

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار ثليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم البيولوجيا  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



## Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*  
**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Filière : Sciences Ecologiques**  
**Option : Ecologie Végétale et Environnement**

### THEME

---

**Contribution à l'étude de la qualité toxicologique  
(ETM) et physicochimique des boues résiduaires  
urbaines des deux stations d'épuration (Laghouat  
et Hassi R'mel)**

---

*Présenté par :*

**Anfel GUEDDOUDA et Reguia Isra DJEKIDEL**

*Devant le jury :*

<i>Président(e) : Mr. Farouk BENACEUR</i>	<i>-MAA- UAT- Laghouat</i>
<i>Examinatrice: Mme Ibtissem SOUFI</i>	<i>-MAA- UAT- Laghouat</i>
<i>Rapporteur : Mr. M<sup>ed</sup> A/Madjid BOUMEDIENNE</i>	<i>-MAA- UAT- Laghouat</i>
<i>Co-Rapporteur :, Amira ABDESSELAM</i>	<i>-MAB- UAT- Laghouat</i>

**Soutenu publiquement le : 28 juin 2018**

# Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu, le tout poussant de nous avoir guidés sur la bonne voie, vers le savoir et la lumière. Au terme de ce

modeste travail, nous adressons nos sincères remerciements à :

M. Boumeddiene.A, directeur de thèse, et,Melle Abdeslem. A,Co-encadreur de thèse, Maître Assistant au département de génie civil de l'Université Amar Thelidji Laghouat, qui nous a proposé ce sujet et nous a dirigé pour sa bonne Réalisation, nous lui exprimons notre

sincère gratitude pour sa disponibilité à notre égard, pour ses conseils, pour ses orientations et pour son aide dans la rédaction du

Mémoire.

Nous sommes également reconnaissants aux membres de Jury qui ont bien voulu examiner et discuter notre travail ;on les en

Remercie vivement .

Nos remerciements à tous nos amis et nos professeurs du

Département de biologie.

## *Dédicaces*

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu achever ce travail que je dédie :

**A** ma très chère et douce mère, qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, qui s'est trop inquiétée pour cette recherche, et qui a tant veillé pour moi ;

**A la mémoire de mon père;**

A mon grand père en particulier et à ma grande mère

**A** mes précieuses sœurs Lina, Romissa, les mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour à leur égard.

**A** mes chers oncles : Ayoub-Lies-Oussama-Yacine- Mohamed -Abdrachid - Abdelhamid et Lhadj

**A mes tantes;** Amina- Leila-Assia

**A** mes adorables amis: Hicham-Imane- Amina-Anfel, pour leur soutien;

**Avec** toute ma tendresse, à mes cousins et cousines en particulier Yasmine et le petit Islam;

**A** tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Isra

## *Dédicaces*

Je tien à dédier ce modeste travail :

A mes chers parents pour la compréhension, la patience et le soutien  
moral et financier.

\*A mes très chers frères : TAYEB ,ADNANE ,FAOUK ,ABDELJALIL .

Je dédie également ce travail à tous mes amis ISRA , AMINA ,IMANE, WAFI, NADER DRIDI  
avec lesquels je partage tous les souvenirs inoubliables.

**Anfel**

## *Liste des figures*

N °	TITRE	PAGE
Figure 01	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration	<b>8</b>
Figure 02	le dégrillage STEP de Laghouat	<b>9</b>
Figure 03	le dessablage STEP de Laghouat	<b>10</b>
Figure 04	le déshuilage STEP de Laghouat	<b>11</b>
Figure 05	la décantation STEP de Laghouat.	<b>11</b>
Figure 06	Coupe longitudinale d'un décanteur	<b>12</b>
Figure 07	Coupe longitudinale d'un décanteur	<b>13</b>
Figure 08	le traitement biologique STEP de Laghouat.	<b>30</b>
Figure 09	Un lit de séchage STEP de Laghouat	<b>31</b>
Figure 10	Image satellite des lits de séchage – STEP Laghouat (Google Earth, 2018).	<b>32</b>
Figure 11	Image satellite des lits de séchage– STEP HASSI R'MEL (Google Earth, 2018).	<b>33</b>
Figure 12	La déshydratation des échantillons dans l'étuve	<b>35</b>
Figure 13	étape de la minéralisation par voie humide	<b>36</b>
Figure 14	étape de filtration.	<b>37</b>
Figure 15	Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.	<b>38</b>
Figure 16	La spectrométrie absorption atomique à flamme	<b>39</b>
Figure 17	Mesure du pH.	<b>40</b>
Figure 18	Mesure de conductivité.	<b>40</b>
figure 19	concentrationsdu fer dans les boues résiduaires	<b>43</b>
Figure 20	concentration du cuivre dans les boues résiduaires	44
Figure 21	Concentration du plomb dans les boues résiduaires	45
Figure 22	Mesure du pH au niveau des deux sites de prélèvement	46
Figure 23	Mesure de conductivité au niveau de deux sites de prélèvement	47
Figure 24	la masse MO	49

### *Liste des tableaux*

<b>N°</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
Tableau 01	Composants majeurs typique d'eau usée domestique	7
Tableau 02	Valeurs limites de concentration micropolluants métalliques dans les boues (mg kg-1 de matière sèche) autorisées pour leur valorisation en agriculture.	17
Tableau 03	Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement	18
Tableau04	Effets néfastes de certains métaux lourds sur l'homme, les animaux et les végétaux	25
Tableau 05	les opérations de traitement des boues.	28
Tableau 06	méthodes d'introduction de l'échantillon en spectroscopie atomique.	34

### *Liste des abréviations*

% : pourcentage .

C° : Celsius.

Cd : cadmium.

Cr : chrome.

Cu : cuivre.

DBO : demande biochimique en oxygène.

ERU : eaux résiduaires urbaines.

Fe : Fer.

g : gramme.

h : heure .

HClO<sub>4</sub> : Acide perchlorique .

HF : Acide fluorhydrique.

Hg : Mercure.

MES : matière en suspension

ml : millilitre.

mmhos/cm : millimhos par centimètre

Ni : nickel.

OMS : organisation mondiale de la santé.

Pb : plomb.

pH : potentiel hydrogène.

SAA :spectrométrie d'absorption atomique

STEP : station d'épuration.

STEP-H : station d'épuration de HassiR'mel.

STEP-L : station d'épuration de Laghouat .

TDS : total des solides dissouts

Zn : Zinc.

## Sommaire

<i>Remerciments</i> .....	1
<i>Dédicaces</i> .....	3
<i>Dédicaces</i> .....	4
<i>Liste des figures</i> .....	5
<i>Liste des tableaux</i> .....	6
<i>Liste des abréviations</i> .....	7
<i>Introduction</i> : .....	1
<b>Chapitre I: Synthèse bibliographique</b>	
<i>I. Généralités sur les eaux usées</i> .....	5
<i>1.1. Définition des eaux usées:</i> .....	5
<i>1.2. Origines des eaux usées :</i> .....	5
<i>1.2.1. Les eaux usées domestiques :</i> .....	5
<i>1.2.2. les eaux usées urbaines:</i> .....	6
<i>1.2.3. