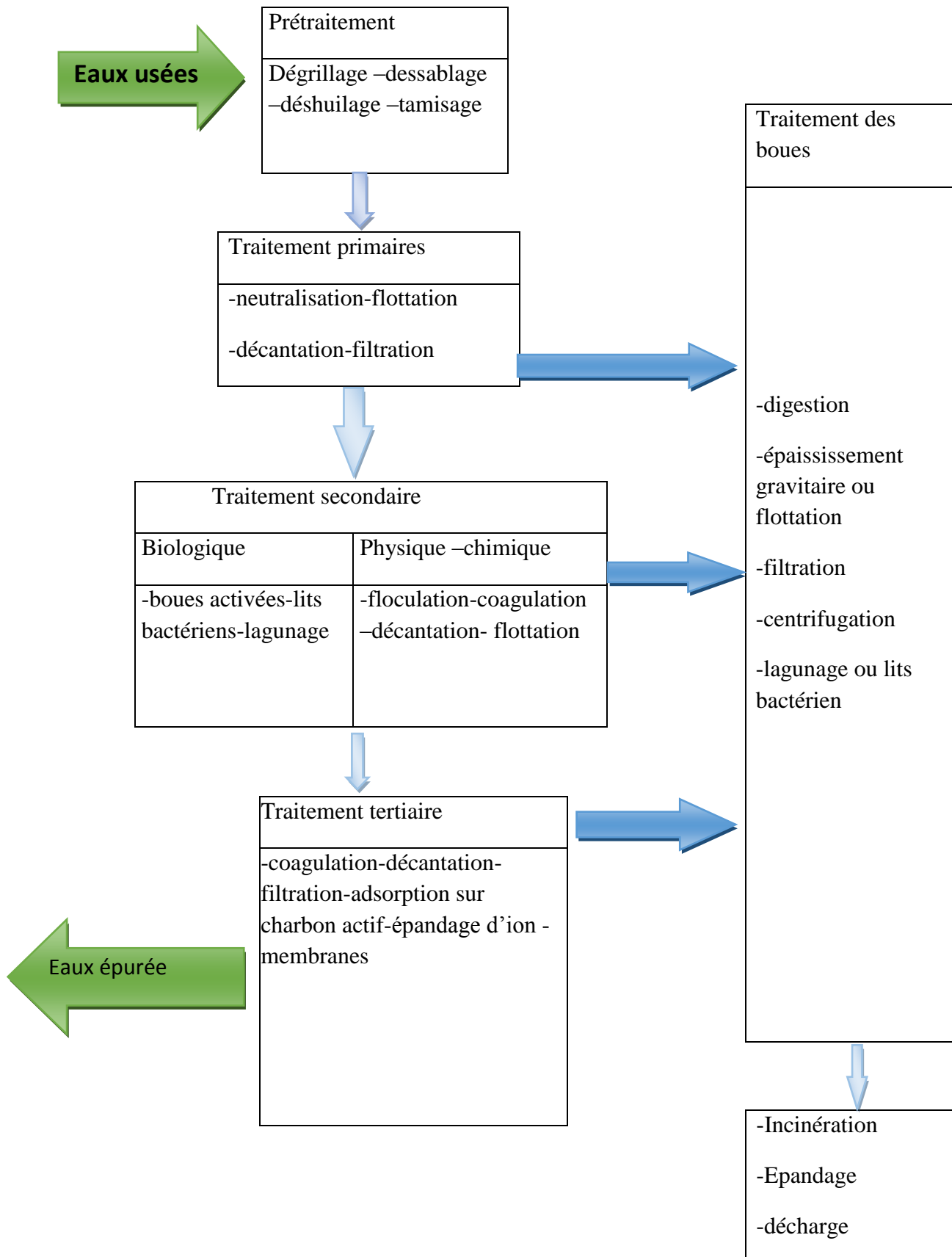


Figure 1.4 : Etapes de traitement des eaux usées [30].

## **5. Les caractéristiques des eaux usées :**

### **5.1. Les paramètres organoleptiques**

#### **5.1.1. La couleur :**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration.[29]

#### **5.1.2. L'odeur:**

Une odeur est due à un ensemble complexe de composés chimiques présents dans l'air, que l'on respire, les eaux résiduaires, chargées en matières organiques particulières et dissoutes, en composés azotés, soufrés et phosphorés, peuvent générer directement (par dégagement de composés très volatils) ou indirectement (suivant un processus biologique de fermentation en milieu réducteur)[31].

### **5.2. Les paramètres physiques**

#### **5.2.1. La température**

La température est un facteur écologique important du milieu. 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 des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [29].

#### **5.2.2. La turbidité :**

Elle est définie comme l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon. Cette dispersion est provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension [32].

#### **5.2.3. Les matières en suspension (MES) :**

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques (MVS) et minérales (MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. Les MES s'expriment par la relation suivante [33]:

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}.....(2)$$

**-Les matières volatiles en suspension (MVS) :**

Elles représentent la fraction organique des MES et elles sont obtenues par calcination de ces MES à 525 °C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau

**- Les matières minérales (MMS) :**

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates...etc. Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel et de la silice. L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par ce fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [33].

**5.2.4. La Conductivité :**

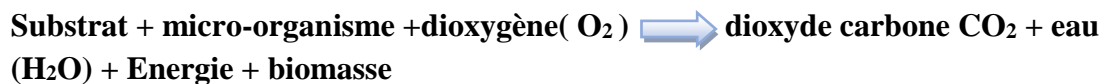
La conductivité est la propriété que possède une eau pour favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m)[34].

**5.3. Les paramètres chimiques :****5.3.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :**

Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau .L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio disponible et donc leur toxicité. Le pH joue également un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien [35].

### 5.3.2. La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) :

La DBO5 est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries à 20°C, à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé. Ce temps assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie selon la réaction chimique suivante :



### 5.3.3. La demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligramme d'oxygène par litre (mg d'(O<sub>2</sub>)/L), correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique et dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau, elle représente donc la teneur totale de l'eau en matières oxydables [34].

### 5.3.4. La notion de Biodégradabilité :

La biodégradabilité est un phénomène complexe, qui concerne toutes les transformations des polluants dans l'eau, sous l'action du métabolisme d'organismes vivants [36].

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologiques des eaux, la biodégradabilité est exprimée par un coefficient k [33]:

$$K = \text{DCO} / \text{DBO5}$$

Selon ce coefficient (K) on peut dire que :

- $K < 1.5$  l'effluent est biodégradable,
- $1.5 < k < 2.5$  l'effluent est moyennement biodégradable,
- $K > 2.5$  l'effluent n'est pas biodégradable.

### 5.3.5. Les matières organiques (MO)

C'est un paramètre utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante [34]:

$$MO = (2 DBO5 + DCO) / 3(1)$$

## 6. Normes Algériennes

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau I.1.

**Tableau I.1.** Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur  
[37]

<b>PARAMAITRE</b>	<b>Unité</b>	<b>La valeur limite</b>
<b>Température</b>	<b>°C</b>	<b>30</b>
<b>pH</b>	<b>-</b>	<b>6.5-8.5</b>
<b>MES</b>	<b>mg /L</b>	<b>35</b>
<b>DBO5</b>	<b>mg/L</b>	<b>35</b>
<b>DCO</b>	<b>mg/L</b>	<b>120</b>

## **Chapitre II : Généralités sur les boues**

### **1-Introduction**

Le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La mise en décharge (appelée aussi stockage) s'avère une technique peu valorisante et elle est légalement interdite dans de nombreux pays [38].

### **2. Définition:**

Les boues sont définies comme un mélange d'eau et de matières solides, ces dernières sont séparées par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contient. Les boues d'épuration sont les sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées, les boues d'épuration urbaines résultent du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particules et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire [39].

### **3. L'origine des boues :**

#### **3.1. Les boues primaires :**

Les boues primaires sont obtenues par les dépôts récupérés par simple décantation des eaux usées. Elles sont à la fois riches en matières minérales (micro-sables, terre, etc.) et contiennent des matières organiques susceptibles d'évolution. Elles sont obtenues, par exemple, dans les décanteurs digesteurs [40].

La figure ci dessous représente les boues primaires .



**Figure 2.1 :**Boues primaire [41].

### **3.2. Les boues obtenues par traitement physico-chimiques :**

Le traitement physico-chimique représenté par la figure ci dessous, permet l'agglomération des particules (coagulation- floculation) par adjonction d'agents flocculant (chlorure de fer ou poly-alumino-chlorure (PAC)). Ces amas de particules ainsi formés seront séparés de l'eau par décantation dans des clarificateurs (élimination des particules formées décantables de taille généralement supérieure à 50  $\mu\text{m}$ ). Ce traitement peut être effectué préalablement aux traitements biologiques et s'intègre dans ce cas dans les étapes du traitement primaire [40].



**Figure 2.2 :** Boues obtenues par traitement physico –chimique [41].

### 3.3. Les boues biologiques

Biomasse en excès provenant du traitement biologique secondaire. Elles sont aussi appelées boues secondaires ou boues activées [42].

Elles proviennent d'une épuration biologique des eaux usées, composées d'agrégats de micro floccs bactériens [43].

Ces dernières sont présentées par la figure 2-3 ci dessous. On distingue :

**a) Les boues mixtes :** représente un mélange des boues biologiques et des boues primaires. Ce mélange est généralement réalisé avant la stabilisation des boues.

**b) Les boues d'aération prolongées :** ces boues existant au niveau de STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures [39].



**Figure 2.3 :** Boues biologiques [41]



#### 4. Composition des boues

Les boues contiennent différents constituants. Le tableau ci-dessous englobe la composition des boues d'épuration.

**Tableaux II.1:** Composition des boues d'épuration [44]

Composé	Pourcentage
Matière sèche (MS)	2 à 95 % selon la siccité
Matière organique (MO)	50 à 70 % de la MS
Azote	3 à 9 % de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Potasse	<1% de la MS
Magnésium	<1% de la MS
Chaux	4 à 8 % de la MS
Carbone /azote	5 à 12 de la MS

#### 5. Caractéristiques des boues

##### 5.1. Caractéristiques physico-chimiques des boues

Il s'agit des caractéristiques générales de la partie solide et de la partie liquide d'une boue.

##### 5.1.1. Les matières en suspension

Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée. Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$$\text{MES} = \text{MS} - [\text{Substances organiques et minérales dissoutes}] \text{ [45].}$$

##### 5.1.2. Les matières volatiles sèches

Les matières volatiles sont déterminées par une calcination dans un four à moufle à 550°C pendant 2h du résidu sec, obtenu précédemment lors de la mesure de la matière sèche. La connaissance des masses avant et après calcination permet de

calculer le pourcentage massique de matières volatiles rapportées à la matière sèche [46].

### **5.1.3. Les matières minérales**

Elle représente le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son (extrait sec) constituée à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures et les phosphates. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte concentration des matières organiques consommatrices d'oxygène [47].

### **5.1.4. Fraction volatile (en % des matières sèches)**

C'est le rapport entre les matières volatiles en (g/L) et les matières sèches en (g/L). La fraction volatile donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) [48].

### **5.1.5. La siccité**

Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90%. On constate :

- Boues liquides : siccité de 0-10%,
- Boues pâteuses : siccité de 10 -25%,
- Boues solides : siccité de 25 -85%,
- Boues sèches : siccité supérieure à 85% [49].

### **5.1.6. Indice de boue ( IB)**

L'indice de boue est défini à partir de tests de décantation permettant d'obtenir des volumes de boues compris entre 100 et 250 ml. Cet indice indique que lorsque : [50]

- IB < 100 : correspondent à des boues qui sédimentent facilement,
- 100 < IB < 200 : décantation difficile (quelques filaments),
- IB > 200 : mauvaise décantation (boue riche en filaments).

### **5.1.7. Volume de décantation**

Le volume décanté pendant 30 min, doit impérativement être inférieur à 300 ml , au-delà, y a nécessité d'opérer une dilution des boues par de l'eau avant la réalisation du teste la décantation [51].

### **5.1.8. Viscosité**

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Leur viscosité est alors de l'ordre de quelques mPas. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes, la boue adopte un comportement rhéologique généralement fluidifiant, modélisable [52].

## **5.2. Les caractéristiques biologiques des boues**

Les boues résiduaire contiennent une grande quantité de micro-organismes (virus, bactéries et parasites), ces derniers, sont éliminés de l'eau avec les boues qui décantent. La concentration des pathogènes peut être réduite significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et compostage.

### **5.2.1. Les bactéries**

Dénombrer de différents types de bactéries dans les boues, une partie de celle-ci est d'origine fécale et certaines sont porteuse de germe, elles peuvent donc être pathogènes. Ces bactéries sont classées en quatre types:

- aérobies stricte qui se développent seulement en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées,
- aérobie facultatives qui peut se développer en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (aéromonase),
- anaérobie facultatives qui peuvent supporte la présence de l'air mais ne se développement que grâce à des processus anaérobies (lactobacilles),
- Anaérobies stricte dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (Clostridie).

### 5.2.2. Les parasites

On trouve de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique. Les cas les plus fréquents sont les œufs d'ascaris [53].

### 5.2.3. Les micropolluants

Les boues contiennent en faible quantité de nombreux micropolluants qui peuvent être soit toxique pour les plantes, présent des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes.

### 5.2.4. Composition des matières organiques

Les boues sont constituées de matières organiques complexes non dégradées. Ces dernières sont principalement constituées de quatre grandes familles : les protéines, les lipides, les carbohydrates (glucose) et les acides gras [54].

### 5.2.5. Métaux lourds

Il s'agit essentiellement de ce qui nomme des métaux lourds, qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain pour leur rôle dans le développement des cultures irriguées par des boues liquides ou solide [55].

## 6. Valorisation des boues

### 6.1. Définition de la valorisation

La valorisation est un terme générique recouvrant le recyclage de matière organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que la réutilisation et la régénération.

### 6.2. Les différents types de la valorisation

#### 6.2.1 Valorisation énergétique

Ce procédé repose initialement sur :

- a) **Incinération** : consiste à l'oxydation de la matière organique contenue dans les boues d'épuration, Elle est réalisée, à une température de 850°C, dans des installations spécifiques [56].
- b) Pour obtenir un certain niveau de siccité dépendant du type d'incinération (35 % minimum pour combustion dans incinérateur à boues, 65 % pour co-incinération avec les ordures ménagères).

- c) **Co-incinération** : les boues sont incinérées en mélange avec les déchets ménagers, quelle que soit leur siccité. Les cendres issues de la combustion des boues se répartissent entre les mâchefers (80-90 %) et les REFIOM (10-20 %)[57].
- d) Les mâchefers issus de la co-incinération représentent 250 à 300 kilogrammes par tonne incinérée [58].

### **6.2.2. Valorisation industrielle**

Valorisation des boues dans les produits céramiques : la céramique peut être produite à partir des cendres de boue seules ou en mélange avec des additifs auxquelles on applique un traitement thermique.

- Fabrication de tuiles et de briques : les cendres issues d'incinération des boues d'épuration peuvent être ajoutées à l'argile pour fabriquer des tuiles et/ou briques,
- Fabrication des matériaux légers à base de cendres : les cendres de boues d'épuration peuvent être utilisées dans des matériaux d'isolation thermique. En effet, elles présentent une structure poreuse et des particules irrégulières, ce qui permet d'obtenir des matériaux à faible conductivité thermique [59].

### **6.2.3. Valorisation agricole**

#### **6.2.3.1. L'épandage :**

La réglementation prévoit deux grandes périodes d'épandages : le printemps, de mars à avril, et à la fin de l'été, d'août à octobre.

L'épandage est interdit en dehors de ces périodes mais les boues continuent d'être produites et stocker[60].

Le stockage des boues d'une façon correcte est un facteur-clé pour fiabiliser les épandages en abaissant leur charge en agents biologiques pathogènes. Le stockage doit être sur sol nu et dans un période très long (12 à 18 mois) [61].

La figure ci dessous présente l'épandage.



**Figure 2.4 :** Epandage [41].

#### **6.2.3.2. Le compostage :**

Le compostage présenté par la figure 2-5 consiste en une dégradation par voie aérobie des matières organiques fermentescibles se déroulant naturellement dans le sol [62].

La température doit atteindre entre 55 et 65 °C pendant quatre heures. Elle conduit à la production d'un compost riche en matières humiques et à un dégagement de en lettre et entre parenthèse la formule chimique  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ , de chaleur.

Il présente plusieurs avantages par rapport à l'épandage :

- Réduction du volume des boues et de leur teneur en eau,
- Réduction des odeurs,
- Meilleure maniabilité (meilleure structure que les boues non compostées),
- Stabilisation et hygiénisation naturelles sans additifs chimiques .Plus grand intérêt agronomique (une grande quantité d'humus riche en éléments fertilisants).



**Figure 2.5** : Compostage [41]

### **7. Les impacts des boues sur l'environnement**

Les boues d'épuration sont considérées comme des déchets dangereux, qu'il tend à se concentrer les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que des organismes pathogènes (virus, bactéries...etc.), présent dans les eaux usées.

La plupart des polluants présents dans les boues d'épuration sont adsorbés par les particules du sol. Les modifications de la composition du sol vont essentiellement dépendre des propriétés du sol récepteur (sol de décharge), le substratum de la décharge, de situation géographique dans laquelle s'y trouve et de climat du milieu. Les lexiviats ou jus de décharge constituent le principal contaminant de la nappe Phréatique. Les boues contiennent notamment des eaux et des éléments polluants les lexiviats qui peuvent percoler dans les nappes phréatiques, lors d'une période fortement pluvieuse et suivant au l'écoulement des eaux, ils vont affecter les eaux de surface. Le transport des quantités importantes des boues d'épuration et la mise en décharge présentent l'impact le plus important à cause de la dispersion des substances toxiques dans l'atmosphère et principalement l'émission gazeuse de sulfure et de l'azote qui peuvent être dangereuses pour la santé humaine et animale [63].

### Chapitre III : Synthèse bibliographique

Suite aux conséquences de la pandémie (covid 19) et durant notre période de confinement, nous nous sommes intéressées par la rédaction de cette partie nommée la synthèse bibliographique et cela dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'étude. Notre synthèse repose sur des travaux de recherche qui s'intéressent au traitement des boues des eaux usées en analysant plusieurs méthodes.

S chang-mao hung et ses collaborateurs (2020) ont s'intéressé par l'activation du percarbonate par les boues de traitement de l'eau biochar pour l'assainissement des sédiment contaminés par les hydrocarbures aromatiques (HA). Les boues d'une station d'épuration des eaux souterraines ont été utilisées pour préparer du biochar (biochar est un amendement du sol issu de la pyrolyse de biomasse) par pyrolyse. Les résultats ont montré que le biochar produit à une température de 700 °C était le plus efficace pour activer le percarbonate qui présentait une élimination oxydative significative des HA. La dégradation des HA a eu lieu via une oxydation de type Fenton, ce procédé a contribué à partir des paires redox  $Fe_3/Fe_2$  et  $Mn_3/Mn_2$ . Le rendement de dégradation a été trouvé de l'ordre de 87% à pH 6. Les réactions entre les groupes fonctionnels oxygénés du biochar et l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) générées à partir d'oxygène et les radicaux hydroxyles HO en abondance à pH neutre et alcalin était responsable de la dégradation catalytique des HA. Les résultats ont montré un nouvel aperçu des application environnemental du traitement vert en utilisant ce procédé pour l'assainissement durable des sédiments contaminés par les matières organiques [64].

L boisen et ses collaborateurs (2019) ont s'intéressé par l'extraction et la quantification des polyphosphates dans les boues activées à partir de la station d'épuration par la spectroscopie RMN. Dans cette étude, la récupération du phosphate à partir des eaux usées était par le polyphosphate. Ce dernier, est un constituant majeur des boues activées des station d'épuration avec élimination biologique améliorée du phosphore grâce à la synthèse du poly-P par les organismes accumulateurs. Pour cela trois protocole d'extraction ont été étudiés :

1) 0.25 M NaOH -0.05M EDTA



2) 0.05M-0.25M EDTA

3) 0.25M NaOH 0.05 M EDTA,

Les résultats ont montré que le protocole d'extraction 2 était optimal pour les boues activées fraîches, extraction de 10,8 à 11.4 mg P/g DW de poly-P. Les protocoles d'extraction 1 et 3 extraient à moins de 9.4mg P/g DW de poly-P. Une comparaison de la quantification du poly-P par RMN à l'état solide de boues activées lyophilisées ont montré 86% d'efficacité d'extraction du poly-P. Ce qui confirme que le protocole d'extraction a récupéré la plupart des poly-P à partir des échantillons sans dégradation prononcée du poly-P [65].

S. Maamri et ses collaborateurs (2019) ont s'intéressé par la faisabilité de la digestion anaérobie des boues activées par un digesteur en mode batch dans des conditions thermophiles de température de l'ordre de 55 °C. Pour ce la, ils ont étudié la digestions avec huit concentrations différentes de l'ordre de 8,25 ; 15,5 ; 36,65 ; 41,5 ; 49,6 ; 58,5 ; 69,6 et 150,8 g/L. Alors, durant 32 jours de digestion, les résultats obtenus ont montré qu'il y avait une relation proportionnelle entre le taux de matière sèche (8.25 à 69.6 g/L) et la production volumétrique du biogaz avec un stable rendement en méthane de l'ordre de 0.69 l/g MVSr  $59,68 \pm 0,9$  %. Lorsque la teneur totale en solides était portée à 150 g/L, la réduction de la matière volatile solide (MVS) et le rendement en méthane diminuent ( $0,49$  l / g MVSr)  $49,38 \pm 1.4$  %. En effet, à forte charge d'alimentation, l'efficacité de la conversion biochimique s'affaiblit à cause des limitations de transfert de masse et ou d'accumulations d'inhibiteurs [66].

A L Marguti et ses collaborateurs (2018) ont porté que pour une alimentation public basée sur le traitement de l'eau. Ils ont étudié l'impact de l'élimination des boues de la STEP conventionnelle de la rivière de Rio Grande. Les boues générées dans les stations de traitement des eaux et les stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont considérées comme déchets solides. Cette évaluation d'effet d'ajout des boues s'est concentrée sur l'analyse des variables de qualité des effluents primaires et finaux de STEP et des paramètres opérationnels des différentes composantes du processus de traitement tels que : DBO, DCO, TSS, VSS, ammoniac, azote total, phosphore et le fer ont été mesurés à l'entrée des effluents primaires et à la liqueur mixte. La performance du processus de STEP était analysé avec et sans

ajout de boues: «sans boue» dans les années 2005 et 2006 et «avec boue» de l'année 2007 à 2008. L'ajout des boues au processus (2007-2008) a augmenté l'efficacité d'élimination des stations d'épuration pour les solides de 93% jusqu'au 96%. La matière organique (du 92% au 94% pour la DBO) et le phosphore( du 52% au 88%), ce qu'il implique l'ajout de boues WTP dans les stations d'épuration ne provoque pas d'impacts sur le processus de traitement des eaux usées car les unités de traitement absorbent la charge supplémentaire des boues de WTP[67].

N Seghairi et ses collaborateurs (2017) ont s'intéressés par le traitement des eaux usées par coagulation- floculation utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant. Les résultats obtenus après avoir faire une étude sur les différents paramètres envisagés indiquent que la dose optimale de sulfate d'aluminium est de 400 mg/L avec un élimination de plus de 96%, 82 %, 90 % et 78 % respectivement pour les phosphates, les nitrates, l'ammonium et la DBO5. Les pH optimaux pour cette étude se situent entre 6 et 7[68].

Dong et ses collaborateurs (2017) ont s'intéressés dans la déshydratation des boues activées des station d'épuration des eaux usées pour cela, ils ont utilisés des substances polymères extracellulaires (EPS), ces derniers sont des biopolymères hautement hydratés et ils jouent un rôle important dans la déshydratation des boues. Deux types de traitement ont été étudiés à savoir : l'adition de sel et la modification du pH. Ces traitement ont été proposés pour évaluer les effets des teneurs en eau liés aux performances de déshydratation des boues. Les résultats montre que la teneur en eau liée en boues activées était profondément liée au floc et la structure et la composition du EPS. L'ajout du sel et la variation de pH ont altéré la matrice floculée en entraînant la libération d'eau piégée et la réduction du volume des boues. Les traitements chimiques ont également affecté la distribution de l'eau liée. La teneur en eau augmente avec l'augmentation de la dose de NaCl, entraînant une diminution de la teneur en eau piégées dans l'EPS. Par conséquent, l'ajout de sel a entraîné un taux de filtration plus lent. En revanche, le conditionnement avec un alcalin à faible dosage a augmenté la teneur en eau liée et la déshydratation des boues[69].

Y liu et ses collaborateurs (2017) ont étudiés la contribution du deux principaux mécanismes d'élimination (biodégradation et bio-sorption) à fin d'évaluer le rôle des floccs en suspension et des bio-films attachés à partir de système intégrés de boues

activées à film fixe (IFAS). Dans leur contribution globale à l'élimination des composés organiques dans l'eau affectée par les procédés des sables bitumineux (OSPW). L'étude des deux mécanismes d'élimination ont montrés que la biodégradation était le principal mécanisme d'alimentation, tandis que la bio-sorption contribuait peu aux composés organique et l'extraction d'ammonium. Tandis que les expériences ont des floccs en suspension et des supports de bio-film, le IFAS-floccs a démontré des taux d'élimination plus élevé pour le carbone organique (COD) et l'ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ). Tandis que les bio-films avaient des meilleures performances sur l'élimination de l'AEF que les floccs. L'analyse microbienne de la q-pcr a montré que les abondances des gènes de nitrificateurs et dénitrificateurs étaient plus élevées dans les floccs que dans les bio-films[70].

Chao-lungn hwanget ses collaborateurs (2017 ) ont étudiés mélange des cendre volantes de classe F(FA) et de laitier de haut Fourneau granulé broyer avec l'ajout de trois ratios et des boues de traitement des eaux usées(WTS), une solution d'hydroxyle de sodium (NAOH) a été utilisé pour activer ces matières en poudre dans le mélange à fin de produire le CLSM activé par alcali . Un microscope électronique à balayage complet est utilisé par examiner les propriétés microstructurales du CLSM pour cela à montré que l'ajout de WTS aux échantillons CLSM réduit la maniabilité et augmente poids unitaire frais et résistance à la compression, l'étude à montré aussi que le niveau de lixiviation des métaux lourds dans le WTS brut et le CLSM dans le WTS Brut et le CLSM étaient tous deux significativement en dessous du seuil réglementaire .enfin les propriétés de l'échantillon CLSM relèvent bien conformes aux exigence du département des travaux publics du gouvernement de Taipei donc WTS peut être considéré comme une ressource sure et réutilisable [71].

