

*République Algérienne Démocratique*

*Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique*

*Université de Blida 1*

*Faculté de technologie*

*Département de Génie des procédés*

*Master 2 génie de l'environnement*



***Etude des possibilités de réutilisation  
des boues d'épuration:  
cas des effluents de STEP de CHENOUA***

***Réalisé par :***

- **ZERROUKI ABIR**
- **ABDELMOUMENE AMIRA**

***Encadrant universitaire :***

- **Professeur N.BENSACIA**

***Encadrant de stage :***

- **Mr T.MEDJIAH**

**Promotion : 2021 /2022**

## REMERCIEMENT

En préambule à ce projet, nous souhaitons adresser ici tous nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce projet

Nos premiers remerciements vont envers madame Bensacia Nabila qui a accepté de nous encadrer et pour ses précieux conseils. Aussi nous remercions M. Toufik Medjah notre Co-encadreur au niveau de la STEP de CHENOUA.

Nous remercions les membres de jury, d'avoir pris le temps de lire ce manuscrit, de juger le travail et en acceptant de faire partie de jury.

A l'ensemble du corps professoral et l'administration de sciences et technologies département de génie des procédés filière de Génie d'environnement

A nos professeurs

A nous exprimons nos gratitude à :

A l'ensemble des étudiants de la session M2 génie d'environnement

En fin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce projet.

## DÉDICACE

Tous d'abord je remercie allah d'avoir pu achever ce modeste travail

Je dédie ce projet a mes chers parents mon père Taieb et ma mère Rabia et mes deuxième parents Malika et Youcef qui ont été toujours là pour moi ; et leur patience, leur soutien et leur encouragement durant mon parcours scolaire.

J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mon cher frère et ma sœur

A la famille « **Abdelmoumene** » et « **Kebaili** »

A tous mes amis et l'ensemble des étudiants de la promotion Master Génie d'environnement 2022

A toute la section de l'exploitation de traitement des eaux

San oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur

A tous ceux qui m'aime et a tous que J'aime

Qu'allah le bénéficie

*AbdelmoumeneAmira*

## DÉDICACE

Tous d'abord je remercie allah d'avoir pu achever ce modeste travail

Je dédie ce projet a mes chers parents mon père Youcef et ma mère Fouzia qui ont été toujours là pour moi ; et leur patience, leur soutien et leur encouragement durant mon parcours scolaire.

J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Et mama ZOLA et ma grande mère maternelle Razika

A mes cher frères Mohamed et Adem

A mon marie Ilyas

A la famille « **Zerrouki** » et « **Ziani** »

A tous mes amis et l'ensemble des étudiants de la promotion Master Génie d'environnement 2022

A toute la section de l'exploitation de traitement des eaux

San oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur

A tous ceux qui m'aime et a tous que J'aime

Qu'allah le bénéficie

*Zerrouki Abir*

## ملخص:

يركز عملنا على قطاع معالجة المياه والتحليلات الفيزيائية والكيميائية من خلال دراسة التسميد كحل للتخلص من هذه الحمأة. النتائج التي تم الحصول عليها من خلال التحاليل الفيزيائية والكيميائية والملاحظة المجهرية التي أجريت في المختبر بشأن الحمأة وهي: المادة العضوية ، قيم النيتروجين ، الفوسفور ، القيم الموجودة عالية جداً. اقل من القيم الحدية . (Ni) و Cu و Cd و Pb و (Zn) تركيزات المعادن الثقيلة  
أخيراً ، يعد الاسترداد الزراعي عن طريق التسميد هو الحل الأفضل والطريقة الرئيسية لإزالة الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي فيشنوة بسبب مصلحتها الزراعية و تأثيرها على البيئة ، و لا سيما على صحة الإنسان.  
الكلمات المفتاحية: معالجة مياه الصرف الصحي - الحمأة - التسميد - البارامترات الفيزيائية والكيميائية - محطة تصفية المياه لشنوة.

## Résumé :

Notre travail s'articule sur la filière de traitement des eaux et les analyses physico-chimiques en étudiant le compostage comme solution d'éliminer ces boues. Les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques et l'observation microscopique effectuées au laboratoire concernant les boues à savoir : la matière organique, les valeurs de l'azote, phosphore et potassium, les valeurs trouvées sont très élevées. Les concentrations des métaux lourds (Ni, Cu, Cd, Pb et le Zn) sont inférieurs aux valeurs limite.

En fin, la valorisation agricole par compostage est la meilleure solution et la principale voie d'élimination de boues dans la station d'épuration de Chenoua à cause de leur intérêt agronomique et leurs effets sur l'environnement, notamment la santé humaine.

Mots Clés : Traitement des eaux usées- Boues – Compostage –Paramètres physico-chimiques-STEP de Chenoua.

## Abstract :

Our work focuses on the water treatment sector and physico-chemical analyzes by studying composting as a solution to eliminate this sludge. The results obtained by the physico-chemical analyzes and the microscopic observation carried out in the laboratory concerning the sludge, namely: the organic matter, the values of nitrogen, phosphorus and potassium, the values found are very high. The concentrations of heavy metals (Ni, Cu, Cd, Pb and Zn) are below the limit values.

Finally, agricultural recovery by composting is the best solution and the main way of eliminating sludge in the Chenoua wastewater treatment plant because of its agronomic interest and its effects on the environment, in particular human health.

Keywords: Wastewater treatment - Sludge - Composting - Physico-chemical parameters - STEP of Chenoua.

## **LISTE D'ABREVIATION**

AFNOR : Association Française de la Normalisation

°C : Degré Celsius

Cd : Cadmium

CET : Centre d'enfouissement Technique

CO : monoxyde de carbone

Cr : chrome

Cu : Cuivre

D : densité

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

ETM : Eléments traces métalliques

Fe : fer

Hg : Mercure

Ib : Indice de boue

MES : Matière en suspension

Mg : Magnésium

MIATE : Matière d'intérêts Agronomiques issus du traitement des eaux

MM : Matière minérale

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

MV : Matière volatile

MVS : Matière volatile en suspension

MVS : Matière volatile en suspension

N : Azote

N : Normalité

Ni : Nickel

NTK : Azote total KJELDAHL

P : Phosphore

Pb : Plomb

PH : Potentiel d'hydrogène

$P_2O_5$  : Pentoxyde de phosphore

Q : Débit

SDBO : DBO (Soluble) demande biologique en oxygène

STEP : Station d'épuration

$T^\circ$  : Température

$\mu m$  : Micro mètre

Zn : Zinc

# Sommaire

**REMERCIEMENT**

**DÉDICACE**

**RESUME**

**LISTE D'ABREVIATION**

**Sommaire**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**INTRODUCTION.....1**

**CHAPTER 1 :RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

1.1. Généralités sur les eaux usées .....	2
1.1.1 Définition .....	2
1.1.2 Origine des eaux usées.....	2
1.1.3 Le traitement des eaux usées.....	3
1.1.3.1 Procédés physique .....	3
1.1.3.2 Procédés physico-chimique .....	4
1.1.3.3 Procédés de traitement chimique .....	5
1.1.3.4 Procédés boiologiques.....	5
1.1.4 La filière d'épuration .....	6
1.1.5 Les traitements biologiques.....	6
1.1.5.1 Procédé à cultures fixes.....	7
1.1.5.2 Procédé à cultures libres.....	7
1.1.6 Caractéristiqurs des eaux usées .....	8
1.1.6.1 Paramètres physiques .....	8
1.1.6.2 Paramètres chimiques.....	8
1.1.6.3 Paramètres bactériologiques .....	9
1.2. Généralités sur les boues .....	10
1.2.1 L'origine .....	11
1.2.2 Type des boues .....	11
1.2.2.1 Les boues primaires.....	11
1.2.2.2 Les boues physico-chimiques .....	11
1.2.2.3 Les boues biologiques .....	11
1.2.3 Composition des boues. ....	13
1.2.3.1 Composition chimique .....	13
1.2.3.2 Composition microbiologique. ....	14
1.2.4 Les caractéristique physiques et chimiques des boues.....	14



1.2.4.1 Siccité.....	15
1.2.4.2 Matieres en suspension.....	15
1.2.4.3 Matieres volatiles.....	15
1.2.4.4 Fraction volatile .....	15
1.2.4.5 Viscosité.....	15
1.2.5 Les impacts de la boue .....	16
1.3 Traitement e valorisatondes boues .....	16
1.3.1 Filière de traitement des boues .....	16
1.3.1.1 Epaissement .....	17
1.3.2 La stabilisation .....	18
1.3.2.1 Stailisation biologique.....	18
1.3.2.2 Stailisation chimique.....	18
1.3.2.3 Stailisation thermique.....	19
1.3.3 Déshydratation .....	19
1.3.3.1 Déshydratation mécanique.....	19
1.3.3.2 Déshydratation naturelle.....	19
1.3.4 Valorisation des boues .....	20
1.3.4.1 Définition.....	20
1.3.4.2 Les déférents types de la valorisation.....	20

## **CHAPITRE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE**

<b>2.1 Présentation de la step de CHENOUA .....</b>	<b>27</b>
2.1.1 Situation géographique .....	27
2.1.1.1 Prétraitement .....	29
2.1.1.1.1 Dégrilleur grossier .....	29
2.1.1.1.2 Poste de relevage .....	30
2.1.1.1.3 Dégrilleur fin .....	30
2.1.1.1.4 Dessaleur déshuileur .....	30
2.1.1.2 Traitement biologique .....	32
2.1.1.3 Traitement des boues .....	32
2.1.1.3.1 Poste de reprise de oue .....	32
2.1.1.3.2 Epaisseur .....	33
2.1.1.3.3 Déshydratation .....	34
<b>2.2. Matériels et méthodes.....</b>	<b>37</b>
2.2.1. Echantillonnage .....	38
2.2.1.1 Analyse physico-chimiques .....	38

2.2.1.1.1 Mesure de PH et de la Température .....	38
2.2.1.1.2 Indice de boue .....	39
2.2.1.1.3 Teneurs de MS et MO .....	40
2.2.2. Mesure les MES et MVS .....	41
2.2.3. Analyse chimique.....	41
2.2.3.1 Carbone organique .....	41
2.2.3.2 Phosphore total .....	42
2.2.3.3 L'azote total .....	42
Mode d'opérateur .....	43
2.2.4. Analyses des éléments-traces métalliques .....	43
<b>2.3. Résultats et interprétations .....</b>	<b>45</b>
2.3.1 Résultats des analyses physico chimiques : .....	46
2.3.1.1 Variation de pH : .....	46
2.3.1.2. Température :.....	47
2.3.1.3. Indice de boue.....	48
2.3.1.4.Décontation des boues .....	48
2.3.1.5.Teneurs des MS MO et Mm .....	49
2.3.1.6 Teneurs des MES MVS .....	50
2.3.2 Résultats des analyses chimiques .....	51
2.3.2.1 carbone organique, phosphore, azote, potassim .....	51
2.3.1.2 Eléments-traces métalliques .....	53
<b>CHAPITRE 3 : COMPOSTAGE</b>	
<b>3.Introduction .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.Historique de la compostière Hadjout .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2. produire de composte .....</b>	<b>54</b>

## RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1:</b> Dégrilleur.....	3
<b>Figure 1.2 :</b> Déssableur-déshuileur combiné.....	4
<b>Figure 1.3:</b> Décanteur.....	5
<b>Figure 1.4 :</b> Traitement physico-chimique des eaux usées.....	6
<b>Figure 1.5 :</b> Chaîne ou filières de traitement des eaux usées.....	7
<b>Figure 1.6 :</b> Différent type de boues selon le traitement.....	12
<b>Figure 1.7 :</b> La morphologie micro-organismes observés dans les boues.....	17
<b>Figure 1.8 :</b> Différentes étapes du traitement des boues.....	21
<b>Figure 1.9 :</b> La valorisation thermique.....	23
<b>Figure 1.10 :</b> Matériel d'épandage de boues solides.....	24
<b>Figure 1.11 :</b> Production, traitement et filières de valorisation des boues de station d'épuration	24
<b>Figure 2.1 :</b> La station d'épuration de CHENOUA.....	26
<b>Figure 2.2 :</b> Carte géographique de la STEP de Tipasa.....	27
<b>Figure 2.3 :</b> Organigramme de le STEP de Tipasa.....	27
<b>Figure 2.4 :</b> Dégrilleur Grossier.....	29
<b>Figure 2.5:</b> poste de relevage.....	29
<b>Figure 2.6 :</b> Dégreilleur fin.....	30
<b>Figure 2.7:</b> Image de déssableur et déshuileur.....	30
<b>Figure 2.8 :</b> Bassin biologique.....	31
<b>Figure 2.9:</b> Schéma de recirculation des boues.....	32
<b>Figure 2.10 :</b> L'épaississeur.....	33
<b>Figure 2.11:</b> Filtre à Bande.....	33
<b>Figure 2. 12:</b> Unité de préparation de polymère.....	35

<b>Figure 2.13</b> : PH-mètre (SENSION PH3).....	37
<b>Figure 2.14</b> :Début de test de décantation.....	38
<b>Figure 2.15</b> :Test de décantation après 30 minutes.....	38
<b>Figure 2.16</b> : Résultats de PH.....	43
<b>Figure 2.17</b> : la variation de Température .....	44
<b>Figure 2.18</b> :Résultats l'indice de boue.....	45
<b>Figure 2.19</b> :la décantation des boues .....	46
<b>Figure 2.20</b> : Teneurs des Ms Mo la siccité .....	47
<b>Figure 2.21</b> : Teneur des MES et MVS.....	48
<b>Figure 2.22</b> :Les analyses des éléments-traces métalliques.....	49
<b>Figure 3.1</b> :Carte géographique de la compostière de Hadjout.....	51
<b>Figure 3.2</b> : Zone de réception des boues.....	54
<b>Figure 3.3</b> : Zonedestockageetmélange.....	57
<b>Figure 3.4</b> :Casiers de fermentation.....	59
<b>Figure 3.5</b> :Produit fini-compost.....	60
<b>Figure 3.6</b> : Implantation de la zone de stockage.....	60

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.1:</b> La différence entre les boues brutes et le composte de boues .....	24
<b>Tableau 2.1:</b> Les caractéristiques de pollution à traité.....	28
<b>Tableau 2.2:</b> Suivant présente la nature de polymère utilisé dans la station.....	34
<b>Tableau 2.3:</b> L'odeur et couleur.....	42
<b>Tableau 2.4:</b> Résultat de la variation de PH.....	42
<b>Tableau 2.5:</b> Résultats de la Température.....	43
<b>Tableau 2.6:</b> Résultats l'indice de boue.....	44
<b>Tableau 2.7:</b> Résultats de la décantation des boues.....	45
<b>Tableau 2.8:</b> Résultats des analyses de MS MO et la siccité.....	46
<b>Tableau 2.9:</b> Résultats des analyses de MES et MVS.....	47
<b>Tableau 2.10 :</b> Résultats des analyses chimique.....	51
<b>Tableau 2.11:</b> Résultats des analyses des éléments-traces métalliques.....	52
<b>Tableau 3.1:</b> Qualité des boues (M.I.A.T.E).....	57
<b>Tableau 3.2 :</b> Teneur limite des E.T.M dans les M.I.A.T.E.....	58
<b>Tableau 3.3 :</b> Teneur limite de composés traces dans les M.I.A.T.E.....	58

# INTRODUCTION

Le traitement des eaux usées occupe une place importante dans les soucis environnementaux de notre pays car les rejets d'eaux résiduaires ont fortement évolué en quantité et qualité depuis quelques décennies. Les pollutions présentes dans l'eau sont d'origines diverses: industrielle, domestique ou agricole.

Les activités humaines produisent de nombreux déchets qui sont traités systématiquement par des technologies en constante évolution. L'épuration des eaux résiduaires urbaines est réalisée dans des stations d'épuration (STEP) où leurs différents polluants sont séparés ou dégradés par des procédés physiques, chimiques ou biologiques.

Les stations d'épuration mises en place de préservation de la qualité des eaux naturelles génèrent un sous-produit naturel que sont les boues d'épuration et dont l'élimination fait partie des problématiques environnementales actuelles, souvent, elles contiennent des matières organiques fermentescibles et/ou des matières toxiques. Pour cela, le traitement des boues est une phase difficile de la lutte contre la pollution.

Auparavant les boues produites étaient évacuées vers des centres d'enfouissements techniques (CET). Depuis plusieurs mois, SEAAL est confrontée à un refus des CET d'accepter les boues d'épuration de la wilaya d'Alger et est obligé de stocker ces boues sur les sites de ses stations d'épuration. Le comité national des boues a pour objectif de définir une solution pérenne, alternative durable aux CET et qui privilégie la valorisation.

Pour pouvoir résoudre convenablement et rationnellement un problème de boues, il est absolument indispensable de savoir des solutions technologiques permettant un traitement efficace et moins coûteux des déchets.

Les voies d'élimination actuelles de ces boues, reposent principalement sur l'épandage agricole, la mise en centre d'enfouissement technique et l'incinération ou coin cinération.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres : Le premier chapitre est une étude bibliographique, sur généralités des eaux usées, la description des boues résiduaires et leurs différents traitements.

Dans le deuxième chapitre est dédié une présentation de la STEP de CHENOUA, les différentes techniques expérimentales et les moyens utilisés pour l'ensemble des expériences résume les résultats et la discussion après les analyses des boues et la comparaison de ces derniers aux normes AFNOR. Le troisième chapitre la valorisation des boues par le compostage et l'épandage. Ce travail se termine par une conclusion et des perspectives.

# **Recherche**

# **Bibliographique**



## **1.1 Généralités sur les eaux usées**

### **1.1.1 Définition**

Les eaux usées, aussi appelées effluents liquides sont des eaux polluées, constituées de toutes les eaux de nature à contaminer, par des polluants physiques ou chimiques ou biologiques. Ainsi que sont des eaux qui ont été altérées par l'activité humaine. Il peut ainsi s'agir d'eaux polluées provenant d'usines ou d'eau ruissellement provenant d'un parc de stationnement. Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et Industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent également les eaux de pluies et leurs charges polluantes [1].

### **1.1.2 Origine des eaux usée**

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue quatre catégories des eaux usées :

#### **1) Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elle se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux vannes ; il s'agit des rejets des toilettes chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux[2].

#### **2) Les eaux usées industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir : des graisses; des métaux; des acides bases et divers produits chimiques; des matières radioactives[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. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses.

#### **4) Les eaux pluviales**

Elles constituées une source de pollution importante, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie chargée d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruissellent, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (résidus de pneus et métaux lourds ...). Dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution.

### 1.1.3 Le traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées suppose une connaissance et une analyse des différents ensembles représentés par ses composantes physiques, chimiques et biologiques. Le traitement des eaux usées est l'ensemble des procédés visant à dépolluer de l'eau usées avant son retour dans le milieu naturel est l'ensemble des procédés visant à dépolluer [4].

Les méthodes de traitement des eaux usées sont diverses et peuvent être classées en trois catégories : les traitements primaires, secondaires et tertiaires. On peut également tenter une classification physique et biologique qui revient grossièrement à distinguer d'un côté les traitements primaires et de l'autre les traitements secondaires et tertiaires.

#### 1.1.3.1 Procédés physiques

Ce sont des opérations de séparation de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide, Parmi ces procédés sont :

**A. Le dégrillage** est le premier poste de traitement, indispensable aussi bien en eau de surface qu'en eau résiduaire, permet d'éliminer les corps flottants et les gros déchets par l'intermédiaire de grilles placées en travers du canal d'amenée afin de protéger les installations contre les obstructions [5].

C'est ce qui permet de protéger la station contre le problème de bouchage au niveau de ces des différents ouvrages causés par les différents objets. En fonction de l'espacement des barreaux des grilles, on distingue différents types de dégrillages:

- Pré dégrillage : pour grille a barreaux espacée de 30 à 100 mm.
- Dégrillage moyen : pour grille a barreaux espacée de 10 à 25 mm.
- Dégrillage fin : pour grille a barreaux espacée de 3 à 10 mm.

Comme représenté dans la figure1.1 ci-dessous :



**Figure1.1** :Dégrilleur.

## B. Le dégraissage-déshuilage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage en une séparation des huiles et graisses, produits de densité légèrement inférieure à celle de l'eau, de l'effluent brut. Elle a pour but d'éviter divers problèmes au cours du traitement [6].

## C. Le dessablage :

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2mm [7]. L'élimination des sables est une opération indispensable pour:

- Eviter les dépôts dans les canalisations conduisant à leur bouchage,
- Protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion [8].

La figure1.2ci-dessous le représente



**Figure1.2** :Déssableur-déshuileur combiné.

**D. La filtration** passage d'un mélange liquide-solide à travers un milieu poreux (Filtre) qui retient les solides (gâteau de filtration) et laisse passer les liquides (filtrat) [9].

**E. La décantation** utilisant les forces de gravité pour séparer les particules de densité supérieure à celle du liquide en provoquant leur dépôt [10]. La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente de MES et de colloïdes. La décantation a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau, ces particules s'accumulent au fond du bassin de décantation qu'on extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration [11].

Comme indique la figure1.3 ci-dessous :



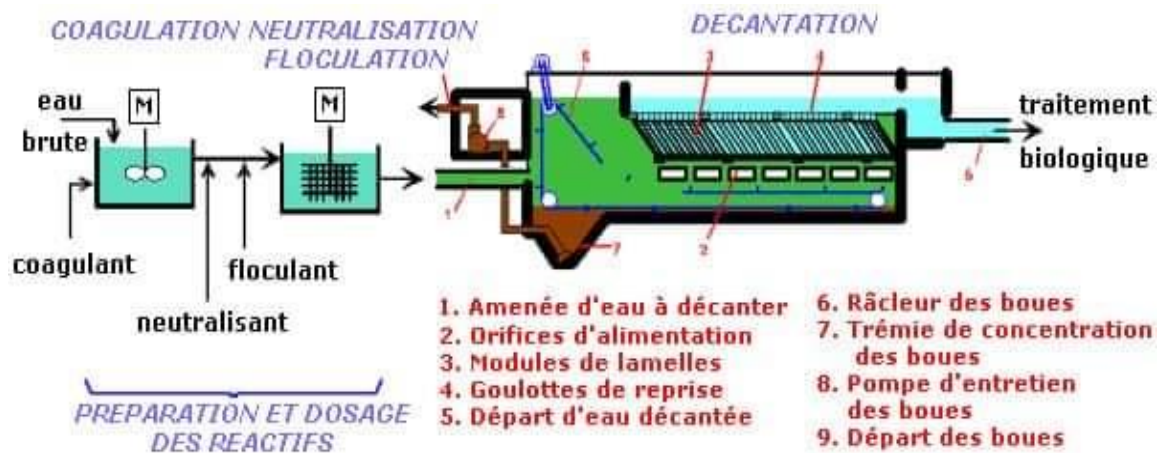
**Figure1.3 : Décanteur**

### **1.1.3.2 Procédés physico-chimique (coagulation-floculation)**

La clarification globale des rejets nécessite l'élimination complémentaire de la pollution particulaire, colloïdale ou finement dispersée, qui peut être obtenue moyennant l'utilisation de réactifs chimiques lors d'un traitement par voie physico – chimique qui implique la mise en œuvre d'une coagulation – floculation en amont d'une séparation solide – liquide par décantation ou flottation. Certains types de stations ne comportent pas de traitement primaire [12]. Ces procédés couplent l'action chimique d'un réactif à une action physique. Pour faciliter le dépôt des particules dans le fond du bassin, l'étape de peut-être couplée à deux étapes chimiques permettant d'agglomérer les particules et de les rendre plus lourdes :

- 1. La coagulation** la coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux, elle consiste essentiellement à neutraliser à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération [6].
- 2. La floculation** la floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc et ensuite en et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floccs [13].

Ces définitions précédentes peuvent être résumées dans (figure1.4).



**Figure 1.4 :** Traitement physico-chimique des eaux usées.

### 1.1.3.3 Procédés de traitement chimique

Ce type de traitement utilise des réactifs chimiques qui agissent directement sur les éléments-traces métalliques, les matières organiques et les germes pathogènes. Ils sont très utilisés dans le traitement final des effluents. On peut citer les procédés suivants :

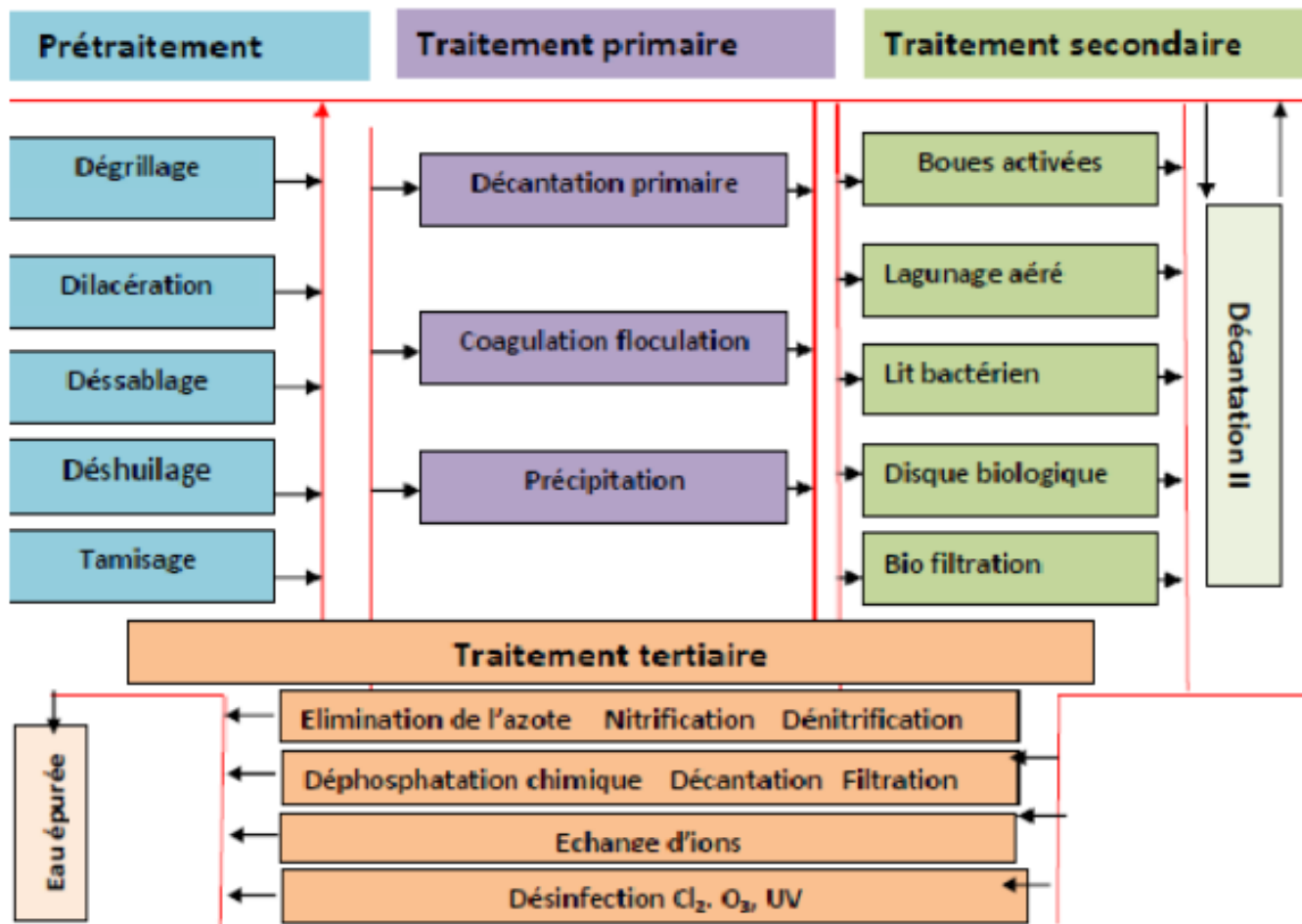
- L'oxydation par des agents tel que le chlore et l'ozone, agit sur les éléments, sur les matières organiques et détruit où inactive totalement ou partiellement les germes vivants, les virus et les bactéries.
- Les échanges d'ions sont des procédés de substitution d'ions sur des résines spécifiques [14].
- La neutralisation ou l'acidification agissent sur le pH de l'eau [15].

### 1.1.3.4 Procédés biologiques

Le traitement biologique reproduit dans des réacteurs spécifiques le phénomène d'autoépuration qui se déroule naturellement dans les cours d'eau. Le principe consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne. Celle-ci se nourrit des polluants et les dégrade [16]

### 1.1.4 La filière d'épuration

On peut esquisser l'enchaînement des étapes d'épuration des eaux usées comme illustré dans le schéma fonctionnel figure 1.5



**Figure 1.5:** Chaîne ou filières de traitement des eaux usées [17].

### 1.1.5 Les traitements biologiques

Le traitement biologique utilise les microorganismes naturellement présents dans l'eau, principalement les bactéries. Elles inhibent la matière organique biodégradable, matière naturelle ou micropolluants artificiels, en un produit plus simple et moins dangereux pour l'homme. Certains micro-organismes ont de grandes facultés de transformation métabolique et de décomposition des matières biodégradables [16]. De ce fait, l'épuration biologique consiste à favoriser la prolifération de ces micro-organismes pour utiliser leurs propriétés remarquables dans les conditions les mieux adaptées au résultat désiré [18].

Suivant l'emplacement des bactéries épuratrices dans le bioréacteur, on distingue deux dispositifs [14,15] :

#### 1.1.5.1 Le procédé à cultures fixes

Les micro-organismes sont fixés sur des supports. Le contact entre les eaux à traiter et les cellules épuratrices est assuré soit par arrosage des supports avec l'eau usée (lits

bactériens), soit par rotation des supports dans le mélange pollué (disques biologiques). Ces ouvrages permettent d'obtenir des concentrations en biomasse plus importantes et donc des traitements intensifs avec une taille relativement faible, mais présent des risques de colmatage ou d'émanation d'odeurs.

### **1.1.5.2 Le procédé à cultures libres**

Les micro-organismes sont maintenus en suspension dans le mélange à épurer. La biomasse entre ainsi constamment en contact avec les polluants. , on distingue deux modes de traitement [15] :

- 1 Le traitement aérobic** Ce type de traitement fait appel aux bactéries aérobies qui se développent en présence d'oxygène. La dégradation des polluants est effectuée par des réactions d'oxydation dans un milieu aéré.
- 2 Le traitement anaérobic** Ce traitement s'effectue en condition d'anaérobiose c'est-à-dire en absence d'oxygène. Les bactéries anaérobies assurent la décomposition métabolique des composés biodégradables par des processus de fermentation. Parmi l'ensemble des procédés biologiques utilisés dans le traitement des eaux usées.

On peut citer les principaux procédés suivants :

- **Les disques biologiques** dans ce procédé, les micro-organismes sont fixés sur des disques à demi immergés et tournant lentement (quelques tours par minute) autour d'un axe horizontal.
- **Les boues activées** ce système comprend deux compartiments principaux. Le premier est le bassin d'aération où ont lieu les activités biologiques de transformation des polluants biodégradables par l'intermédiaire des micro-organismes en suspension.
- **Les lits bactériens** ce procédé aérobie à cultures fixées consiste à faire supporter les micro-organismes par des matériaux poreux.
- **Le lagunage** Il s'agit d'un étang ou un système de lagunes mettant en œuvre une culture mixte algobactérienne. Suivant la profondeur du bassin, on peut distinguer différents régimes de fonctionnement.

## **1.1.6 Caractéristiques des eaux usées**

### **1.1.6.1 Paramètres physiques**

- **Température:** la température est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau, elle favorise la fermentation et diminue la tenue en oxygène dissous,

- **Turbidité:** la turbidité d'une eau est exprimée par sa charge en sable, matière organique, micro-organisme, .....,
- **Conductivité électrique:** la mesure de la conductivité donne une idée sur la salinité de l'eau[2],
- **Couleur et odeur:** dans les eaux usées, la couleur est due à la présence de la matière organique dissoute par contre l'odeur est due à la fermentation de ces matières organiques,
- **Potentiel d'hydrogène (pH):** il permet de mesurer l'acidité ou l'alcalinité des eaux ; le pH varie en fonction de la température,
- **Matière en suspension:** les matières en suspension (MES) représentent la fraction solide de la pollution. Elles sont quantifiées soit par filtration, soit par centrifugation puis séché a 105° à l'étuve [19],
- **Matières volatiles en suspension:** elles représentent 70% des fractions organiques de la teneur en matière en suspension pour des effluents domestiques,
- **Matières minérales en suspension:** elles sont calculées par la différence entre les matières en suspension (MES) et la matière volatile en suspension (MVS).

#### 1.1.6.2 Paramètres chimiques

**a) Demande biochimique en oxygène (DBO) :** Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant une certaine durée. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec l'intervention des bactéries, les matières organiques de l'eau usée ( $DBO_5$  consommation en cinq jours en mg/l). [20]

**b) Demande chimique en oxygène (DCO) :** La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent. La mesure de la DCO se fait à l'aide d'un oxydant énergétique comme le bichromate de potassium, en milieu acide, et à chaud pendant deux heures. On estime que cette oxydation détruit à 90-95% des composés. [20]

Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II, à chaud pendant 2h [21]. Elle est exprimée en mg/l. Généralement la valeur de la DCO est :

DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines.

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires.

DCO= 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.



- **Equivalent-habitant (EH)** l'équivalent-habitant (EH) est une unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne rejetée par habitant et par jour. La charge polluante rejetée par les ménages, les industries, les artisans est exprimée en EH, autrement dit une industrie de 100 EH pollue autant que 100 personnes [22].
- **Azote** dans les eaux usées urbaines l'azote se présente essentiellement sous la forme d'azote organique (urine, protéines) et d'azote ammoniacal  $NH_4$ . L'oxyde d'azote se trouve de façon marginale produit de transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit.
- **Phosphore** le phosphore est mesuré soit sous forme de phosphore, il est dû essentiellement au métabolisme de l'individu et à l'usage des détergents.
- **Les éléments-traces métalliques** ces éléments se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace.

#### **1.1.6.3 Paramètres bactériologiques:**

Ils sont constitués de microorganismes (bactéries, virus, algues, protozoaire etc..) et d'organismes supérieurs (vers et insectes aux divers stades de leur développement). Les groupes principaux sont :

- Les coliformes fécaux.
- Les streptocopes.
- Les clostridium sulfito.
- Réducteurs [23].

## **1.2 Généralités sur les boues**

### **1.2.1 Origine**

Les boues des stations d'épuration sont des produits résiduaux qui résultent du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Les effluents urbains, comprenant les eaux résiduaux urbains d'origine domestique et éventuellement industrielle et les eaux pluviales, subissent un traitement de dépollution avant leur rejet dans le milieu naturel.

L'épuration consiste essentiellement à éliminer les pollutions organiques et minérales des effluents et ce par le biais de divers prétraitements et traitements. Au cours de ces prétraitements et traitement des boues sont produites [24].

### **1.2.2 Type des boues**

On distingue différents types de boues selon les traitements appliqués pour épurer l'eau dans un milieu boueux [25].

### 1.2.2.1 Les boues primaires

Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées (dans les décanteurs-digesteurs par exemple). Elles présentent des concentrations élevées en matières minérales (sable, terre...) mais aussi en matière organique pouvant évoluer [25].

### 1.2.2.2 Les boues physico-chimiques

Elles ressemblent aux boues primaires sauf que durant le traitement de l'eau usée, il a été rajouté un réactif (sels de fer, d'aluminium, et autres agents flocculant) pour agglomérer les fines particules et améliorer la décantation [25].

### 1.2.2.3 Les boues biologiques

Elles sont aussi appelées boues secondaires, elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens et de leurs sécrétions[26].

On distingue aussi:

- **Les boues mixtes** Constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement complètes [26].
- **Les boues d'aération prolongée** Obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances [26]. La figure 1.6 ci-dessous indique ce différent types de boue selon le traitement

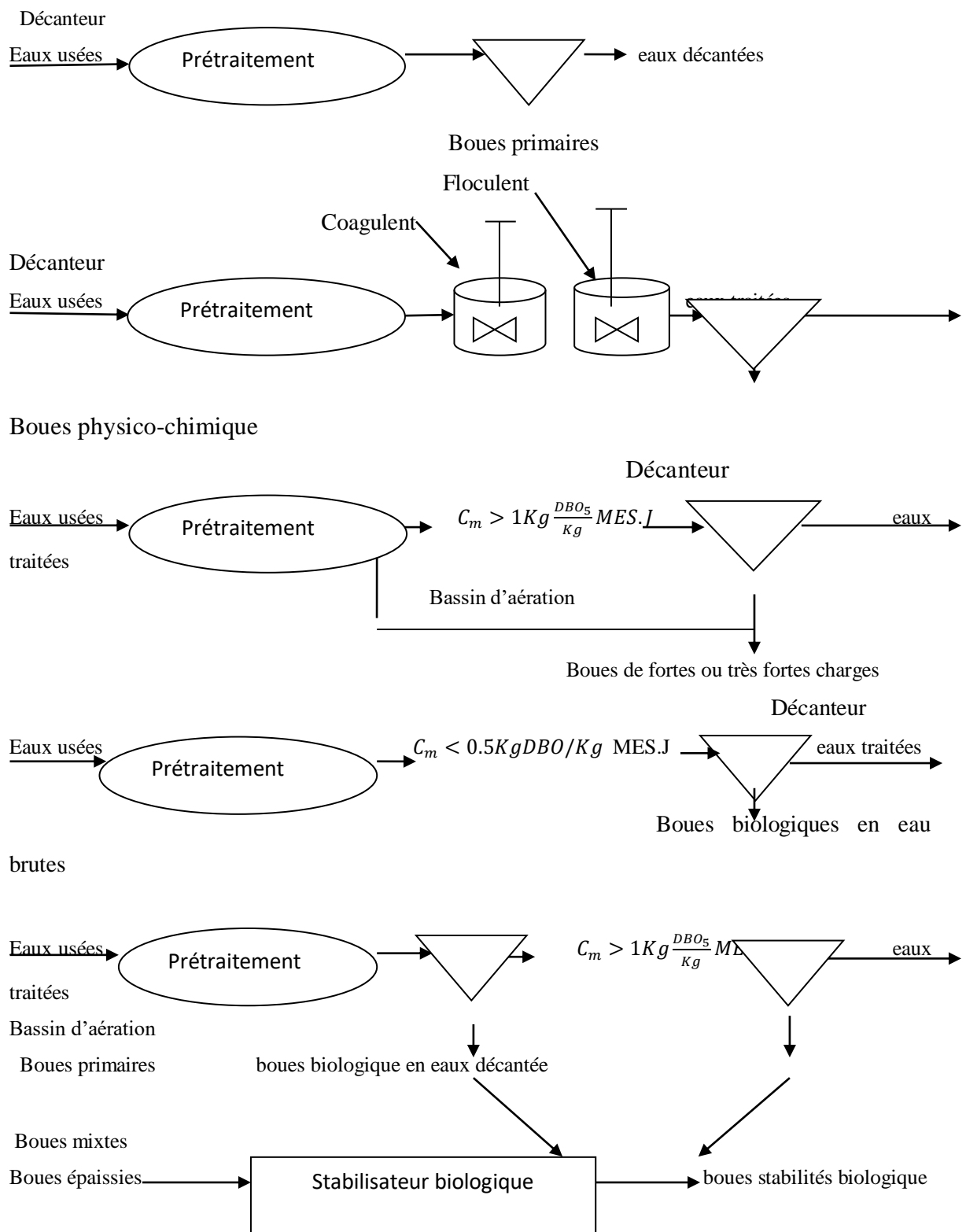


Figure 1.6 : Différent type de boues selon le traitement [27].

### 1.2.3 Composition des boues

La composition de la boue dépend à la fois de :

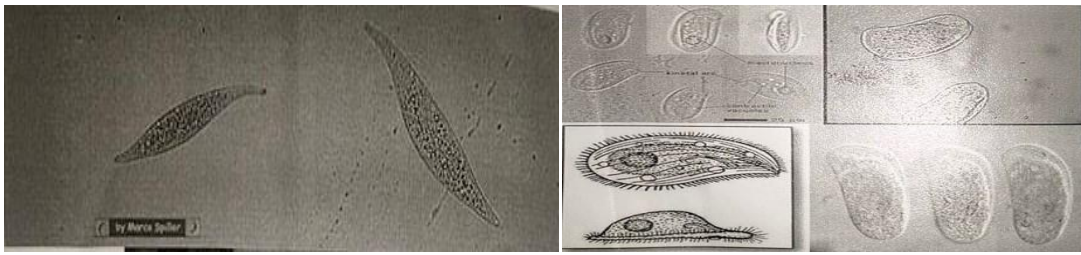
La nature de pollution initiale et Procédés d'épuration.

#### 1.2.3.1 Composition chimique

- A- Le phosphore** les boues sont toujours riches en acide phosphorique. La disponibilité immédiate du phosphore dans les boues plus petite en cas de traitement à la chaux ou de déphosphoration physico-chimique.
- B- Le potassium** les boues est généralement pauvre en potassium, car élément ne décante pas mais il reste en solution dans les eaux rejetées.
- C- Le calcium** : les boues sont très riches en calcium, elles se comportent même comme des amendements calcaires.
- D- Le magnésium** : l'apport en magnésium n'est pas négligé. Cet élément est très intéressant lorsque les sols sont carencés.
- E- Azote** : l'azote peut e trouver sous forme minéral (ammoniacal, nitrate) ou organique, sa présence organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et altère les conditions de vie.
- F- Eléments-traces métalliques**
- **Le cadmium(Cd)** : sa présence dans leseaux est surtout d'origine anthropique, notamment par les rejets industriels liés à la métallurgie,
  - **Le cuivre(Cu)** : le cuivre métallique est insoluble dans l'eau, mais la plupart de ses sels sont solubles : chlorures, nitrates, et sulfates de cuivre,
  - **Le chrome(Cr)** : dans les eaux naturelles, il peut provenir essentiellement de filons métallifères (chromite), sa présence en général est due aux rejets d'eaux usées,
  - **Le mercure(Hg)** : il setrouvesur les particules en suspension dans l'eau ou la matière organique et peut se trouver dans les sédiments des rivières,
  - **Le nickel(Ni)** : la source principale de nickel dans les eaux naturelles est l'oxydation de la pyrite contenant du nickel substitué au fer,
  - **Le plomb(Pb)** : la présence de plomb dans l'eau distribuée pour la consommation humaine peut provenir de tuyauteries anciennes contenant du plomb,
  - **Le zinc(Zn)** :le zinc et ses composés ont de très nombreuses applications industrielles,
  - **L'arsenic(As)** :il est classé comme substance très toxique pour l'environnement aquatique [27].

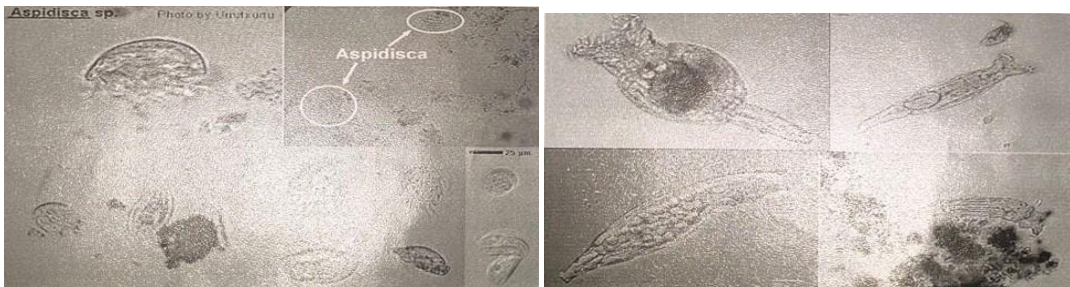
### 1.2.3.2 Composition microbiologique

La morphologie des principaux micro-organismes observés dans les boues apparait dans la série de photo ci-après représenté par la figure 1.7 :



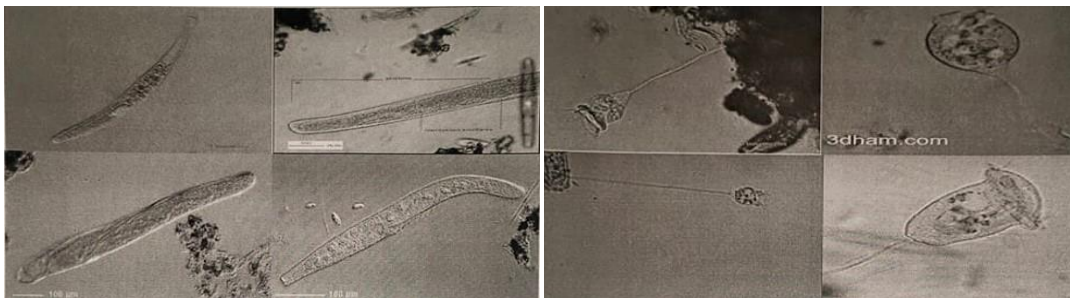
A : Hemiophrys

B : Chilodonell



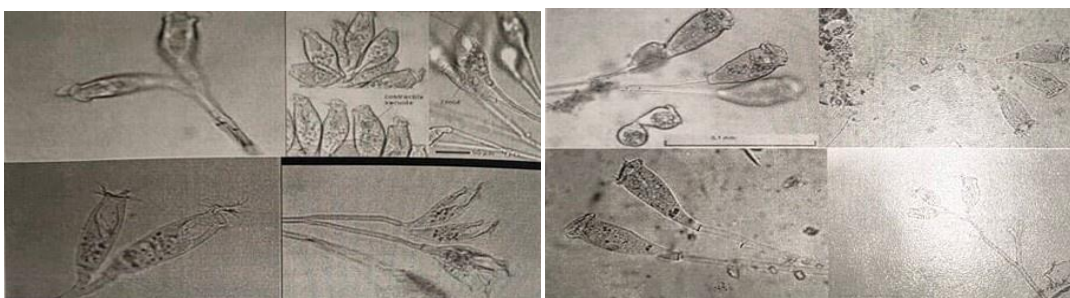
C : Aspidisca

D : Philodina



E : Spirostumum

F : Vorticella



G : Opercularia

H : Epistylis

**Figure 1.7** : La morphologie micro-organismes observés dans les boues [28].

## **1.2.4 Les caractéristiques physiques et chimiques des boues :**

### **1.2.4.1 Siccité**

Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage de matière sèche, est un paramètre qui renseigne sur la consistance et la concentration en solides des boues.

Une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 % ;

- \_ Les boues liquides : siccité de 0 à 10 %
- \_ Les boues pâteuses : siccité de 10 à 25%
- \_ Les boues solides : siccité de 25 à 80%
- \_ Les boues sèches : siccité supérieure à 80% [29].

### **1.2.4.2 Matières en suspension MES :**

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 :

$$\text{MES} = \text{MS} - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]. \text{ [30]}$$

### **1.2.4.3 Matières volatiles (MV)**

Selon la méthode normalisée (NF EN 12879, 2000). La matière volatile est Déterminée comme une calcination dans un four à moufle à  $550^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  pendant 2h du résidu sec, obtenu précédemment lors de la mesure de la matière sèche, a été réalisée. La connaissance des masses avant et après calcination permet de calculer le pourcentage massique de matières volatiles rapportées à la matière sèche.

### **1.2.4.4 Fraction volatile FV (en % des MS)**

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) [31].

### **1.2.4.5 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 généralement rhé fluidifiant, modélisable [32].

### 1.2.5 Les impacts de la boue

La présence de métaux dans les boues d'épuration pose de gros problèmes :

#### Sur l'environnement

- **Contamination atmosphérique** il existe à l'heure actuelle peu d'études concernant les risques de contamination atmosphériques suite à la production des boues, le compartiment aérien étant celui qui reste encore le moins étudié.

Des métaux comme le mercure ou l'arsenic peuvent se volatiliser directement dans l'atmosphère, mais comme ce sont des éléments peu bio-disponibles avec des facteurs de transfert faibles, les risques de contamination directe de l'atmosphère sont faibles.

Les émissions de gaz à l'effet de serre (GES) lors du transport et traitement de la boue telle que (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)[33].

- **Sur la santé humaine** : à l'issue des différentes phases de traitement des eaux usées, la grande partie des micropolluants métalliques s'accumule dans les boues résiduaire. En effet, en moyenne, 70 à 90% des micro-éléments sont retenus par les boues [34], telle que les Bactéries, les champignons, les virus et les parasites. Soit par contact direct avec les boues.

Soit indirecte par consommation d'aliments ayant été contaminés par contact avec les boues [35].

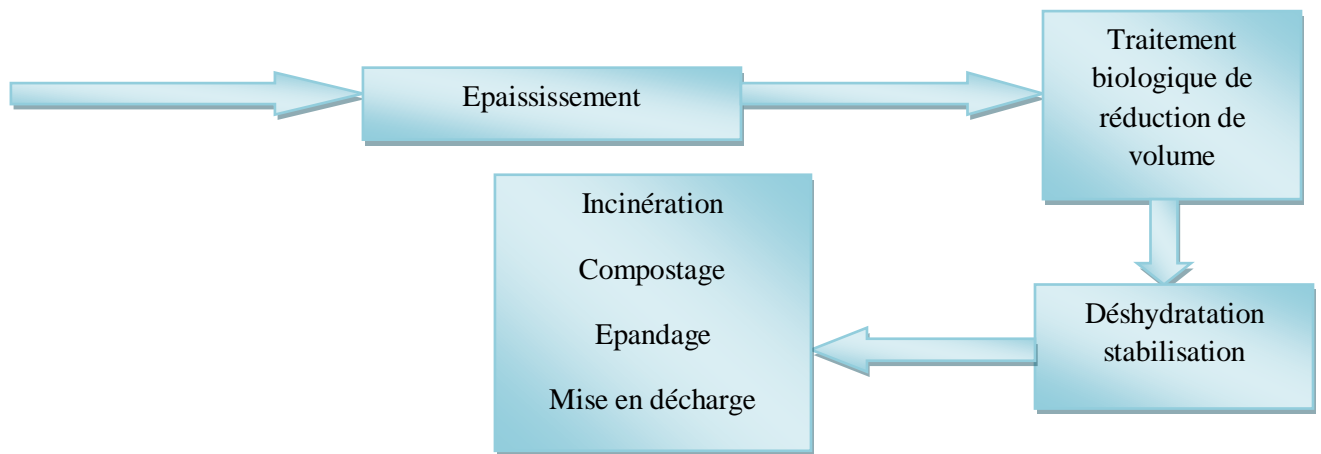
- **Risque sanitaire de la mise en décharge :**

La connaissance de l'exposition et des risques sanitaires associés à la mise en décharge est aujourd'hui faible. Cependant, des troubles liés au stockage de déchets peuvent affecter la vie des riverains (nuisances odorantes et/ou émissions d'hydrogène sulfuré qui peuvent entraîner des effets irritatifs au niveau des muqueuses) [32].

## 1.3 Traitement et valorisation des boues

### 1.3.1 Filière de traitement des boues

Les filières de traitement des boues sont très variées et dépendent de leurs compositions et de leurs destinations finales[34]. Les différentes étapes sont résumées comme suit dans la figure 1.8



**Figure 1.8 :** Différentes étapes du traitement des boues[34].

### 1.3.1.1 Epaissement

C'est la première étape du traitement des boues, C'est un procédé simple. Il sert principalement à réduire le volume des boues brutes, consommant peu d'énergie, Le taux de siccité obtenu peut atteindre jusqu'à 10% de MS pour épaisir les boues il ya diverses méthodes sont utilisées.

➤ **Epaissement gravitaire** il s'effectue par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la pesanteur, la boue épaisie est évacuée par le bas [37].

➤ **Epaissement dynamique**

a) **La flottation** cette technique est utilisée pour des boues biologiques d'aération prolongée ou de bio filtration, en général pour des installations de moyenne et grosse importance (>40 000 Eq.Hab). Il existe 2 techniques :

- Flottation directe : la boue est directement pressurisée.
- Flottation indirecte : l'eau clarifiée (eaux blanches) des sous verses est Pressurisée puis détendue dans un mélange eau + boue avant admission dans l'ouvrage.

b) **La centrifugation** cette technique de déshydratation mécanique permet de produire des boues dont la siccité est de l'ordre de 18 à 25 %.

Le traitement repose sur l'introduction de boues conditionnées avec un polymère adapté, dans le bol de la centrifugeuse. Soumise à une force centrifugeuse de plusieurs milliers de tours par minute, la boue conditionnée est séparée de l'eau qu'elle contient [39].



### 1.3.2 La stabilisation

La boue brute est biologiquement active car elle contient des composés biodégradables. Le taux de décomposition doit être augmenté afin d'éviter des problèmes tels que l'odeur due à la dégradation anaérobie, etc.

La stabilisation est importante en ce qui concerne l'hygiénisation. Puisque les odeurs sont réduites. Après stabilisation, le volume a diminué, l'hygiénisation s'est produite et les boues ne sont plus considérées comme actives [4].

Ils existent 3 types de la stabilisation :

#### 1.3.2.1 Stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles.

Elle se fait soit par :

- **Voie aérobie** (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie.
  - **Voie anaérobie** dans des digesteurs avec production de biogaz (méthane).
- a) **La digestion anaérobie (méthanisation) :** permet de :

Il s'agit d'un traitement biologique par voie anaérobie (sans oxygène) de matières fermentescibles, Elle a lieu dans un digesteur à une température comprise entre 35 et 55 °C et produit du biogaz, Ce dernier est ensuite stocké dans un gazomètre avant valorisation [39].

b) **La digestion aérobie**

Est une transformation de la matière organique par oxydation en milieu aérobie avec dégagement de chaleur et production de dioxyde de carbone [42]. Selon institut national de recherche et de sécurité, la stabilisation biologique aérobie par compostage à partir de boues déshydratées.

#### 1.3.2.2 Stabilisation chimique

La stabilisation chimique consiste à bloquer l'activité biologique en y mélangeant de la chaux vive,  $C_aO$ , ou de la chaux éteinte,  $C_a(OH_2)$ , on calcule les doses des chaux en fonction des siccités initiale et finale des boues, dans une proportion de 10 à 50 % de la MS des boues. Ce qui en élève le pH au-delà de 12 ce qui inhibe la biomasse responsable de la dégradation de la matière organique. [42].

En général, cette stabilisation s'opère après déshydratation des boues. En sortie, les boues sont dites hygiénisées.

### **1.3.2.3 Stabilisation thermique**

Cette technique a pour but de dégrader la matière organique (MO) partiellement oxydée et adsorbée sur les floccs en présence d'oxygène.

La réaction d'oxydation est naturellement exothermique, la chaleur étant produite par échauffement spontané. Elle permet, par l'utilisation de réacteurs clos isolés thermiquement et alimentés en air surpressé, de maintenir une température de l'ordre de 50-60°C, des rendements de destruction de la MO de 50% et une élimination importante des mauvaises odeurs. Un temps de séjour minimum d'environ 6 jours est nécessaire pour obtenir une siccité d'au moins 25 à 35 %, selon la nature des boues entrantes [43].

### **1.3.3 Déshydratation**

Seconde étape du traitement des boues, la déshydratation intervient après l'épaississement. En général, une boue est considérée apte à être déshydratée quand sa concentration est supérieure à 15 g/l.

Le traitement produit alors des boues de l'ordre de 15 à 30 % de siccité (150 à 300 g/l).

Ils existent deux types de la déshydratation :

#### **1.3.3.1 La déshydratation mécanique**

La déshydratation mécanique, n'intéressant jusqu'à maintenant que les stations d'épuration de plus de 4000 E.H [44]. Cette technique, placée après des étapes d'épaississement ou d'égouttage, permet de réduire le volume des boues à au moins 1/8 de son volume initial [45] et permet de produire des boues dont la siccité est de l'ordre de 18 à 25 %.

La déshydratation fait par filtration ou centrifugation.

#### **1.3.3.2 La déshydratation naturelle**

Le séchage élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage) soit par voie thermique :

**A) Lit de séchage :** Le processus de traitement par lit de séchage est un procédé principalement axé sur la Séparation des phases solides et liquides afin de réduire le volume des boues et augmenter leur concentration, soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique [46]. Ce système amène à une siccité des boues 30 ou 45 % [47].

Le temps de séchage peut s'étendre entre 2 à 4 semaines selon le type de sol et le climat [48].

**B) Le séchage thermique :** Selon ([49]) le séchage est un transfert de masse et de chaleur visant à évaporer l'eau contenue dans les boues, permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité à 95%).

Il existe trois types de sècheurs [49] :

- 1) **Les sècheurs à contact direct :** les gaz chauds sont en contact avec les boues.
- 2) **Les sècheurs à contact indirect :** le séchage se fait principalement par conduction.
- 3) **Les sècheurs mixtes :** ils utilisent à la fois les propriétés du sècheur direct et indirect, la paroi est chauffée et l'air chaud permet l'évaporation de l'eau des boues.

### **1.3.4 Valorisation des boues**

#### **1.3.4.1 Définition**

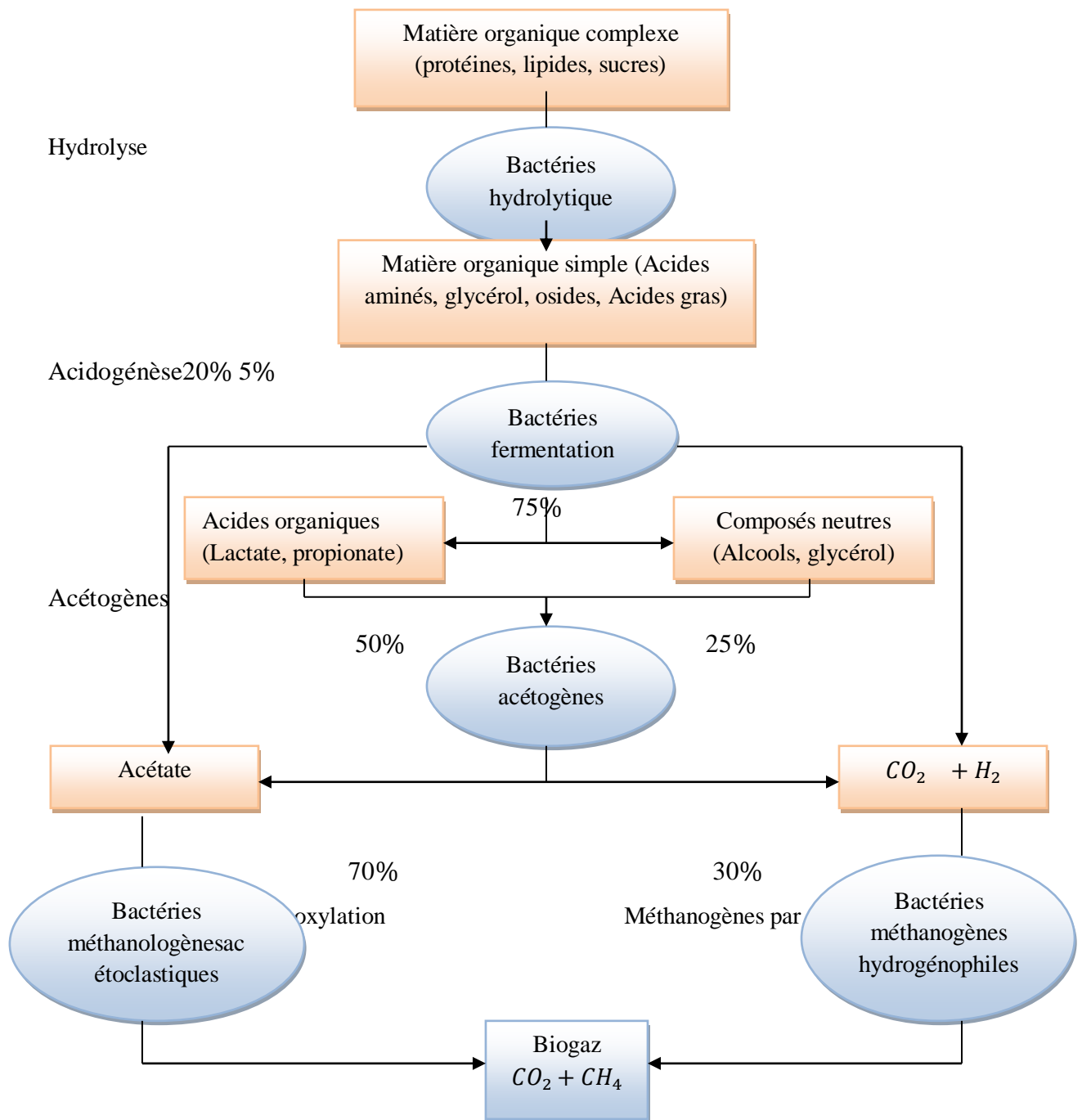
La valorisation est un terme générique recouvrant le recyclage matière organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que la réutilisation et la régénération.

#### **1.3.4.2 Les différents types de la valorisation**

##### **A. Valorisation énergétique**

- 1) **L'incinération :** Consiste en 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 [50]. 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).
- 2) **La Co-incinération :** Les boues sont incinérées en mélange avec les déchets ménagers, quelle que soit leur siccité.

**B. Valorisation thermique :** Les principales phases du processus de méthanisation.



**Figure 1.9 :** La valorisation thermique [51].

- **Le biogaz :** est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant[51].

### **C. 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 de 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.

### **D. Valorisation agricole des boues**

Le recyclage agricole des boues d'épuration permet de valoriser la matière organique et les substances fertilisantes qu'elles contiennent, Les premières stations d'épuration sont apparues dès les années 50 et depuis cette époque des boues ont été épandues sur les terres agricoles [50].

**1. La restriction d'usage en agriculture :** Selon (NA, 2017)[52] les boues ne peuvent être utilisées sur /ou dans les sols que lorsque les conditions suivantes sont remplies à savoir :

- Lorsque les boues présentent des concentrations inférieures aux valeurs limites en éléments traces métalliques et ont un pH supérieur à 6.
- Elles ne doivent pas être utilisées sur les terres en pente supérieure à 7 %.
- L'accès aux terres agricoles où les boues non enfouies ont été épandues est restreint pendant 30 jours.
- La dose d'utilisation des boues doit être calculée selon les besoins des cultures en éléments nutritifs, les teneurs du sol et des boues en éléments minéraux.
- Les eaux usées épurées et les boues d'épuration ne peuvent être utilisées simultanément sur la même parcelle la même année.

### **2. les différentes formes de la valorisation agricole**

- **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 il faut donc les stocker [54]. Et le stockage correct des boues de stations

d'épuration est un facteur-clé pour fiabiliser les épandages qui est prolongé des boues est reconnu pour abaisser leur charge en agents biologiques pathogènes. Le stockage doit être sur sol nu et dans un période très long (12 à 18 mois).

➤ **Quantités maximales de boues pouvant être épandues :**

La quantité d'application de boues, sur les sols, doit respecter les trois conditions suivantes [53] :

- ✓ elle est calculée sur une période appropriée par rapport au niveau de fertilité des sols et aux besoins nutritionnels des plantes en éléments fertilisants, notamment le phosphore et l'azote, en tenant compte des autres substances épandues ;
- ✓ elle est compatible avec les mesures prises en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole en zone vulnérable ;
- ✓ elle est, en tout état de cause, au plus égale à 30 tonnes en matière sèche par hectare sur une période de dix ans.

La figure 1.10 représente le matériel d'épandage de boue ci-dessous :

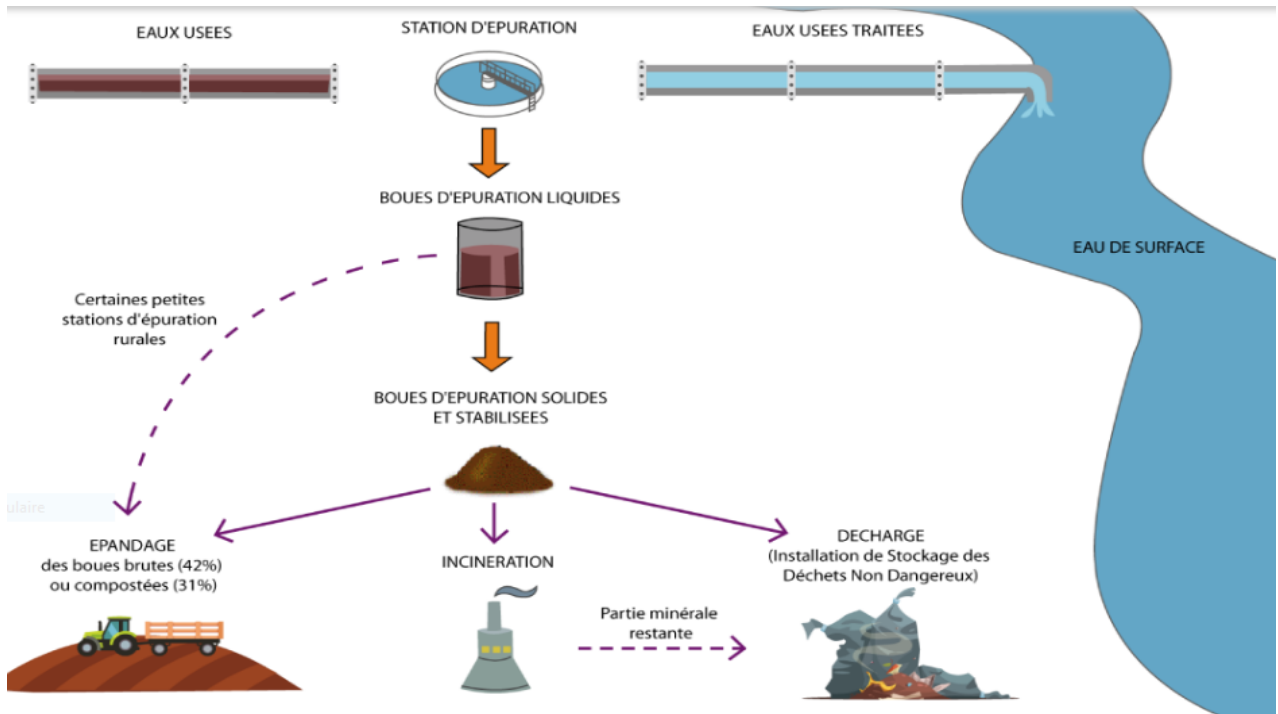


**Figure 1.10 :** Matériel d'épandage de boues solides.

**3. Compostage :** le compostage consiste en une dégradation par voie aérobie des matières organiques fermentescibles se déroule naturellement dans le sol [54]. 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 CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, de chaleur.

**Tableau1.1 :** La différence entre les boues brutes et le composte de boues [54] en kg/tonne de matière brute.

	MS	C/N	MO	NTK	$P_2O_5$	$K_2O$	Effet
Boues brutes %	18	7	120	10	13	0,9	Fertilisant
Compost de boue %	50	13	600	12	17	4,5	Fertilisant et amendant



**Figure 1.11 :** Production, traitement et filières de valorisation des boues de station d'épuration.

### 1.2.10 La mise en décharge :

Le terme décharge a d'abord été remplacé par « centre de stockage » ou « centre d'enfouissement technique » (CET), puis en « installation de stockage de déchets » (ISD). C'est destination finale la plus fréquent des boues produites, mais il faut le lieu de stockage doit être confiné et on ignore quel peut être le devenir à long terme ni la durée du confinement malgré toutes les précautions [50].

Selon [36] On a trois classes de décharge :

- ✓ Classe 3 : elles n'accueillent que les déchets inertes comme les gravats, les déchets du bâtiment ...donc les déchets qui ne fermentent pas, qui ne brûlent pas.

✓ Classe 2 : elles accueillent les déchets de types ordures ménagères ou assimilés. Donc les produits qui peuvent fermenter et évoluer avec le temps.

✓ Classe 1 : elles reçoivent les déchets toxiques et dangereux [36].

Les directives européennes sur les déchets, s'opposent au dépôt des boues en centre d'enfouissement, depuis juillet 2002, car elles ne constituent pas un déchet «ultime» puisqu'elles sont valorisables. Donc, à l'avenir, seules les cendres résultant de l'incinération des boues pourront être stockées [50].



**PARTIE**  
**EXPERIMENTALE**

## 2.1 Présentation de la STEP de CHOUNOUA

La station d'épuration des eaux de la ville de Tipaza est administrativement localisée dans la daïra et la wilaya de Tipaza. Mise en service en janvier 2008, la STEP a pour mission de collecter et d'épurer les eaux usées urbains et domestiques des communes de Tipaza et Nador, sa capacité de traitement est de 70.000 EH Pour débit de 1.200m<sup>3</sup>/j. Les communes raccordées à cette station sont : NADOR, SIDI AMEUR et TIPAZA

Après la réalisation et la mise en service de la station d'épuration des eaux usées de Hadjout et suite a la réhabilitation de la STEP de Koléa, le projet de la station d'épuration de la ville de Tipaza a été lancé. Cette réalisation s'inscrit dans le prolongement des nombreuses actions par la ville de Tipaza en faveur du développement durable. Depuis 2008, la station d'épuration de Tipaza est certifiée ISO 14001/2004. La figure ci-dessous présente la station.



**Figure 2.1:** La station d'épuration de CHENOUA

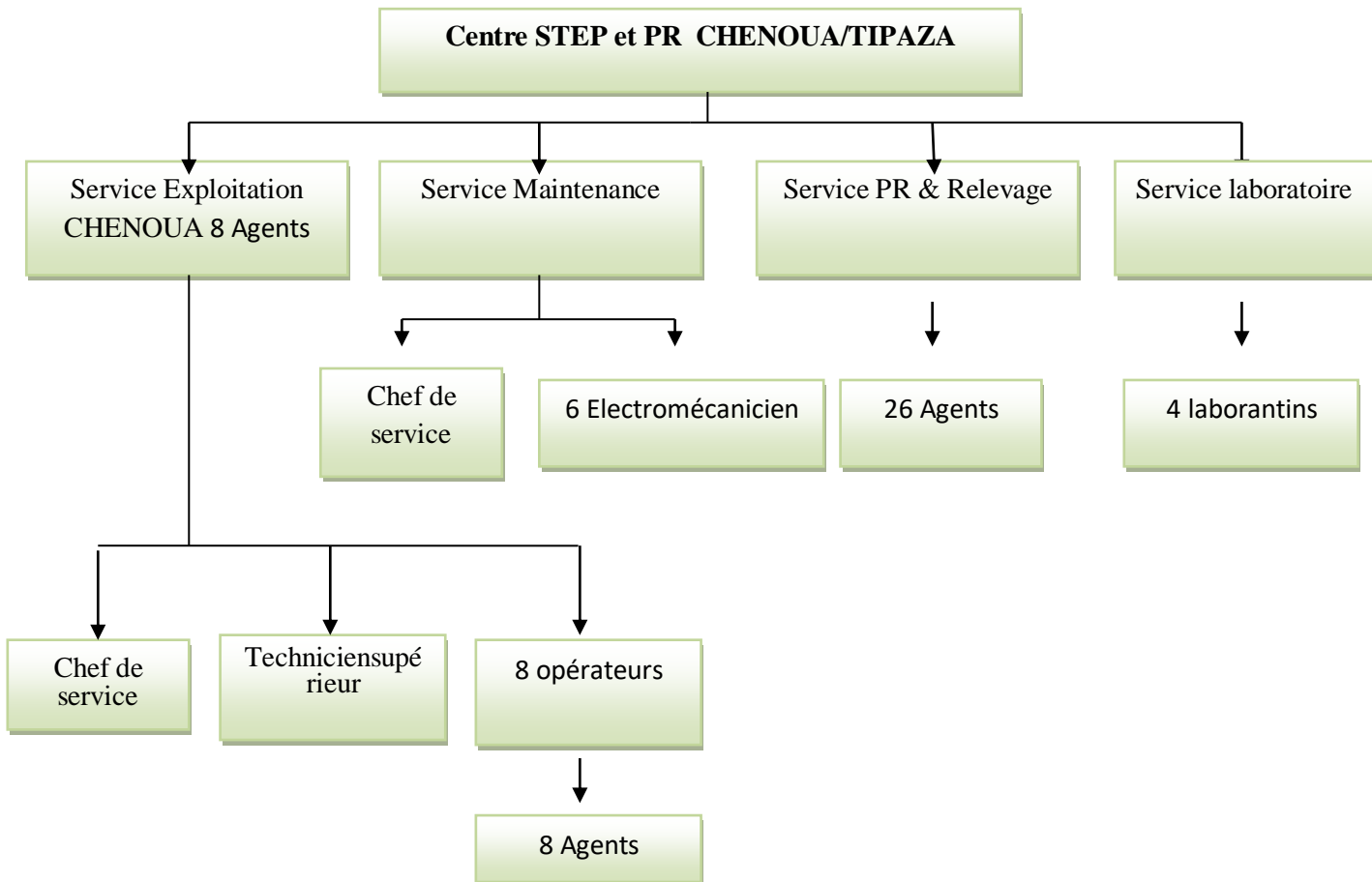
### 2.1.1.1 Situation géographique

La STEP de Chenoua est située dans la ville de Tipaza, à la région de Chenoua en périphérie nord-ouest de la ville, d'environ 70 Km à l'ouest d'Alger, comme indique la figure ci-dessous :



**Figure 2.2 :** Carte géographique de la STEP de Tipasa.

La figure 2.3 présente l'organigramme de la STEP



**Figure 2.3 :** Organigramme de le STEP de Tipasa.

**Tableau 2.1** : Les caractéristiques de pollution à traité (charge et débit nominal)

<b>Paramètres</b>	<b>Caractéristiques</b>
Volume journalier	11200m <sup>3</sup> /j
Débit moyen 24h	467m <sup>3</sup> /h
Débit de point temps sec	803m <sup>3</sup> /h
DBO <sub>5</sub> journalières	4200kg/j soit 375mg/L
MES journalières	4900kg/j soit 438mg/L
SDBO (DBO soluble)	187mg/L
pH	Entre 6.5 et 8.5
DCO totale	825mg/L
DCO biodégradable	600mg/L
DCO soluble	305mg/L
DCO biodégradable immédiatement	140mg/L
NTK	40mg/L
P totale	10mg/L
Température	20°C

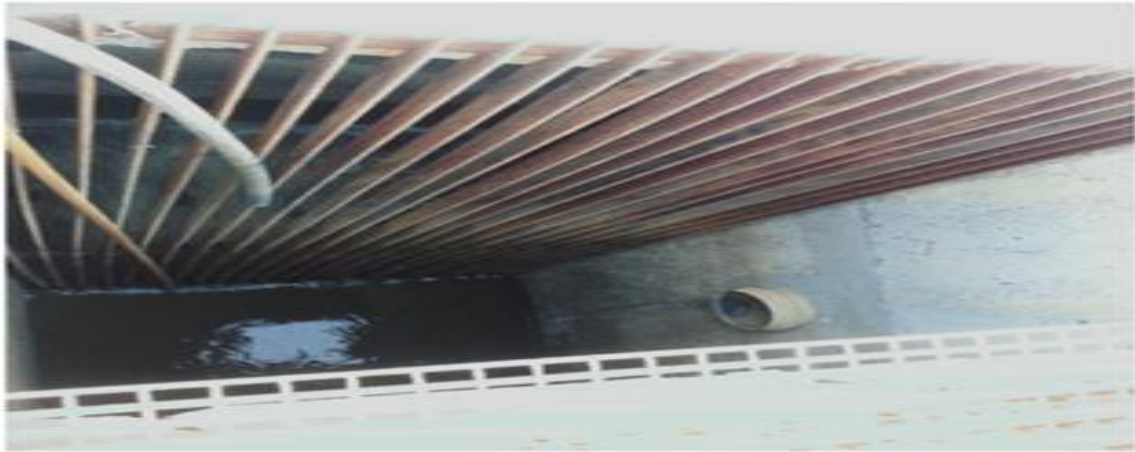
Le traitement à la filière de l'eau comporte les étapes suivantes :

- Arrivée des eaux, by-pass en cas d'orage vers l'Oued, à partir du regard en Amont au poste de relevage de la station,
- Dégrillage grossier, relevage, dégrillage fin,
- Dessablage et dégraissage déshuilage,
- Traitement biologique,
- Décantation clarification.