M. Chennaoui et ses collaborateurs (2016) ont travaillé dans le contexte de la gestion et la valorisation des déchets solides urbains. L'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours du compostage à l'échelle pilote des déchets ménagers a été étudiée. Les résultats obtenus ont montré que :

La fraction organique des déchets solides pourrait être composté avec succès dans un délai de 60 jours et révélant une activité microbienne vigoureuse. Le compost final a

été satisfaisant pour son application agricole. Les essais de phytotoxicité menés sur des cultures de blé et de la tomate, révèlent que l'incorporation de 25% du compost au support de culture permet un taux de germination allant jusqu'à 85 % contre 70 % pour le témoin pour la variété du blé. Dans le cas de la tomate, ils ont enregistré un taux de germination de l'ordre de 67 % contre 58 % pour le témoin [72].

H Chunkai et ses collaborateurs (2015) ont étudié des réacteurs intégrés à boues activées à film fixe (IFAS), ces derniers ont été combinés avec de l'ozone et cela pour éliminer des taux élevés d'hydrocarbures pétrolières, sels, solides en suspension et métaux lourds contenant dans les eaux traitées. Les résultats ont montré que la biodégradation d'acide naphthénique (NA) diminuait significativement avec la cyclisation de NA. Les résultats de la microscopie convocabile à balayage laser (CLSM) ont montré que le bio-film dans le réacteur ozoné était significativement plus épais de l'ordre de  $(94 \pm 1.6 \text{ mm})$  par rapport celui du biofilm dans l'IFAS brut qui a été de l'ordre de  $(72 \pm 2.8)$  après 283 jours de culture [73].

M R-Hernando et ses collaborateurs (2014) ont s'intéressés par la déshydratation des boues activées de la station d'épuration des eaux usées pour cela, ils ont utilisés différents traitements à fin de comparer l'effet du traitement par ultrasons thermique et alcalins sur la rhéologie des boues de traitement des eaux usées. Deux types de traitement ont été étudiés : perturbation des floccs et les cellules en libérant de l'eau interstitielle et les composés organiques pour une bonne déshydratation. Ces traitements ont été proposés pour évaluer les effets des teneurs en eau liées aux performances de déshydratation des boues.

Les traitements étudiés ont abouti à la réduction de la viscosité des boues. Cette réduction était plus élevée lors de l'augmentation de l'intensité cisaillement. Les traitements effectués à des températures de l'ordre de 60,80, 90°C et des intensités d'ultrasons plus élevées à l'ordre de 27000kj/KG TS ont amélioré la déshydratation des boues [74].

M Koneet ses collaborateurs (2012) ont s'intéressé au traitement des eaux usées urbaine par infiltration et percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagune sous climat tropical. Les résultats montrent des performances croissantes de 93 % à 95 % sur la DCO et un abattement moyen sur la DBO5 atteignant 99 %, avec la colonisation progressive du massif de sable par la

biomasse. Avec le substrat de coco les rendements moyens sur la DCO passent successivement de 15 % à 51 % lorsque les charges hydrauliques varient de 20 à 60 L/m<sup>2</sup>j du fait que l'extraction des composés phénoliques du substrat. Cependant,

Ce procédé présente la même efficacité que le sable pour l'élimination de la pollution biodégradable. Les rendements en azote Kjeldahl sont de 75 % et 84 % pour le substrat de coco et le sable respectivement. La concentration de filtrat issu du substrat de coco n'a donné que 7 mg/L en moyenne de nitrates. Les concentrations en nitrates atteignent 40 mg/L pour le massif de sable. Ce comportement du substrat de coco pourrait être attribué à la formation de complexes entre composés azotés et les tanins issus de ce matériau [75].

El Ouazani et ses collaborateurs (2012) ont été intéressés à l'étude de l'incidence des conditions d'incinération des boues de papeterie sur sa compatibilité avec le ciment de portland. Le but de cette étude est de valoriser les boues comme matière première secondaire par rapport le ciment de portland à fin de réduire la consommation énergétique dans les filières cimenterie et la préservation des gisement naturel et cela par incinération. L'étude est basée sur l'analyse minéralogique de l'incidence ainsi la caractérisation des propriétés physico-chimiques des boues calcinées par spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP). Ces analyses ont montré qu'à une température de calcination comprise entre 650-750°C, il a été observé une destruction totale et la disparition de kaolin en laissant place au métakoalin. La composition minéralogique des boues de papeterie calcinées à différentes températures, nous laisse appréhender que le domaine de calcination permettant d'avoir les cendres les plus réactifs possibles avec le ciment de portland est compris entre 650°C et 750°C[76].

R Ayeche et A Balaska ( 2010) ont intéressé par l'étude de clarification des eaux usées de la laiterie utilisant le sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$  et la chaux  $Ca(OH)_2$ , Les essais de traitement par coagulation-décantation ont montré que les deux coagulants utilisés permettraient de débarrasser l'effluent laitier global brut de sa matière en suspension et de diminuer sa charge organique, azotée et phosphorée. Le meilleur résultat est enregistré avec la chaux car des performances d'abattement de

92 et 83 % ont été obtenues respectivement pour les MES et le PT, ce qui garantit le respect des normes algérienne en vigueur pour ces deux paramètres[77].

V Giroud et ses collaborateurs(2007) ont s'intéressé par le traitement des eaux usées en utilisant des filtres plantes qui deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement et la rétention des eaux pluviales. Les résultats montre que l'efficacité moyenne du système est de l'ordre de 95% pour les MES,69% pour la DCO,78% pour le zinc, 81% pour le plomb,21%pour le cadmium et 82%pour les hydrocarbures totaux. Le traitement par filtres plantes combiné à une décantation amont apparaît donc comme un système efficace et particulièrement bien adapté pour des ruissellements de voiries ou autoroutiers avec une charge polluantes variables[78].

N Zaim et ses collaborateurs(2007) ont s'intéressé par l'étude de compostage des boues provenant d'une station d'épuration d'une industrie agro-alimentaire. En étudiant les différents paramètres physico-chimiques. Les résultats obtenus ont montre que : la variation de pH ente 4.5 à 5 tandis que la concentration en carbone organique est importante par rapport à la teneur en azote.

Le traitement par compostage du mélange (boues + déchets de jardin) a duré 90 jours. Les résultats ont montré une augmentation progressive de la température au cours du temps pour atteindre son maximum (55 °C) vers le 21e jour tandis que la teneur en matière organique diminue avec le temps et se stabilise au bout du 80 jour.

Le compostage permet de faire passer la teneur en carbone organique de 486 à 318 mg/g, ce qui correspond à un rendement de réduction de la pollution organique du mélange de 35 % [79].

N Korsak et ses collaborateurs(2002) ont s'intéressés par l'étude de quantification des niveaux de contamination en salmonelles des eaux provenant de différentes entreprises Agro-alimentaires qui déversant leurs eaux usées dans une station d'épuration industrielle et d'estimer également l'effet d'une station d'épuration récente sur le niveau. L'étude à permis de découvrir un abattoir fut la principale source de contamination avec un niveau moyen de contamination de plus de  $10^3$  salmonelles/mL proche de celui du mélange des eaux à l'entrée de station d'épuration. La station est basée sur un procédé d'épuration biologique qui a permis de réduire le niveau de contamination dans les eaux sortantes à moins de

1salmonelle/m. Le niveau de contamination diminue peu dans les étapes biologiques de traitement. C'est principalement dans le clarificateur que s'opère la réduction par adsorption des bactéries sur les matières en suspension. Le niveau moyen des salmonelles dans les boues fraîches s'élève à  $10^2$  salmonelles/g [80].

## Conclusion

Selon les données de l'Office National de l'Assainissement (O.N.A) près de 60 % des boues générées par les stations d'épuration des eaux usées sont mise en décharge. Or, la gestion de ces boues repose sur la volonté de réduire au maximum la mise en décharge et développer par conséquent les modes de valorisation en équilibre avec le milieu naturel. La valorisation des boues résiduares demande un traitement approprié des boues visant, en particulier, à réduire la haute proportion en eau (> 95 %), éliminer la pollution par des agents toxiques et germes pathogènes ainsi que les substances à forte nuisance olfactive et pour le but de protéger l'environnement.

Cette étude s'inscrit dans une optique du développement durable des boues résiduares. Les résultats de cette étude préconisent que la solution à ce problème est la valorisation agricole, était la principale voie d'élimination de boues résiduares traitées par la STEP. L'objectif de cette étude est la valorisation des boues des eaux usées pour le traitement des effluents contenant des polluants dans le cadre d'une démarche relative à la recherche des procédés potentiellement applicables au traitement des eaux usées.

Suite aux conséquences de la pandémie ( Covid 19), notre travail expérimental a été annulé par conséquent, il a été remplacé par une synthèse bibliographique. Cette dernière a porté sur plusieurs travaux de recherches essentiellement basés sur le traitement des eaux usées et la valorisation des boues en utilisant plusieurs techniques de couplage en traitant plusieurs polluants comme les hydrocarbures aromatiques ( rejet industriel). A l'aide de cette synthèse bibliographique, il a été constaté que :

- La caractérisation des boues est une étape très intéressantes et cela en appliquant plusieurs techniques telles que : la diffraction des rayons X qui permet de déterminer les positions des atomes dans la matrice, l'infrarouge qui permet de déterminer directement la structure des matières mais cette technique reste très limitée pour déterminer le degré d'aromaticité des structure aromatique et aliphatique.
- L'activation à l'aide du percarbonate pour les boues de traitement de l'eau biochar pour l'assainissement du sédiment contaminé par les hydrocarbures aromatiques (HA) a été efficace à l'aide du procédé Fenton, le couplage



s'avère très intéressant pour une dégradation ou élimination meilleure pour les différents polluants,

- Un protocole d'extraction à l'aide de l'EDTA s'avère aussi efficace pour extraire quantitativement le poly-P de l'activation des boues de cuve. Il est à signaler que la plupart des poly-P ont été récupérés à partir des échantillons sans dégradation prononcée du poly-P.
- La matière organique se dégrade dans les procédés de traitement des boues (épaississeur, stabilisateur et déshydratation) qui implique que les boues sont biodégradable.
- Les boues stabilisées contiennent une forte concentration en azote, en potassium, en magnésium et en phosphore et peuvent donc être idéalement utilisées comme engrais en l'agriculture.

En perspective de cette étude, on peut citer :

- Réaliser l'étude de la valorisation des boues en faisant leurs caractérisation à l'aide de plusieurs techniques analytiques ensuite l'étude de compostage (comme c'était prévu pour cette étude),
- La valorisation agricole est la meilleure solution et la principale voie d'élimination de boues de la STEP à cause de leurs richesses en éléments minéraux et leurs teneurs en métaux lourds qui sont comparables à celles des normes internationales (exemple STEP de Tipaza).

## Références bibliographique

- [1] : JARDE E, (2002), « Composition organique des boues résiduaires de station d'épuration LORRAINES et Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation », thèse de doctorat université cade ayyad , de marakche ,maroc
- [2]: WERTHER J, OGADA T, (1999). «Sewage sludge combustion». Progress in Energy and Combustion Science. 25, 55–116.
- [3] : LAZILI H, (2011), « Gestion des boues issues des stations d'épuration des eaux usées urbaines ». mémoire de master , université Abou bekr Belkaid, Algérie
- [4] : Rahou Kada Boubakeur (2014), « Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El-kerma ORAN », mémoire de master, département de génie chimie, université d'Oran, Algérie.
- [5] :AFNOR Amendements organiques (2002),Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux, norme française AFNOR 44-095.
- [6] : BELKHODJA,M., CRETENOT, D., VOUJON,L.(2004)« Bilan du fonctionnement de la première unité OVH » en France pour le traitement de boues d'épuration, L'eau, l'industrie, les nuisances n° 277 p. 33-37
- [7] : SALGHI,( 2010) « Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride » Thèse de doctorat, université Biskra.
- [8] : DUGNIOLLE H, (1980), « L'assainissement des eaux résiduaires domestiques », CSTC - revue n° 3, pp. 44-52.
- [9]:GLANIC R , BENNETON J-P, (1989). « Caractérisation d'effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome » - TSM - L'eau - N 11 – pp. 573-584.
- [10] :BAUMONT S, CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. (2004). « Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France ». Rapport ORS, 220p.
- [11] :VAILLANT J.R. (1974), « Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles ». Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
- [12] : METAHRI M S (2012), « Elimination Simultanée de La Pollution Azotée Et Phosphatée Des Eaux Usées Traitées, Par Des Procédés Mixtes » Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, thèse doctorat, université Tizi-Ouzou, Algérie.