### **2.1.1.2 Prétraitement**

#### **2.1.1.2.1 Dégrilleur grossier**

Il est de type barreaux plats à nettoyage manuel. Les barreaux sont inclinés à 70° et se caractérisent par une largeur de 1.5 centimètre et un écartement de 5 centimètre. (Maille de 5\*5cm). Il à retenir les déchets solides de grosse taille, comme indique la figure 2.4 ci-dessous :



**Figure 2.4 :** Dégrilleur Grossier.

#### **2.1.1.2.2 Poste de relevage**

Il assure le passage gravitaire de l'eau brute dans les différents ouvrages de traitement. Ce compartiment d'aspiration de 30 m<sup>3</sup> est équipé de quatre pompes de type submersibles dont 1 sont en services et 3 sont en réserve, comme indiqué la figure 2.5 suivante :



**Figure 2.5:** poste de relevage.

#### **2.1.1.2.3 Dégrilleur fin**

C'est une grille fine à nettoyage mécanique, inclinée à 15°. L'écartement des barres est de 20mm. Les déchets retenus au niveau de la grille sont soulevés par l'intermédiaire d'une benne inclinée. Une bande transporteuse prend le relais afin d'évacuer le rebus vers un conteneur de stockage. Par mesure de sécurité, un chenal by-pass d'une grille à nettoyage manuel, permet la continuité du fonctionnement de la station en cas d'arrêt du dégrilleur automatique.

Les déchets solides ramassés au niveau du conteneur, sont évacués vers le centre d'enfouissement technique (CET) de SIDI RACHD. Le dégrilleur fin est représenté par la figure ci-dessous :



**Figure 2.6 :** Dégrilleur fin.

#### 2.1.1.2.4 Dégrossisseur-Déshuileur

C'est un ouvrage en béton armé de forme conique d'un diamètre de 5m. Sa capacité de traitement est de 1167m<sup>3</sup>/h. Il comprend un groupe tournant, qui permet de donner au liquide la vitesse adéquate pour la sédimentation des sables.

Par ailleurs les graisses et les écumes sont collectées à la surface du bassin. Elles seront évacuées dans un réservoir de stockage de graisse équipé d'une cloison siphonée qui piège la graisse dans le réservoir et fait circuler l'eau vers l'entrée de la station. Les graisses et les écumes accumulées sont déchargées périodiquement et manuellement comme indique la figure 2.7 suivante :



**A :** Dégrossisseur **B :** déshuileur

**Figure 2.7:** Image de Dégrossisseur et déshuileur

#### 2.1.1.3 Traitement biologique

Le bassin biologique est composé de deux compartiments d'un volume de 6000m<sup>3</sup> chacun, à la surface desquels sont disposés trois turbines d'aération.

Le traitement biologique est appliqué par digestion aérobie dans lequel les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques contenues dans les eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. Ci-dessous la figure 2.8 qui présente le bassin biologique.



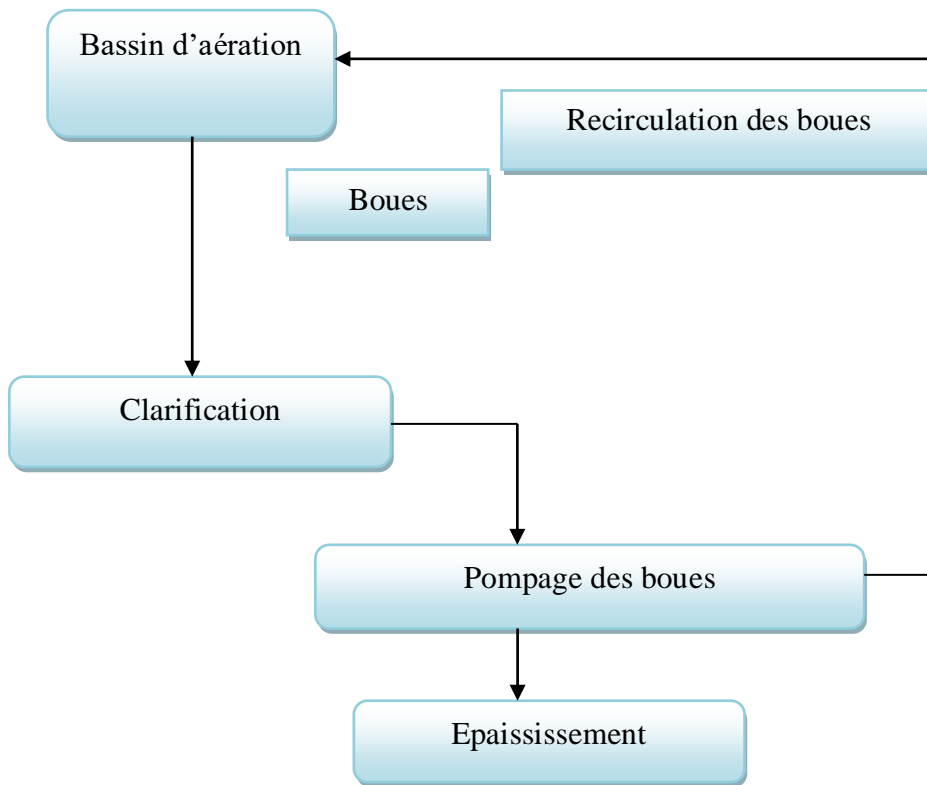
**Figure 2.8** : Bassin biologique.

#### **2.1.1.4 Traitement des boues**

##### **2.1.1.4.1 Poste de reprise de boues**

Situé en aval des décanteurs (filière boue), il est équipé de :

- Trois pompes immergées (dont 1 de réserve), elles assurent la recirculation des boues contenant la culture bactérienne épuratrice des pollutions carbonées et azotées contenues dans le bassin biologique.
- De deux pompes immergées (1 en service) d'un débit de 30 m<sup>3</sup>/h chacune, elles permettent l'évacuation des boues en excès vers l'épaississeur. La figure 2.9 suivante montre le schéma de recirculation des boues.



**Figure 2.9:** Schéma de recirculation des boues.

#### 2.1.1.4.2 Épaississeur

Les boues en excès épaissies par gravité dans cet ouvrage. Un mécanisme de rotation augmente l'efficacité du processus d'épaississement et ainsi le contenu des matières solides.

##### ❖ Caractéristiques de l'ouvrage

- Diamètre : 11 m,
- Hauteur : 4 m,
- Siccité des boues épaissies : 3.5% (35 kg/m<sup>3</sup>),
- Production des boues : 130 m<sup>3</sup>/jour,
- Temps de séjour de la boue : 3 jours.



L'épaisseur est représenté par la figure 2.10 ci-dessous :



**Figure 2.10 :** L'épaisseur.

#### 2.1.1.4.3 Déshydratation

Les boues épaissies sont déshydratées par un filtre à bandes. Il permet aux boues d'atteindre une siccité de 24%. Son débit d'entrée est évalué à  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ . La figure 2.11 suivante représente un filtre à bande.



**Figure 2.11:** Filtre à Bande.

## A. Conditionnement des boues

Le polymère FO4650SHPS est ajouté à la boue pour améliorer ses caractéristiques de déshydratation. Il permet d'augmenter les concentrations en matière sèche.

Le dosage moyen du polymère est entre 4 et 6 kg par tonne de boue sèche. Le conditionnement des boues en polymère (après préparation) s'opère dans un réacteur cylindrique situé en amont du filtre à bandes.

**Tableau 2.2** nature de polymère utilisé dans la station

Nom de produits	Ethanaminium,N,N,N-trimethyl-2-((1-oxo-2-propenyl)oxy)-,chloride,polymer with 2-propenamamide
Couleur	Blanc
Forme	Solide pulvérulent
nature	Acide adipipique
Masse volumique	0,85
Température de stockage	Entre 5 et 30 C°
Concentration	Entre 4 et 10 g/l

## B. Préparation de polymère

Ce polymère se présente sous forme de poudre à dissoudre dans une concentration de 0.1%. Une unité de préparation automatique est prévue au niveau de la station. Les bacs de préparation sont alimentés en eau (dilution) par l'intermédiaire d'une pompe dite.

« De lavage ». Un doseur injectera la quantité de polymère adéquate. Le mélange ainsi préparé ralliera le réacteur cylindrique via une pompe dite « doseuse ».

La figure 1.12 ci-dessous indique les unités de préparation de polymère :



**Figure 2. 12:** Unité de préparation de polymère.

## 2.2 Matériels et méthodes

### 2.2.1.1 Echantillonnage

Les prélèvements ont été effectués au niveau de trois émissaires de la station de CHENOUA. Au sein de laboratoire de la STEP, nous avons effectué la mesure des paramètres suivant : Température, pH, MS,  $I_b$ ,  $d_{v30}$ , MVS, la siccité et MES, tandis que les autres paramètres ont été réalisés au laboratoire centrale de BARAKI.

Pour les prélèvements des boues de l'aérateur, il faut un échantillon :

- Homogène (ou il y a l'agitation),
- Représentatif (prélevé de la sortie de l'aérateur).

### 2.2.1.2 Analyse physico-chimiques

#### 2.2.1.2.1 Mesure de pH et de la température

Un pH mètre de marque SENSION PH3 à été utilisé pour faire cette mesure

#### ➤ Protocole opératoire

On pèse un échantillon de 10 g de la boue dans un bêcher de verre puis on ajoute 100 ml de l'eau distillée. A l'aide du pH-mètre sous agitation, la mesure est effectuée par la méthode potentiométrique pour le pH et la méthode électrique pour la température.

Comme indique la figure2.13 suivante :



**Figure 2.13 : PH-mètre (SENSION PH3)**

### **2.2.1.2.2 Indice de boue**

Pour déterminer ce paramètre le protocole ci-dessous a été suivi :

- Prélever un échantillon de boue homogène et représentatif du bassin d'aération (de préférence en sortie de bassin, l'aérateur étant en fonctionnement depuis ¼ d'heure) et un échantillon d'eau clarifié (éviter les flottants pour les éventuelles dilutions),
- Remplir une éprouvette avec un litre de boue remise en suspension,
- Agiter vigoureusement l'éprouvette de bas en haut sans perdre du mélange (obturer avec la paume de la main protégée par du para film ou un gant),
- Poser l'éprouvette sur un plan horizontal stable non soumis à des vibrations et à l'ombre, en évitant l'augmentation de la température et ensuite la minuterie est déclenché,
- Après 30 minutes, noter le niveau du voile de boue (interface boue eau) dans l'éprouvette,

La figure suivante représente des images de l'état initial et final des boues.



**Figure 2.14** :Début de test de décantation.**Figure 2.15** :Test de décantation après 30 minutes.

- Cette valeur notée  $d_{v30}$  doit impérativement être comprise entre 100 et 300 mL, Dans les cas contraire, vider l'éprouvette, la rincer et introduire 500 Ml d'eau clarifiée ce qui correspond à une dilution au 1/2 suivre la procédure à partir du point3,
- Les étapes 3 à 5 doivent être refaites avec des dilutions plus importantes ( $\frac{1}{4}$ de boue, $\frac{1}{5}$ ,...) jusqu'à obtenir les conditions de validité du test (entre 100 et 300 mL de volume décanté après 30 minutes.

### 2.2.1.2.3 Teneurs de MS et MO

#### 1) La matière sèche (MS)

Ces matières sont déterminées selon le protocole suivant :

- Identifier et mettre les capsules 2h à 105°C dans l'étuve,
- sortir et mettre 15 min au dessiccateur les capsules puis les peser,
- déposer un volume de boues,
- peser la capsule pleine,
- peser la capsule après séjour à 105°C: on obtient la siccité,
- peser la capsule après séjour à 550°C: on obtient les MVS.

Déterminer la teneur de la matière sèche (Ms) comme suite:

$$MS\% = \frac{(M_2 - M_0) \times 100}{(M_1 - M_0)} \text{En\%} [57].$$

$$\text{Siccité (\%)} = \frac{M_2 \times 100}{M_1} [58]$$

$M_0$  : Masse capsule vide

$M_1$  :Masse de l'échantillon humide

$M_2$  : Masse de l'échantillon après séchage

#### 2) La matière organique (volatile)

Le résidu à 150°C porté pendant 2 heures à 550° C dans un four à moufle préalablement chauffé et thermostaté.

$$MO\% = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1}$$

Avec :

$M_1$  : Poids sec a 105° C en g.

$M_2$  : Poids incinéré a 505°C.

## 2.2.2 Mesure les MES et MVS :

### Principe

Les différents échantillons de boues (aérées, digérées et recerclées) sont centrifugés et le culot repris dans de l'eau distillée et ce deux fois. On récupère enfin le culot dans une coupelle d'aluminium pré séchée à 105°C puis pesée à vide et on étuve le tout à 105°C. On pèse enfin la coupelle et son contenu après dessiccation: on calcul les matières en suspension MES.

Cette même capsule est enfin placée 2h à 550°C ce qui permet d'éliminer les matières volatiles sèches par calcination. On pèse la coupelle après calcination et on calcul les MVS.

Pour obtenu les MES et MVS le protocole ci-dessous à été suivi :

- identifier et mettre les capsules 2h à 105°C.
- sortir et mettre 15 min au dessiccateur les capsules puis les peser.
- mettre 50 mL de boues à l'éprouvette dans un tube à centrifuger puis rincer à l'eau distillée.
- après centrifugation éliminer le surnageant et reprendre le culot dans 50 mL d'eau distillée.
- transférer le culot dans une coupelle.
- mettre dans l'étuve 8h minimum à 105°C puis peser: on obtient les MES.
- placer la coupelle 2h à 550°C puis peser: on obtient les MVS.

Ces matières sont calculées comme suit :

$$MES = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

$$MVS = \frac{(M_1 - M_0) - (M_2 - M_0) \times 100}{M_1 - M_0}$$

: Masse en mg de la capsule vide  $M_0$

: Masse en mg de capsule après séchage  $M_1$

: Masse après calcination  $M_2$

### 2.2.3 Analyse chimique

#### 2.2.3.1 Carbone organique :

Le principe repose sur l'oxydation de la matière organique par une solution de potassium, en milieu acide, l'excès de bichromate est titré par une solution de sel de MOHR.

#### Protocole expérimental

- Mettre l'échantillon dans un ballon de 15 ml
- Ajouter 10mL de solution aqueuse de  $K_2Cr_2O_7$ .
- Ajouter 15ml d' $H_2SO_4$  à reflux pendant 5 min.
- Porter à ébullition lente à reflux pendant 5 min.
- Refroidir à température ambiante.
- Transférer dans une fiole jaugée et ajuster à 100 ml.
- Prendre 20 ml dans un bécher contenant (200 ml d'eau distillée + 8 gouttes de diphénylamine) et doser par le sel de MOHR.
- Le virage se fait lentement du marron au bleu violet, puis on observe un passage brutal du violet au vert.

#### 2.2.3.2 Le phosphore total $P_2O_5$ :

L'analyse du phosphore nécessite tout d'abord une minéralisation de l'échantillon analytique en présence d'un mélange nitro-perchlorique. Ensuite, à l'aide du vanadomolybdique, il y'aura la production d'un complexe phospho-vanadomolybdique de couleur jaune qui est mesuré par spectrophotométrie.

Protocole opératoire :

- On place 100mg de l'échantillon dans un erlenmeyer et on ajoute 5ml de réactif de digestion comme suit:

- Faire chauffer au dessus d'un bain de sable de laboratoire, jusqu'à ce que le peroxyde d'azote, de couleur brunâtre et l'acide perchlorique, de couleur blanchâtre se soient évaporés,
- Ajouter 40mL de la solution de vanadium-molybdénium à l'échantillon digéré,
- Remuer la solution jaune pendant une heure,
- Procéder à une filtration, rincer le filtre avec la solution de vanadium-molybdénium jusqu'à ce que le flacon contienne exactement 50ml,
- Mesurer l'extinction de la solution claire dans une cellule de 1cm avec un spectrophomètre UV- Vis DR3900 HACHE LANGE à une longueur d'onde de 470 nm.

### **2.2.3.3 L'azote total N :**

Après minéralisation et distillation, on utilise la titrimétrie dite : «KJELDAHL ».

Après minéralisation et en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur à base de sélénium, l'ammoniac est entraîné par un courant d'eau, puis recueilli dans une solution d'acide sulfurique [54].

Le dosage des autres éléments comme le calcium et potassium est effectué par spectrométrie d'absorption atomique.

#### **Mode d'opérateur:**

Premièrement on fait minéraliser l'échantillon, puis la distillation.

#### **a) Minéralisation :**

- Opérer une prise d'essai de 2g de substance,
- Introduire cette prise d'essai dans un matras de 250mL.
- Ajouter environ 2g de catalyseur et de 20mL d'acide sulfurique pur.
- Porter le matras sur le support de chauffage jusqu'à décoloration du liquide et obtention d'une coloration verte stable « 3heure environ),
- Laisser refroidir, puis ajouter peu a peu, avec précaution, 20mL d'eau distillée.

#### **b) Distillation :**

- Transférer 50mL du contenu du matras dans l'appareil distillatoire.
- Verser lentement dans le matras de l'appareil distillatoire 50mL de lessive de soude
- Recueillir le distillat dans un bêcher contenant 20mL de solution d'acide borique, après avoir mis l'appareil en position de marche,
- Laisser la réaction d'attaque se faire jusqu'à obtenir un volume de distillat de 100mL au moins,



- Titrer en retour par l'acide sulfurique 0.2 N jusqu'à la réobtenions de couleur initiale de l'indicateur (rouge pale).

#### **2.2.4 Analyses des éléments-traces métalliques**

La présence des éléments métalliques (Cd,Cr,Cu,Zn,Pb,Co,Mo,Fe,Ni,Mn,Hg) considérés comme toxiques au-delà de certains seuils de concentration peut empêcher la valorisation agricole des boues. Les réactifs utilisés dans cette partie sont comme suit :

- Solution de nitrate d'ammonium a 100g/L,
- Acide chlorhydrique d=1.19,
- Solution d'acide chlorhydrique 2N,
- Acide nitrique (d=1.38).

#### **Mode opératoire**

- Introduire 1 g de boue dans une capsule de platine, ajouter de la solution de nitrate d'ammonium à raison de 2mL par gramme de boue,
- Sécher dans l'étuve à 110°C, placer la capsule dans le four [55], chauffé progressivement pour atteindre 450°C. Maintenir cette température pendant 2 heures, retirer la capsule du four et la laisser refroidir,
- Transférer le résidu dans un bêcher de 100mL en rajoutant quelques mL d'eau,
- Rincer la capsule deux fois avec 5mL d'acide chlorhydrique chaud, puis deux fois avec environ 5mL d'eau bouillante, la quantité est rajoutée au contenu du bêcher,
- Ajouter 5mL d'acide nitrique, couvrir le bêcher à l'aide d'un verre de montre et porter à douce ébullition pendant une dizaine de minutes, évaporer à sec ensuite,
- Reprendre le résidu par 20 mL d'acide chlorhydrique 2N chauffé jusqu'à ébullition, puis filtrer sur papier filtre sans cendres. Recueillir le filtrat dans une fiole jaugée de 100mL. Rincer le bêcher et le filtre successivement avec 10mL de solution d'acide chlorhydrique 2N et deux ou trois fois avec de l'eau bouillante. Laisser refroidir la solution,
- Effectuer le dosage des éléments par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

## 2.3 Résultats et interprétation

On présente les résultats d'analyses des paramètres physicochimiques et minéralogiques liées aux boues produites au cours du traitement des eaux usées de la station d'épuration des eaux usées de la ville de CHENOUA. Les résultats obtenus feront l'objet d'une interprétation qui permettra de connaître les propriétés de la boue.

N.B:L'ensemble des résultats d'analyse effectués au cours de cette étude figure dans les tableaux suivants:

### 2.3.1 Résultats des analyses physico chimiques

**Tableau 2.2 : L'odeur et couleur**

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Mai
Odeur	/	Absence	Absence	Absence	Absence
Couleur	/	Marron	Marron	Marron	Marron

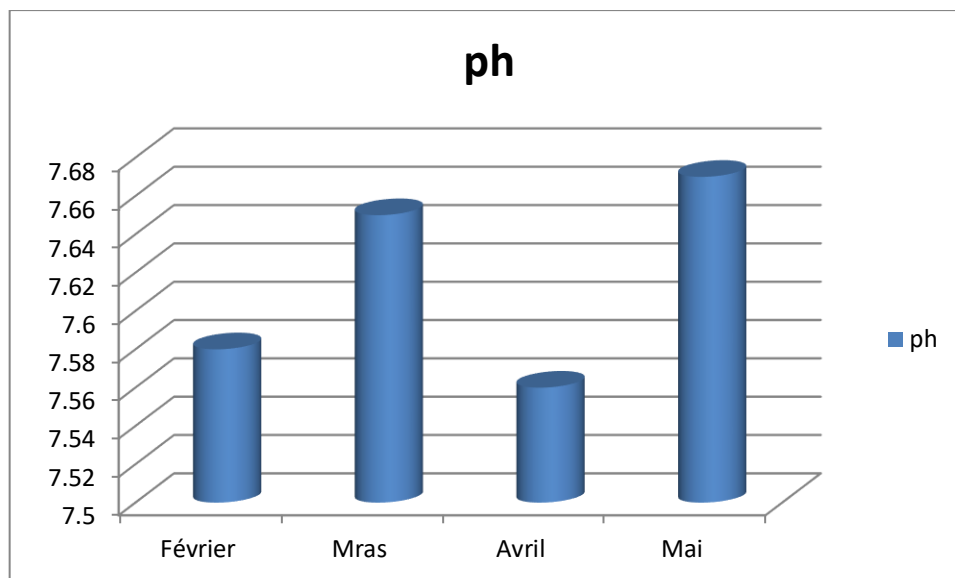
L'odeur de la boue ainsi que sa couleur ne signifient aucune anomalie, par exemple fermentation ce qui indique que les boues sont en bon état.

#### 2.3.1.2 Le PH

Le tableau suivant représente la variation de PH

**Tableau 2.3 : Résultat de la variation de PH**

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Mai
Ph	/	7,58	7,65	7,56	7,67



**Figure 2.16 : Résultats de PH.**

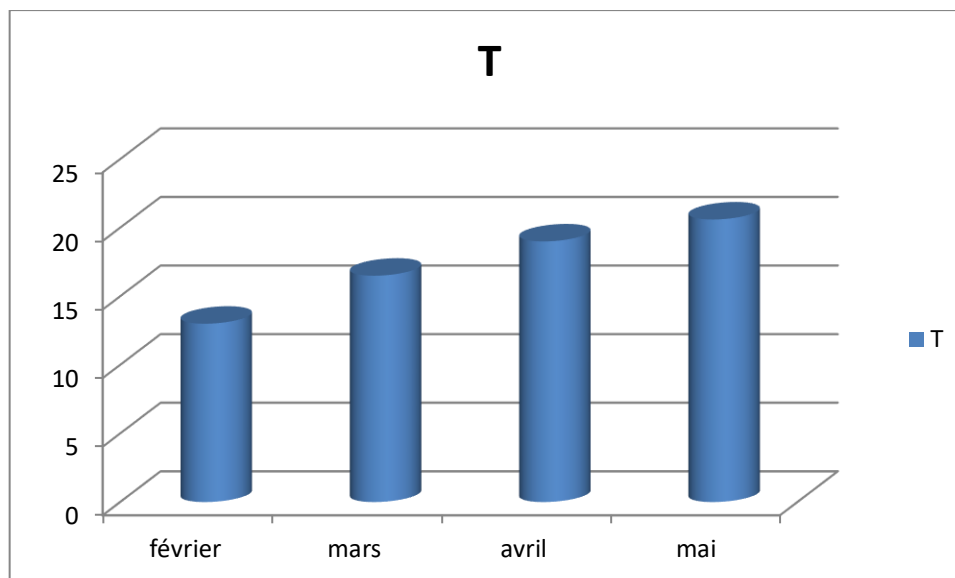
On constate que le Ph de la boue est neutre pendant les 4 mois d'étude, cette neutralité limite l'infiltration des métaux lourds dans le sol ; les valeurs obtenues sont conformes aux normes et des rejets.

### 2.3.1.3 Température :

Le tableau suivant présente la variation de la Température en C° :

**Tableau 2.4 : résultats de la Température**

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Mai
T °	C°	13,0	16,5	19,0	20,6



**Figure 2.17** : la variation de Température

Les variations de température de la bous sont étroitement liées à celles de la température de l'air entre 13 et 21°C. On remarque qu'elles sont inférieure à 25°C cette augmentation et expliquée en raison de l'humidité ; les valeurs obtenus conformes aux normes des rejets.

#### 2.3.1.4 Indice de boue

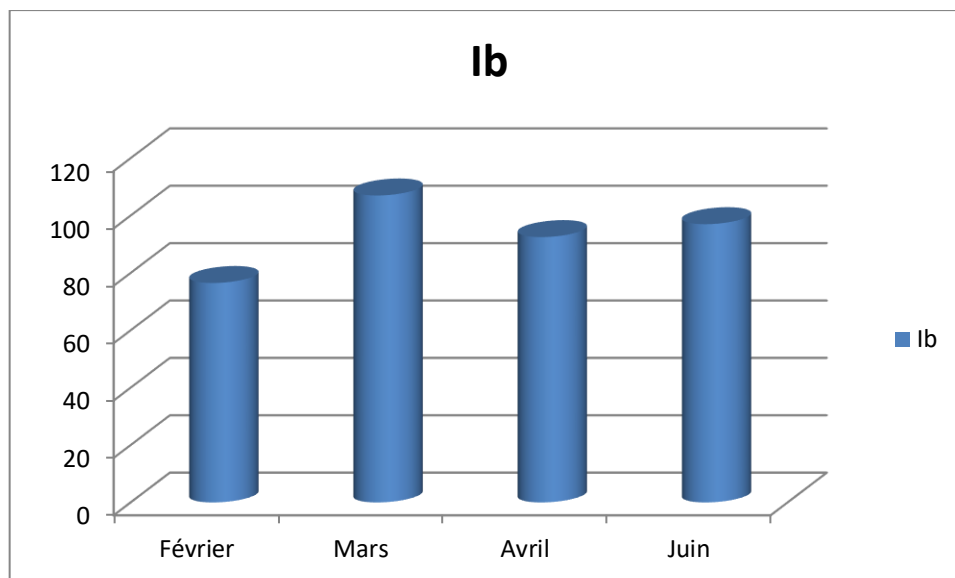
L'indice de boue est exprimé en multiple de 10 pour tenir compte des incertitudes inhérentes à la procédure.

Les indices faibles (<100mg/1) correspondent a des boues qui sédimentent facilement. En revanche, les boues décantant difficilement ont des indices élevés (<200mg/1), caractéristiques d'un développement excessif de bactéries filamenteuses ou foisonnement.

Comme indique le tableau 2.5 ci-dessous :

**Tableau 2.5** :Résultats l'indice de boue

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Juin
Ib	ml/g	76.5	107	92,5	97



**Figure 2.18 :**Résultats l'indice de boue

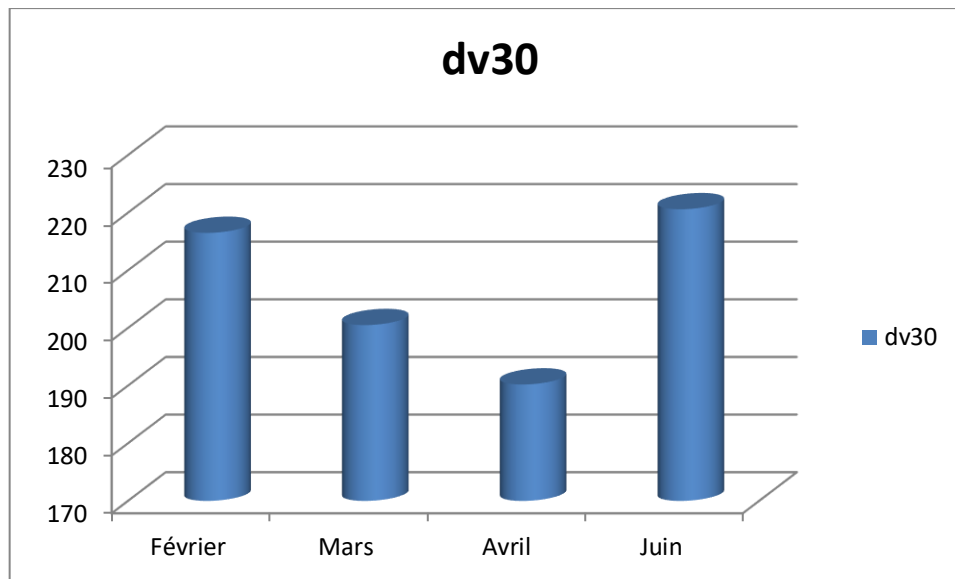
Remarque que l'indice de boue varie entre 76 et 107 ml/g donc elle est  $< 100$  ml/g ; qui indique que les boues sédimentent facilement. Les valeurs obtenues confirment aux normes des rejets.

### 2.3.1.5 Décantation des boues

Comme représenté dans le tableau 2.6 ci-dessous :

**Tableau 2.6 :**Résultats de la décantation des boues

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Juin
$d_{v30}$	ml/l	216,5	200,5	190,2	220,6



**Figure 2.19** :la décantation des boues

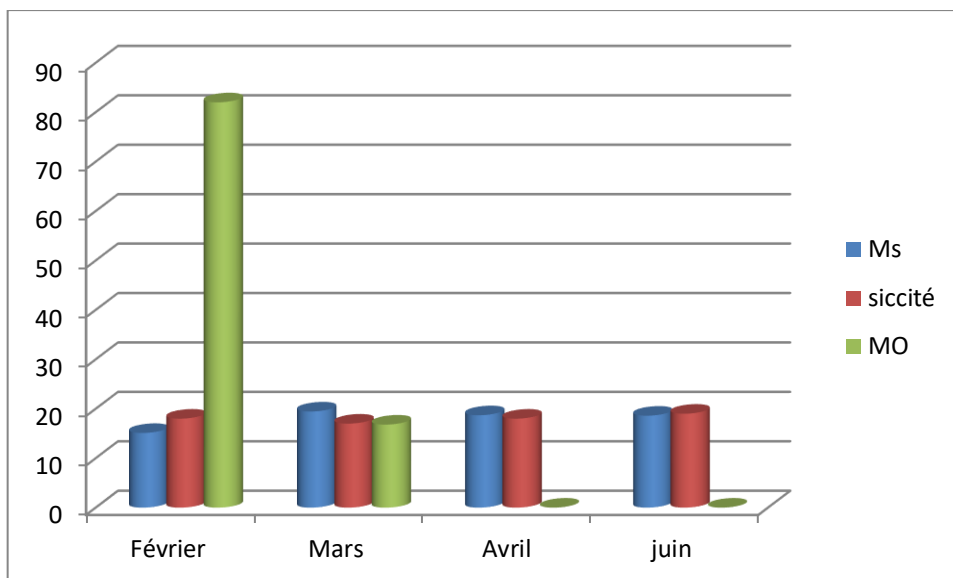
La décantation des boues, pendant les mois d'étude, était environ 200 ml : Ce qui indique que le taux de boue dans le clarificateur était normal et qu'il n'y a pas le développement des bactéries filamenteuses qui rendent la décantation difficile.

### 2.3.1.6 Teneurs des MS MO et siccité

Le tableau 2.7 suivant représente les résultats des analyses obtenus de MS MO et la siccité:

**Tableau 2.7** : résultats des analyses de MS MO et la siccité:

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	juin
Ms	%	15,11	19,45	18,69	18,60
Siccité	%	18	17	18	19
MO	%MS	82	16,8	/	/



**Figure 2.20 : Teneurs des Ms Mo la siccité**

On remarque aussi que les boues de la STEP de CHENOUA sont très riches en MO qui est nécessaire pour les plantes, cette forte teneur en Mo due à la nature des eaux usées traitées qui sont essentiellement des eaux domestiques.

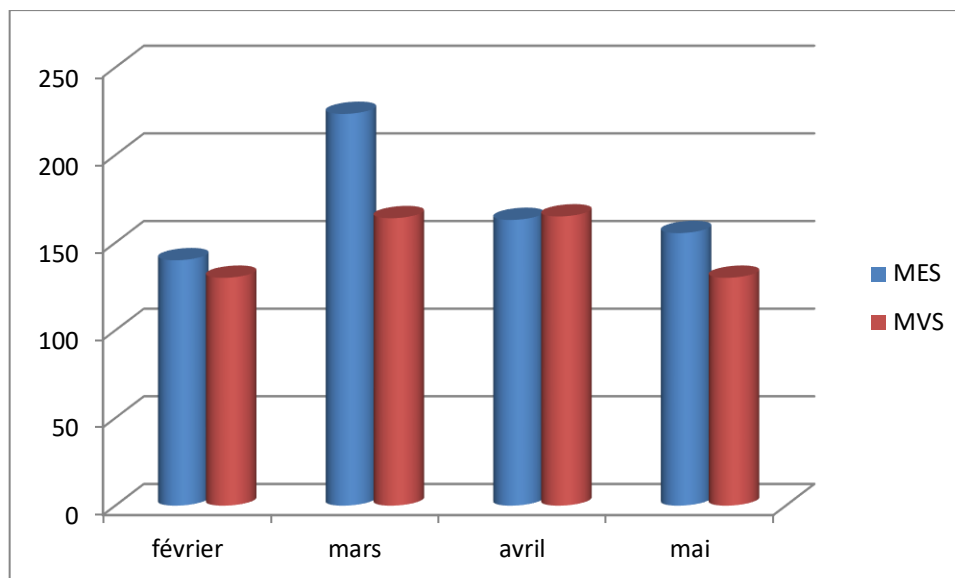
Ce qu'on peut remarquer aussi d'après les valeurs de ms que les boues de la STEP sont solides, ce qu'indique que le traitement des boues est efficace.

### 2.3.1.7 Teneurs des MES et MVS

Le tableau suivant représente les résultats des analyses de MES et MVS obtenus :

**Tableau 2.7 : résultats des analyses de MES et MVS**

Paramètre	Unité	Résultats			
		Février	Mars	Avril	Mai
MES	mg/l	140	223,5	163	155,5
MVS	mg/l	130	164	165	130



**Figure 2.21 : Teneur des MES et MVS.**

On remarque une relations entre les MES et MVS ; les deux paramètres varient au même temps. Pour les MES atteint le max au moi du mars (223,5) ; et pour les MVS le moi d'avril.