- [13] : CANLER, J.P. (2001), « Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses », CEMAGREF & Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, document technique FNDAE n° 24, ISBN 2-85362-556-7, 64 p. Lavoisier, 166p.
- [14] : ROUSSEAUX P(2006) « Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées », Thèse Doctorat, de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, France
- [15] : DEGUMENT,(2005), « Mémento technique de l'eau. Tome1 ». Ed 10eme. 466p.
- [16] : Fouzia BENOUDJIT,(2016), « Caractérisation et Valorisation des Boues Issues d'un Office d'Assainissement » thèse doctorat , UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES
- [17] : AROUA .A (2002), « l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique ». Gouvernement du Québec..
- [18] : DEGUMENT (1989) ,« Mémento technique de l'eau ». Tome 1 & 2, Collection Degrémont, ISBN 2-9503984 -0-5.
- [19] : ALEXANDRE, O., BOUTIN, C., DUCHENE, P., LAGRANGE, C (1998). « Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités », CEMAGREF & CSTB &FNDAE n° 22, ISBN 2-85362-495-1.
- [20] :FABY J.A ET BRISSAUDF (1997), « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation ». Office International de l'Eau.
- [21] :LAZAROVA V ; GAID A ; RODRIGUEZ-GONZALES J ; ALDAY ANSOLA J, (2003). « L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux ». Techniques, Sciences et Méthodes, N 9.
- [22] VILAGINES, R(2000). Eau, environnement et santé publique, 2ème édition, Parise,
- [23] : Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B.(2010), « Guide technique de l'assainissement, 4ème édition, le moniteur référence technique », Parise,
- [24] : Edeline (F.), (1988). L'épuration biologique des eaux résiduaires. Technique et Documentation CEBEDOC.
- [25] :Mimeche Leila (2014),« Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés de l'installation de station d'épuration des rejets urbaines par les filtres plantés en milieu aride », thèse doctorat , Application à la région de Biskra, université Mohamed khider, Biskra, , Algérie.

- [26] : Audic, J-M, (2002), « Guide de traitement des eaux usées urbaines », édition Lyonnaise des eaux.
- [27] : Gaid A,(1984), « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU, Alger,.
- [28] : Gomella, C, Guerre. H,(1982), « Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales ». Tomes I : La collecte, Edition : Eyrolles, Paris,
- [29] : Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. ET Roli L. (2005),« L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer » [en ligne]. 8ème Edition. Dunod, Paris : 1383 p. Disponible sur : [https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/.../BenChehem\\_Bouazza.pdf](https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/.../BenChehem_Bouazza.pdf) (Consulté le : 30/04/2018).
- [30] : Mme Meziane Asma ,(2014), « Etude des performances du traitement biologique de la station d'épuration El Karma- Oran », mémoire master, Université ABOU BEKR BELKAID ,Oran ,Algérie
- [31] : Debrieu C. (2004), « Lutte contre les odeurs de l'assainissement [en Ligne]. N°13. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales ». Direction Générale de la Forêt et des Affaires Rurales. Bureau de l'Aménagement Rural. Office International de l'Eau SNIDE. Fonds national pour le développement des adductions d'eau., 69 p. Disponible sur : [www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae13\\_v2.pdf](http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae13_v2.pdf) (Consulté le : 05/03/2018).
- [32] : Koller E.(2004), « Traitement des pollutions industrielles »-2ème édition - Eau. Air. Déchets. Sols. Boues : Dunod, , ISBN : 576. 2100521047.
- [33]: Duguet J-P ; Bernazeau F ; Cleret D ; Laplanche A ; Moles J, Montiel A ; RIOU G ; Simon P, (2006), « Règlementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine ». 1ère édition. ASTEE (association scientifique et technique pour 'l'environnement).
- [34]: Grosclaude G, (1999),« L'eau : usage et polluants ». Edition INRA, 210p.
- [35] : Gomella C., Guerree H., (1978). Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles Paris, 262p
- [36] : Mme. BOUBEKA Nabila Mme. RAHMOUNI Amina ,(2018), « Caractérisation et Valorisation de la boue de station d'épuration des eaux usées De la ville de Bouira », mémoire de master, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA, Algérie .
- [37] : Journal Officiel de la République Algérienne,( 2014).
- [38] : Directive,( 1999),CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets.

- [39] : ADDOU A., (2009), « Traitement des déchets, valorisation, élimination, éditions ellipses ». p: 284.
- [40] : RECORD,(2007) « Revue des filières de traitement/valorisation des boues » – Critères de choix d'une filière adaptée et arbre de décision associé [en ligne]. Etude N°050132/1A. 2007, 194 p. Disponible sur : [www.record-net.org](http://www.record-net.org) (Consulté le 20/02/2018).
- [41] : Mr LADJEL Farid & Mme ABOU Sonia (2014), « Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie », office nationale d'assainissement, Oran ,Algérie
- [42] AMORCE, (2018), « Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement Valorisation et Elimination » [en ligne]. Série Technique DT 51, 2012, 36 p. Disponible sur : [www.amorce.asso.fr/.../dt51\\_boue\\_de\\_strp\\_\\_\\_traitement\\_valorisation\\_elimination...](http://www.amorce.asso.fr/.../dt51_boue_de_strp___traitement_valorisation_elimination...) (Consulté le 20/01/2018).
- [43] : Ladjel F. et Abbou S,(2018), « Perspectives de valorisation agricole et énergétique », en Algérie.
- [44] : SATIN M., SELMI B, (2006), « Guide technique de l'assainissement. Paris », le Moniteur,,726 p. ISBN 2-281-11239-X.
- [45] : Jarde E.(2002), « composition organique de boues résiduelles de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation »[en ligne]..
- [46] : NF EN 12879.( 2000) , « Caractérisation des boues - Détermination de la perte au feu de la matière sèche ».
- [47] : DUGUET J-P., (2006). « Règlementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine ». 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement) p: 474.
- [48] : DUDKOW S., (2001). « L'épandage agricole des boues de STEP ».
- [49] : Vecteur environnement , (2007), « Caractérisation des boues d'épuration municipales » Partie I : Paramètres agronomiques [en ligne]. Article technique. 2007, 52 p. Disponible sur : [www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract\\_boues1.pdf](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract_boues1.pdf)
- [50] : AMADOU H., (2007). « Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine ». Thèses de doctorat, Université Lounis Pasteur. p: 170.
- [51] : RODIER J., (2009). « Analyse de l'eau », 9 ème édition DUNOD. p: 1600.