Quand les MES atteint certain niveau élevé (223.5) ; on doit mettre cette eau dans le décanteur pour décanter la boue activée et puis on sépare l'eau épurée de la boue activée qui se dirige vers l'épaississeur pour être épissée.

Les valeurs obtenues conformes aux normes des rejets.

## 2.3.2 Résultats des analyses physico-chimiques

### 2.3.2.2 Eléments-traces métalliques

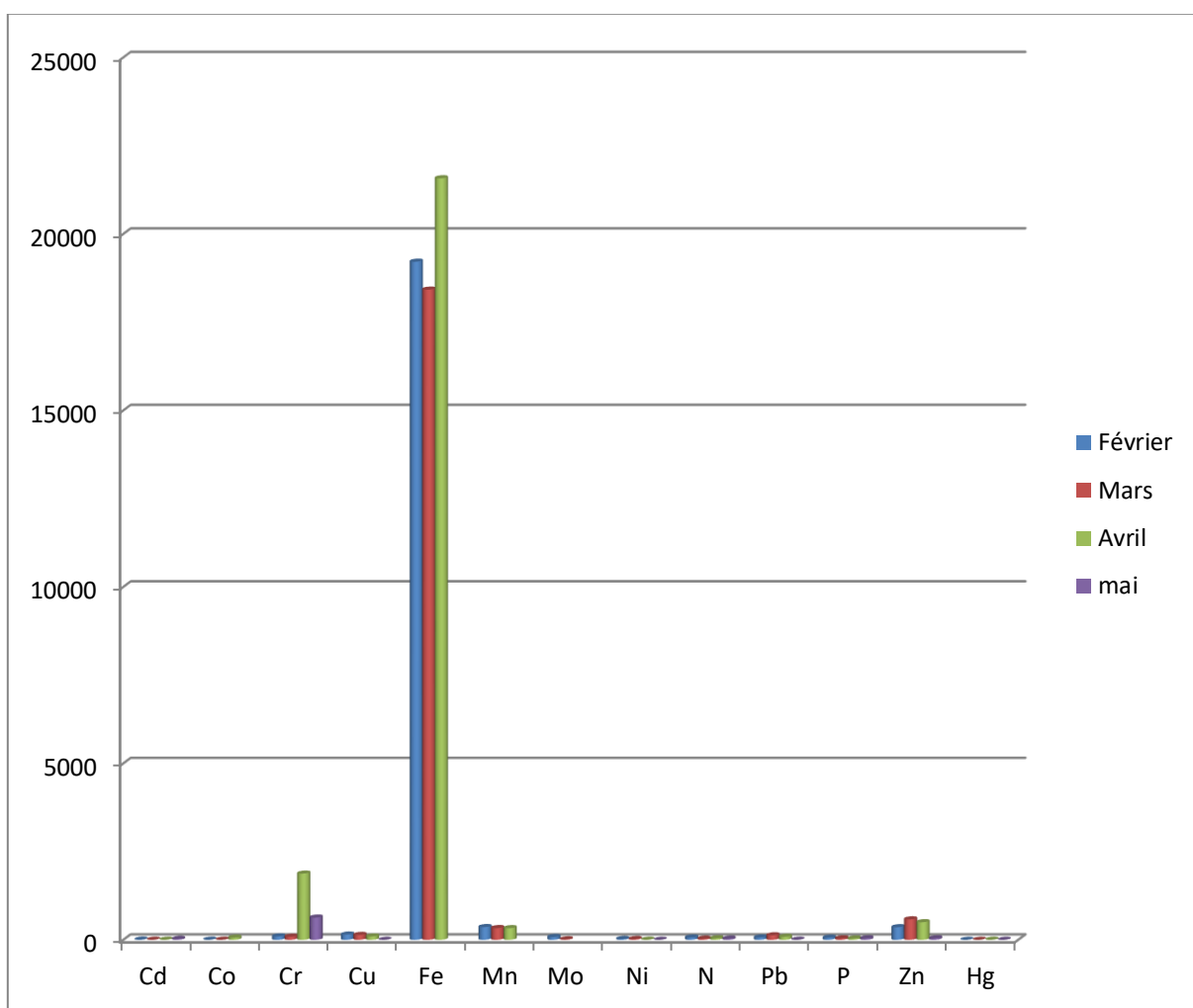
Comme indique le tableau 2.9 ci-dessous :

Paramètre	Résultats (mg/kgMS)				Norme (mg/kgMS)	conformité
	Février	Mars	Avril	Mai		
<b>Cd</b>	6,4	4	<4	28	10	non
<b>Co</b>	<4	<4	64	/		
<b>Cr</b>	99,2	89,6	1876	631,5	1000	non
<b>Cu</b>	150,4	140,4	96	00	1000	oui



<b>Fe</b>	19212	18420	21576	/		
<b>Mn</b>	362,4	334,4	332	/		
<b>Mo</b>	82	16,8	/	/		
<b>Ni</b>	25,6	24,8	<4	0,12	200	oui
<b>Pb</b>	68,4	130	88	3,34	800	oui
<b>Zn</b>	358,8	581,2	500	44,63	3000	oui
<b>Hg</b>	1,1	1,4	2.98	0,03	10	oui
<b>p</b>	62,1	42	39	43,939		
<b>N t</b>	66,4	34	44	34,3		

**Tableau 2.9** : Résultats des analyses des éléments-traces métalliques



**Figure 2.22** : Les analyses des éléments-traces métalliques

On remarque que l'éléments-traces métallique dans les boues les mois de février et mars est conforme aux normes d'Afnor par contre pour le chrome et cadmium la dépassé en avril et mai donc ces boues non conforme.

Les boues qui sont conforme aux normes d'Afnor sera transféré vers la compostière de Hadjout, par contre les boues sont non conforme sera transféré vers la Co-incinération.

# Compostage

Le compostage est un procédé biologique de conversion et de valorisation des matières organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique...) en un produit stabilisé, hygiénique, riche en composés humiques, dans des conditions contrôlées en présence de l'oxygène de l'air.

La boue d'épuration est composée de l'eau et de matières organiques et minérales, donc elle peut être valorisée pour la production de compost. Le compostage de la boue c'est le mélange de la boue avec un agent gonflant (déchet verts, palettes ...) dans une zone aérée pour assurer une fermentation accélérée par la dégradation biologique. Le produit obtenu, le compost de qualité qui peut être utilisé en agriculture. Cette technique présente de nombreux avantages, parmi les quelles :

- L'augmentation naturelle de la teneur en matière sèche, d'où diminution des volumes de déchets ;
- Le traitement simultanément de boues et de déchets verts ;
- Le produit de compostage présente une faible germe pathogène et d'adventice, et il est bien stabilisé donc ne génère pas d'odeurs ;
- La méthode acceptable par les citoyens.

### **3.1 Historique de la compostière de Hadjout**

Ce projet a débuté en 2020 à été mis en place en 2021 et 2022 est situé dans la zone industrielle, à environ 2.7 km de nord de la commune de Hadjout de wilaya de Tipaza la figure indique ci-dessous indique la carte géographique de la compostière :



**Figure 3.1** : Carte géographique de la compostière de Hadjout.

## **3.2 Production du compost**

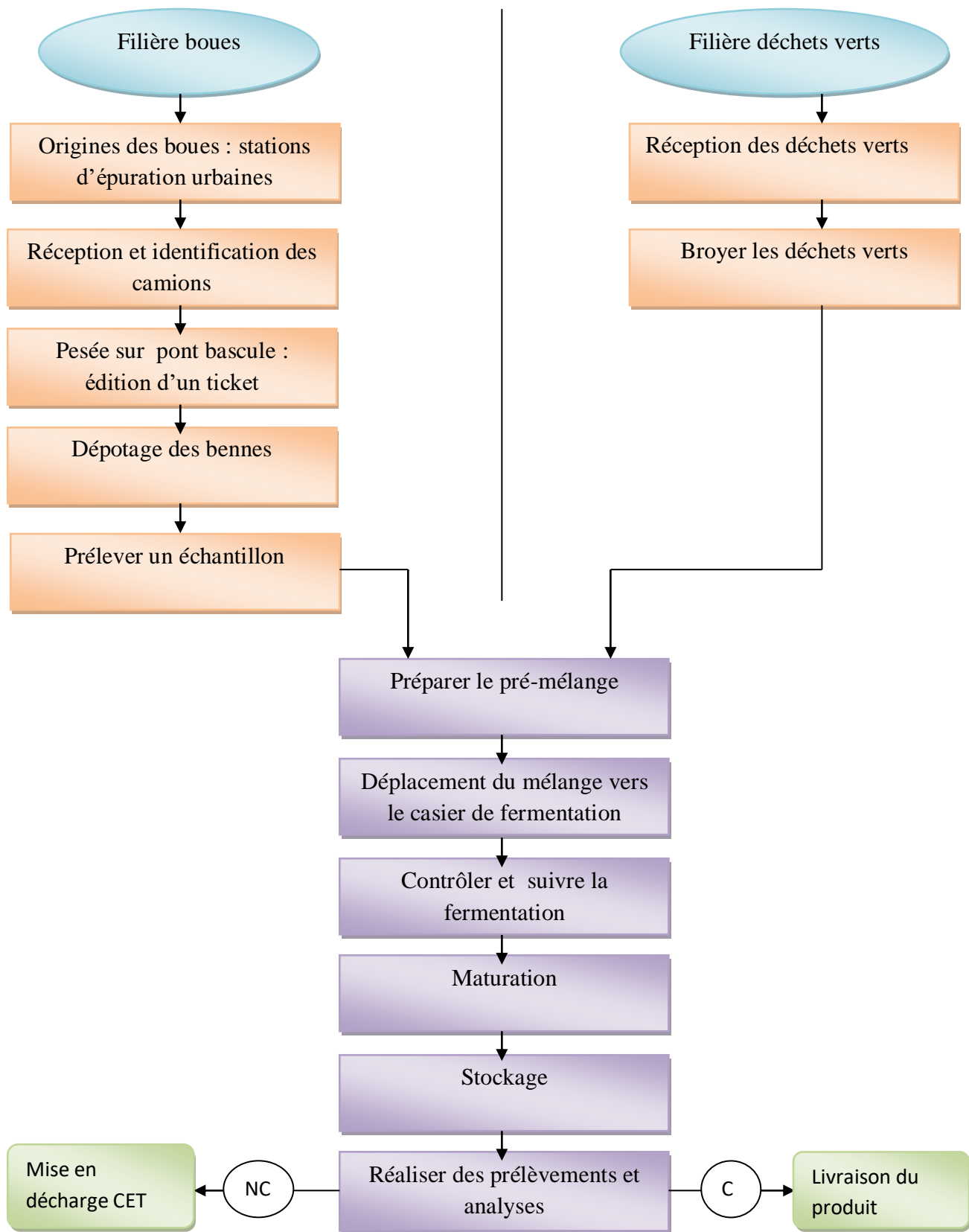
### **a) Objet**

Ce mode opératoire a pour objet de déterminer les étapes à suivre pour l'élaboration du compost boues des stations d'épuration, cette fabrication aura lieu dans une compostière.

### **b) Domaine D'application**

Ce mode opératoire s'applique à toutes les stations d'épuration de la Direction d'assainissement et la compostière de fabrication de compost.

c) Logigramme



#### d) Commentaires

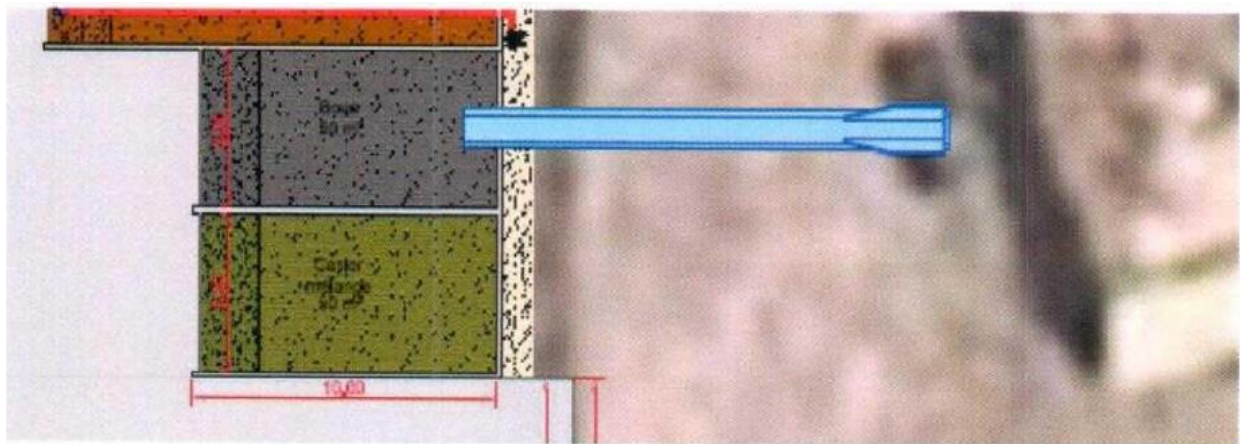
##### 1. Origines des boues

- ✓ Il s'agit des boues issues des stations d'épuration urbaines

##### 2. Réception et identification des camions

- ✓ Le responsable des boues à l'origine renseigne le bon de décharge en signalant l'immatriculation du camion ,date et heure ,quantité de la boue ,lieu d'origine et de destination du camion ,nom et signature du chauffeur ,nom et signature du responsable des boues.
- ✓ Le transport des boues se fera par benne étanche avec couverture (bâche) munie de signalisation adaptée et du bon de décharge des boues
- ✓ Tous les camions qui transportent les boues doivent être nettoyés au niveau du site avant de quitter les lieux
- ✓ L'évacuation et le transport des boues durant les intempéries et pendant toute la période de validité des BMS doit être suspendue jusqu'à fin des intempéries.
- ✓ S'assurer que les camions lourds transportant les boues sont autorisés à circuler durant la journée.

La figure 3.1 présente la zone de réception des boues comme



**Figure 3.2 : zone de réception des boues**

##### 3. Dépotage des bennes

- ✓ Dès réception du camion la boue doit être vidée dans un box de réception

##### 4. Prélever un échantillon

- ✓ Deux prélèvements sont effectués pour chaque lot de boues utilisé, un prélèvement destiné pour analyse et l'autre sera conservé dans un flacon d'un

litre à l'intérieur des armoires jusqu'à réception des résultats d'analyse, pour contre-analyse en cas de résultat anormal.

- ✓ Etiquetage qui comprend (date; N° de réception, poids net; origine de boue, siccité des boues; mode de traitement).
  - ✓ Un formulaire de traçabilité de fabrication est rempli. (Fiche des résultats d'analyses boues)
  - ✓ Les boues doivent faire l'objet d'un suivi analytique des éléments traces et composés traces organiques dont la fréquence doit être au minimum conforme aux prescriptions de la norme algérienne selon le tableau suivant.
- 
- ✓ Selon la capacité de la compostière de traiter 3000 T de boues humides déshydratée par an soit à environ 20% de siccité, ce qui correspond à une fréquence d'analyses entre 481 et 800 T de MS/an. Comme l'origine des boues peut être issue de plusieurs STEP, cette fréquence sera appliquée à chacune des origines des boues.

**Tableau 3.1** : Qualité des boues (M.I.A.T.E) avant mélange pour réalisation du compost

	Tonnes de matière sèche fournie	<32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1600	1601 à 3200	3200 à 4800	> 4800
Nombre d'analyse la première année d'apport de ces M.I.A.T.E sur l'unité de compostage	As,B	-	-	-	1	1	2	2	3
	ET	2	4	8	12	18	24	36	48
	CTO	1	2	4	6	9	12	18	24
Nombre d'analyses en routine annuelles	ET	2	2	4	6	9	12	18	24
	CTO	1	2	2	3	4	6	9	12



**Tableau 3.2** : Teneur limite des E.T.M dans les M.I.A.T.E

Eléments traces	Teneur limite dans les M.I.A.T.E (mg/kg MS)
Cadmium	10
Chrome	1000
Cuivre	1000
Mercure	10
Nickel	200
Plomb	800
Zinc	3000
Chrome +cuivre +nickel +zinc	4000

**Tableau3.3** : Teneur limitede composés traces dans les M.I.A.T.E

Composés traces	Teneur limite dans les M.I.A.T.E (mg/kg MS)
Totale des 7 principes PCB (a)	0 ,8
Fluoranthène	5
Benzo(b) Fluoranthène	2,5
Benzo(a)pyrène	2

### e) Réception des déchets verts

Origine des déchets verts : Déchetteries, entreprise, particuliers ou collectivités (tri sélectif), élagage, entretien des espaces floraux, ces déchets doivent être déposés dans un espace dédié.

### f) Broyer les déchets verts

- Le broyage des déchets verts se fait par différents modèles de broyeur à pour objectif
  - Limiter les gros morceaux de bois
  - Accélérer le processus de fermentation
- Il est prévu de stocker les déchets verts ou structurants sur 3 zones distinctes:
  - Une zone de stockage des structurants frais avant broyage (comprenant l'espace nécessaire à l'activité de broyage)
  - Une zone de stockage des structurants frais après broyage
  - Une zone de stockage des structurants recyclés (refus du criblage)
- Dans chacune de ces zones le stockage est réalisé à plat, telles que positionnées sur l'image suivante:

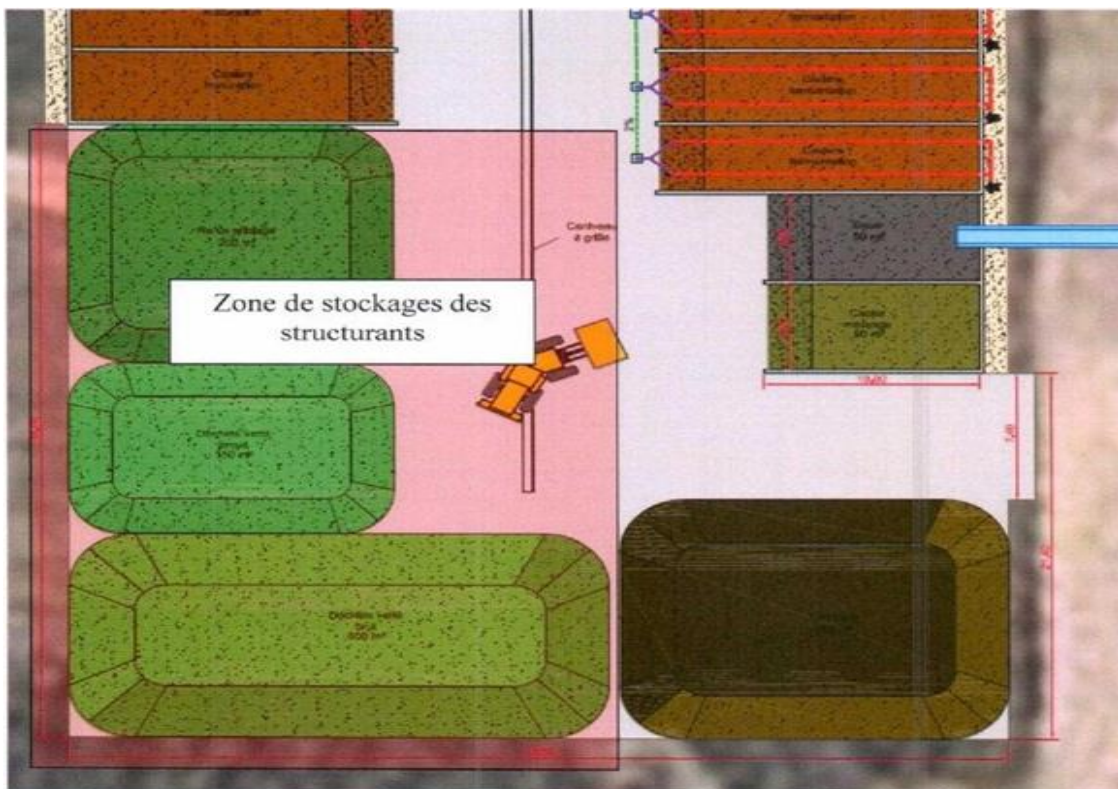


Figure 3.3: Zone de stockage et mélange.

- L'exploitation pourra fonctionner en campagnes : les opérations de broyage (ou les livraisons de produit broyé) pourront être organisées ponctuellement et il sera possible de faire uniquement une campagne de broyage (ou une livraison) tous les mois.

**g) Préparer le pré-mélange**

- Le pré-mélange est composé de différents volumes de boues, de déchets verts et des structurants, cela varie selon la nature des boues comme les boues stabilisées qui nécessitent un apport élevé en déchets vert, car ces boues sont pauvres en matière organiques.
- Le mélange est réalisé dans le casier adjacent au casier de réception des boues. Il est effectué au chargeur de la manière suivante:

Etape1: dépotage de deux (02) godets environ de déchets verts ou structurant dans le casier de mélange;

Etape2: dépotage d'un (01) godet de boues sur le structurant;

Etape3: apport d'un troisième (01) godet environ de déchets verts ou structurant;

Etape4: brassage du mélange par une mise en tas en fond de casier.

Ces étapes sont renouvelées jusqu'à ce que le casier soit plein ou toutes les boues mélangées.

Etape5: le mélange précédent est repris déposé dans les casiers de fermentation pour compostage.

**h) Déplacement du mélange vers le casier de fermentation**

- Après préparation du mélange boues et déchets verts, ce dernier est déplacé vers le casier de fermentation doté d'un système d'aération.

**i) Etape de fermentation**

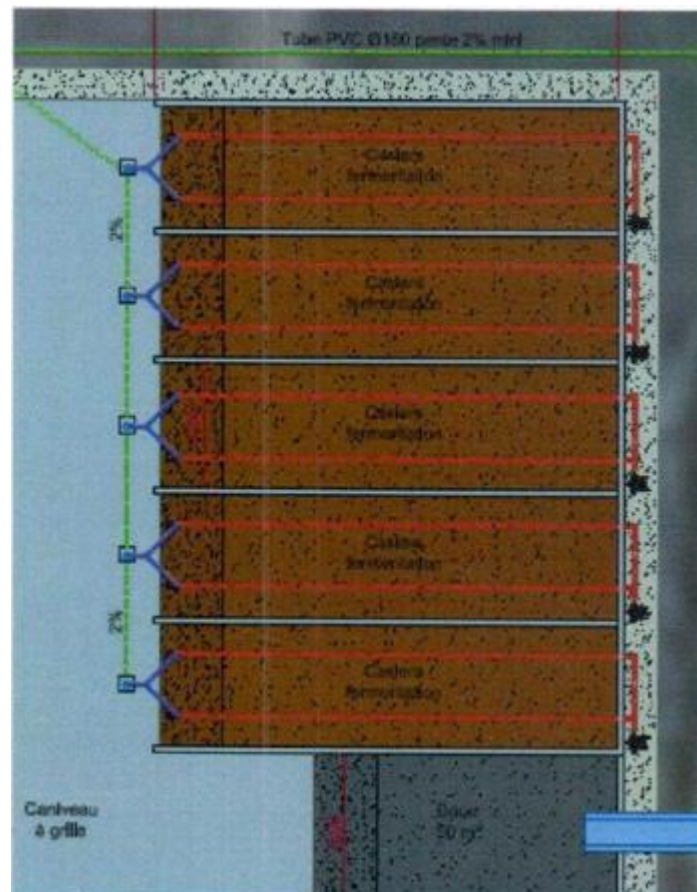
- C'est la dégradation de la matière organique par les bactéries aérobies (en présence d'oxygène)

Lors de cette phase, le mélange boues plus déchets verts ou structurants, placé dans les casiers, monte en température (60à70°C) grâce à l'activité bactériologique. Cette phase doit donc être accompagnée par un renouvellement d'air. Ce renouvellement est réalisé par soufflage pour évacuer le CO<sub>2</sub>, l'ammoniac et la vapeur d'eau et apporter de l'oxygène.

Cette oxygénation est complétée par une opération mécanique d'homogénéisation du mélange.

Celui-ci est repris et replacé dans un autre casier. Cette opération est dénommée «Retournement»

et réalisée au bout d'environ deux semaines de fermentation.



**Figure 3.4 :** casiers de fermentation.

#### ✓ Principe de régulation procès

La régulation est réalisée manuellement par ajustement de la quantité de l'apport en air en fonction de la température du produit en fermentation. Chaque jour un opérateur réalise la mesure de la température grâce à une sonde à compost et réajuste le débit en fonction des abaques et de la température.

La température dans un mélange n'est pas uniforme. Le retournement provoque une redistribution d'une partie du mélange vers la zone de température élevée, où les germes pathogènes sont inactivés.

- Durée de fermentation est de 3 à 4 semaines

### j) Le criblage

Après fermentation le mélange est criblé. Cette opération permet de séparer l'agent structurant du produit composté.

L'agent structurant retourne en tête de traitement dans la zone de stockage des structurants recyclés pour être réutilisé en mélange aux structurants frais broyés a fin d'obtenir l'agent structurant qui sera mélangé aux boues.

Le compost obtenu est repris sous le crible pour être dirigé vers la maturation.

### k) Maturation

La maturation a également un rôle indispensable dans le processus complet de compostage. C'est pendant cette phase, où les besoins en oxygène sont plus faibles mais nécessaires, que la matière organique réorganise pour former des molécules humifères stables.

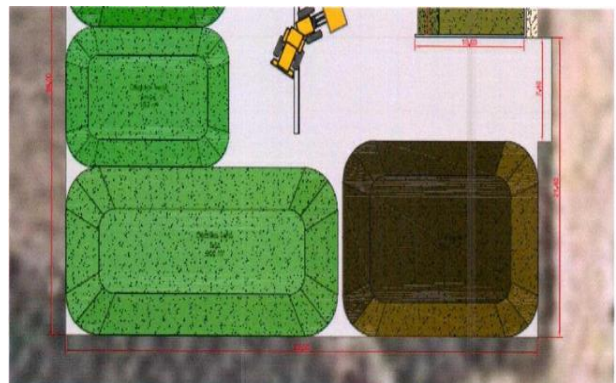
- Mise en an dains (hauteur max 2.5m) avec des retournements à l'aide des engins indispensable pour accélérer la maturation du compost. Ces retournements sont utiles aussi pour éviter les départs de feu.
- Durée de maturation est d'environ 4 semaines.

### l) Stockage

Le stockage des composts permet d'entreposer celui-ci durant les phases d'analyses du produit fini et pendant les phases d'impossibilités de valorisation agronomique des composts.



**Figure 3.5 :** Produit fini-compost. stockage.



**Figure 3.6 :** Implantation de la zone de stockage.

Le stockage en est réalisé sur une aire extérieure, en andains. Le transfert des composts de la zone de maturation vers la zone de stockage est assuré par une chargeuse sur pneus dotée d'un godet.

La durée de stockage est d'environ 03mois

# 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 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 résiduaires 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 résiduaires. Les résultats de cette étude préconisent que la solution à ce problème est la valorisation agricole, était la principale voie d'élimination de boues résiduaires 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.

- La matière organique se dégrade dans les procédés de traitement des boues (épaississeur, stabilisateur et déshydratation) qui implique que les boues sont biodégradables.

- Les boues stabilisées contiennent une forte concentration en Azote, 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 (STEP de CHENOUA).



## Référence:

[1] M. Metahri, 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 , Mémoire de doctorat, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2012.

[2]Gomellac, Guerre. Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition EyrollesParis , 1978.

[3]D,Gaujous, La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier,1995.

[4] R. Degardaints, Le traitement des eaux, Editions de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition, 1990.

[5] O.Alexandre, C.Boutin, P.Duchène, C. Lagrange, A. Lakel, A.Liénard, and D. Orditz, Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités , Technique et documentation, Lavoisier (FNDAE N22), Paris, France,1998.

[6]Boursalil, Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension , Mémoire d'ingénieur d'états en géologie, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen, Juin 2011.

[7]S.Hattalli, A.Benaboura ,F. Ham-Pichavant ,A. Nourmamode ,A.Castellan , Adding value to Alfa grass soda lignin as phenolicresins 1 lignincharacterization, polymerdegradation and stability, 76(2), 259-264, 2002.

[8]A.Nadji, Brochier Salon, C.Bruzzèse, A.Benaboura, MN.Belgacem , Chemical composition and pulpproperties of Alfa (stipa tenacissima) cellulose chemistry and technology, 40, 45-52,2006

[9]O.Akchiche ,MB.Khadra , Esparto Grass rawmaterial of papermaking first Part, 4, 25-30,2007

[10]M.Dallel , Evaluation du potentiel textile des fibres d'alfa caractérisation physicochimique de la fibre au fil, Thèse doctorat , Université de haute alsace France ,2012

[11]Le site de la société nationale de cellulose et de papier alfa <http://www.sncpa.com.tn>.

- [12] A. Kettab, traitement des eaux (les eaux potables), Office des publications universitaires, Alger, 1992.
- [13] F. Monette, F. Brière, G. Létourneau, M. Duchesne, R. Hausler, Traitement des eaux usées par coagulation floculation avec recirculation des boues chimiques performance générale et stabilité du procédé, Journal of civil engineering, 27(4), 702-718, 2000
- [14] M. HadjSadok, Modélisation et estimation dans les bioréacteurs prise en compte des incertitudes application au traitement de l'eau, Thèse de doctorat, Université de France, 1999.
- [15] J. Berland, M. Boutin, C. Molle, and P. Cooper, Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, Office des publications des communautés européennes, Luxembourg, 2001.
- [16] C. Menoret, Traitement d'effluents concentrés par cultures fixées sur gravier ou pouzzolane, Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France, 2001.
- [17] M. Boumaaza, Traitement et épuration des eaux, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2020.
- [18] J. Bolmstedt, Dynamic modelling of an activated sludge process at a pulp and paper mill, doctoral thesis, Lund University, Sweden, 2000.
- [19] J. Bountoux, Introduction à l'étude des eaux douces: eaux usées, eaux de boisson. Edition Technique et Documentation Lavoisier 1993.
- [20] M. Derradji, Contribution à l'étude de la tolérance des plantes épuratrices dans l'épuration des eaux usées stratégie et application, thèse de Doctorat, Option toxicologie, Université d'Annaba, 92, 2014.
- [21] F. Mekhalif, Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Mémoire de magister, Université de Skikda, 2009.
- [22] F. Sari, Caractérisation physico-chimique des eaux usées et épurées de la station d'Ain t'émouchent, Le diplôme de master professionnel, Université de Tlemcen, 67, 2017.
- [23] S. Y. Silman, S. P. Tall, Etude de réhabilitation de la station d'épuration de Salyportudal, Projet de fin d'étude, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2003.
- [24] E. JARDIE, Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I 10 ; 11 ; 13 ; 16, 2002.

[25] JO de la R.A.D. 77 du 12 décembre 2001

[26]S. Santos, Unité de compostage des déchets verts, installation classée pour la protection de l'environnement. Mémoire, Ecole supérieure des géométries et topographes, 2002.

[27]Traiter et valoriser les boues, ED, Infnitises, 1997.

[28] par la microscopie de laboratoire dans la station d'épuration

[29] Article technique, 52. Disponible sur :

[www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract\\_boues1,2017](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract_boues1,2017).

[30]composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation [en ligne]. 2002.

[31] L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA, (in Mémoire de Magistère) 134-135,2000.

[32] C. Ayyad, 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, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc, 140,1995

[33] G. Boues, un outil d'aide à la décision pour évaluer les émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées [en ligne],11,2012. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00781690/document>

[34]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 préventif on 2010](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_métaux_dans_les_boues_de_stations_d'épuration_conséquences_origines_et_préventif_on_2010).

[35]Etat de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'usines d'épuration municipales [en ligne], ISBN 2- 89146-425-7.1996

[36]Moletta R. Le traitement des boues des stations d'épuration [en ligne],6,2003. Disponible sur : [moletta-methanisation.fr/textes/Traitementdesboues](http://moletta-methanisation.fr/textes/Traitementdesboues).

[37]Boues de Station d'Epuration : Techniques de traitement Valorisation et Elimination [en ligne]. Disponible sur :

[www.amorce.asso.fr/./dt51\\_boue\\_de\\_strp\\_traitement\\_valorisation\\_elimination\\_serie\\_Technique DT 51,36](http://www.amorce.asso.fr/./dt51_boue_de_strp_traitement_valorisation_elimination_serie_Technique_DT_51,36), 2012.

[38]Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration [en ligne]. Oran : Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 135,2013.

Disponible sur : [www.univ-usto.dz/theses\\_en\\_ligne/doc\\_num.php?explnum\\_id=54](http://www.univ-usto.dz/theses_en_ligne/doc_num.php?explnum_id=54)

[39] la méthanisation des boues d'installations de traitement des eaux résiduaires urbaines ou industrielles [en ligne], 6,2016.

Disponible sur : [www.synteau.com/wp.../09/20161108\\_SYNTEAU\\_FICHES\\_EAUX-USEESN6](http://www.synteau.com/wp.../09/20161108_SYNTEAU_FICHES_EAUX-USEESN6).

[40]Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) [en ligne],100,2009.

Disponible sur : [www.onema.fr/sites/default/files/pdf/2009\\_038](http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/2009_038).

[41] Återanvändning av växtnäringfrån avlopp-aktörernas värderingar, ställningstaganden och agerande Rapport 5223 in Treatment and Disposal Methods for Wastewater Sludge in the Area of Beijing, China, 2005.

[42]Rhéologie des boues de stations d'épuration : études préliminaires pour la maîtrise des stockages et épandages[en ligne]. 33 – 46, Édition 1998. 2010.

Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal00461196/document>

[43]Anonyme.Traitement des eaux industrielles[en ligne]. 2012.

Disponible sur :

[www.environnemententreprise.be/sites/.../eau.../05\\_dominique\\_chibel\\_elyowater](http://www.environnemententreprise.be/sites/.../eau.../05_dominique_chibel_elyowater)

[44]Seine et Marne , Observatoire de l'eau. Partie 2 Valorisation des boues des stations d'épuration , Conseil général de seine et Marne, 30,2009.

Disponible sur : <http://eau.seine-et-marne.fr/library/187ab2b2-d606-40eb-8654-ae4aa0e8f5f8-Valorisationdes-boues-des-stations-d---puration>.

[45]I.Cerra , M.Desagnat ,M. Dubar ,R. Juven, L. Zhou, N. Ziani, . Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités [en ligne]. France Polytech. Université

MONTPELLIER 2 : 2014, 31P. Disponible sur :

<https://reseaueau.educagri.fr/files/fichierRessource2> Rapport bibliographique traitement boues.

[46]CREPA. Etude des possibilités de valorisation des produits issus de traitement des boues de vidange : cas de Yaoundé, Cameroun [en ligne]. Yaoundé, Cameroun : ENESAD (Ecole national d'enseignement Supérieur d'agronomie de Dijon), 2007, 135 p. Disponible sur : [f.enesad@enesad.fr](mailto:f.enesad@enesad.fr).

[47]Miquel G. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé [en ligne]. 2001, 346 p. Disponible sur : <https://www.senat.fr/rap/100-261/100-2611>.

[48]Aalbers H. in these Resource recoveryfromfaecalsludgeusingconstructedwetlands UWEP (UrbanWaste Expertise Program) Working Document, Valorisation des boues de vidange : CREPA, Cameroun. 1999.

[49]ADEM, séchage thermique des boues urbaines et industrielles, 9, 2004. Disponible sur : [www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/25194séchage\\_boues.pdf](http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/25194séchage_boues.pdf)

[50]M. Lozac'h. Traitement et valorisation des boues de STEP [en ligne]. Toulouse : Séminaire UMINATE ,2004.

Disponible sur : [https://www.fne.asso.fr/com/santa/page\\_eau\\_a14](https://www.fne.asso.fr/com/santa/page_eau_a14).

[51]F.Ladjel et S. Abbou. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie[en ligne]. 2014

[52] Norme Algérienne (NA) 17671 : MATIELES FERTILISATION, Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines, Dénominations et spécifications. 2010.

Disponible sur : <http://www.ainor.org>.

[53]Courrier de l'environnement de l'INRA. L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaine. [En ligne]. 41,134-125 ,2000.

Disponible sur : [www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski](http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski)

[54]Tabou(e) Story.et nos boues deviennent compost [en ligne].3, 2001.

Disponible sur : [www.smra68.net/z\\_pdf/taboue-story/pdf-taboue.../boues-deviennent-compost](http://www.smra68.net/z_pdf/taboue-story/pdf-taboue.../boues-deviennent-compost).

[55] C.Lassa, Analyse des boues : analyse physique et chimique , AFEE, 1985.

[56] J.Rodier, « Analyse de l'eau », Edition Enod , Paris 1996.

[57]Fanny Demay BTS BioAnalyses& Contrôles. Disponible sur : <http://fdanieau.free.fr/cours/bts/A2/biochimie/TP/TP7MatiereSeche.pdf>

[58]Suez et l'équipe Fdj-Suez-Futuroscope. Disponible sur : <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/analyses-et-traitabilite-des-eaux/examen-des-boues/residu-sec-matieres-seches-MS>