- [52] : Sedki A(1995) « Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech ». Thèse Doct. État, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc., 140 p.
- [53] :] TAUZIN C. JUSTE C., (1986). « Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles ». Rapport du contrat 4084/93 ministère de l'environnement. p: 158.
- [54] : Dignac M.F.H.S. FRANCOU C. DERNNE S., (2005). « Pyrolytic study of compost and waste organic matter ». Org. Geochem 36. p: 1071.
- [55] : KOLLER E., (2009). « Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues ». Technique et ingénierie, Série environnement et sécurité ; 2ème édition DUNOD. p: 569.
- [56] : Lozac'h M. C. (2004), « Traitement et valorisation des boues de STEP » Toulouse : Disponible sur : [https://www.fne.asso.fr/com/santa/page\\_eau\\_a14.pdf](https://www.fne.asso.fr/com/santa/page_eau_a14.pdf) (Consulté le : 20/04/2018).
- [57] : Segal S., Carré J., Gabarda-Oliva D. (2010), in Synthèse « Technique Bouallegue M. M. Des métaux dans les boues de stations d'épuration » , Conséquences, origines et prévention [en ligne]. 2010, 17 p. Disponible sur : [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref des métaux dans les boues de station d'épurations conséquences origines et prévention 2010.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_métaux_dans_les_boues_de_station_d'épurations_conséquences_origines_et_prevention_2010.pdf) (Consulté le : 24/04/2018).
- [58] : Bouallegue M. M.(2010), Synthèse technique des métaux dans les boues de stations d'épuration Conséquences, origines et prévention [en ligne]. Disponible sur : [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref métaux dans les boues de stations d'épuration conséquences origines et prevention 2010](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_métaux_dans_les_boues_de_stations_d'épuration_conséquences_origines_et_prevention_2010).
- [59] : Wang Q. R., Cui Y. S., Liu X. M., Dong Y. T., (2003) « contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China ». J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng., 38, 823-838 p.
- [60] : Courrier de l'environnement de l'INRA. « L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaine ». [En ligne]. n°41. 2000, 134-125 p. Disponible sur : [www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf](http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf) (consulté le : 20/04/2018).
- [61] : Wiart J.(2000), « Conception des stockages et gestion par lots des boues d'épuration épandues en agriculture » , 17-26 p. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00464632/>
- [62] : Tabou(e),(2001), Story et nos boues deviennent compost [en ligne]., 3p. Disponible sur : [www.smra68.net/z\\_pdf/taboue-story/pdf-taboue.../boues-deviennentcompost.pdf](http://www.smra68.net/z_pdf/taboue-story/pdf-taboue.../boues-deviennentcompost.pdf) (Consulté le : 20/04/2018).

- [63] : JOCTEUR M., (2001). Chimie de l'environnement, air, eau, sols, déchets, j.
- [64] :Chang-Mao Huag , Chin –Pao Huang , Chiu -WenChen , Chung –Hsin Wu , Yi-li lin cheng, (2020), activation of percarbonate by water treatment sludge – derived bichar for the remedication of PHA -contaminated sediments »,university national Taiwan, 114914, 1-9
- [65]:Line boisen staal , Anne boisen Petersen , Charlotte A ,Jorgensen ,Ulla GRO nielsen ,Per Halkjaer Nilsen , kasper Reitzel ,, «extraction and quantification of polyphosphates in acteveted sludge frome waste water treatment plants by <sup>31</sup> P NMR Spectroscopy» .university of suthern Denmark , 157,346-335.
- [66]S. Maamri\*, M. Amrani , (2019),« Détermination quantitative et qualitative de l'impact de la teneur en matière sèche sur le potentiel du biogaz de la digestion thermophile de boues activées » Université M'hamed Bougara de Boumerdès, algérie ,2437-1114.
- [67] : André Luiz Marguti, Sidney Sekler Ferreira filho , Roque Passos piveli ,(2018) « full –scale effets of addition of sludge frome water treatment station into processes of sewage treatment by conventional activated sludge » university sao paulo , prazil, 283-293.
- [68] :N. SEGHAIRI\*, L. MIMECHE, A. BOUZID, Y. AYACHI,J. (2017), traitement des eaux usés par goauilation-floculation en utilstisant le sulfate d'aminum comme goagulant » Université de Biskra. ALGERI,230-234.
- [69] :Dong-Qin He ,Ying –Jie Zhang, Chuan -Shu He , Han –Qing Yu,(2017), «changing profiles of bound water content and distribution in the acteveted sludge treatment by NaCL addition and addition and pH modification »,university of china , china ,702-708.
- [70]:Chunkai Hunag , Yijing Shi , Mohamed Gamal El –Din , Yang Liu ,(2017), « performance of floc and biofilmes in integrated fixed-filme acteveted sludge (IFAS) systeme for the treatement of oil sand process-affected water » university of alberta , Canada , 85(2017)167-176.
- [71]:Chao-Lung Hwang , Chiang ,Trong –Fhuoc Huynh, Duy –Hai Vo ,Bo-Jyun Jhang ,Si –Huy Ngo, (2017) ,«properties of alkali-acteveted controlled low –strength material produced with waste water treatmeat sludge ,fly ash ,and slag» , university taiwan , , 459–471
- [72].M. Chennaoui ,Y. Salama A. Makan,M. Mountada,European (2016) «Valorisation Agricole D'un Compost Produit À Partir Du Compostage En Cuve Des Déchets Municipaux » , Université Chouaïb Doukkali, El Jadida, Maroc,1857- 7431.
- [73]:Chunkai Hunag , Yijing Shi , Mohamed Gamal El –Din , Yang Liu (2015),«treatment of oil sand process-affected water (ospw)using azonation

combined with integrated fixed-film activated sludge (IFAS) university Alberta , Canada ,167-176.

[74]: Maria – Ruiz –Hernando , Francesc –Xavier Simon , Jordi Labanda , Joan Llorens, (2014), « effet of ultrasound, thermal on the rheological profile and water distribution of waste activated sludge » université of barcelona in spain . 255 14–22

[75] : Martine Kone, Lucien Bonou, Jean Kouliadiati, Pierre Joly, (2012) « Traitement d'eaux usées urbaines par infiltration-percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagune sous climat tropical » ,1 Université du Québec 39-151.

[76] : ELouazzani<sup>1</sup>, A. Bouamrane<sup>2</sup>, Khalifa Mansouri<sup>1</sup>, Christian B. Fokam<sup>3</sup>, Dounya (2012), « Valorisation des boues de papeterie dans le BTP : analyses minéralogiques de l'incidence des conditions d'incinération (Valorization of paper mill sludge in construction: mineralogical analysis of the impact of incineration conditions) » , Université de Ngaoundéré ,Cameroun , 628-635.

[77] : R. AYECHÉ<sup>1</sup>, A. BALASKA<sup>2</sup>, (2010), « CARACTÉRISATION ET TRAITEMENT PAR COAGULATION-FLOCCULATION D'UN EFFLUENT DE LAITERIE », université Badji Mokhtar, Annaba , Algérie, 83-93.

[78]: Valérie Giroud \*, Dirk Esser \*, Laëtitia Fournet \*, Frédéric Davoli \*\*, (2007)  
« Les filtres plantés de roseaux pour le traitement des eaux pluviales : Notion d'efficacité », université France, 869 - 875.

[79] : N.Zaim<sup>1</sup>, S.Souabi<sup>1</sup> et A. Aboulhassan<sup>1</sup>, S.Aboulam<sup>2</sup>, B.Morvan<sup>2</sup>. (2007)  
« Compostage des boues produites à la station d'épuration d'une huilerie, en mélange avec des déchets de jardin », université Mohammedia Maroc, .20-24.

[80] KORSACK N. 1 \*; GROOVEN B. 1 ; FLAMENT E.2, DAUBE G.1, JACOB B, Ann. (2002), « Incidence d'une station d'épuration biologique sur le niveau de contamination en salmonelles des eaux et des boues résiduaires », Université de Liège, Boulevard de Colonster , 146, 303-310.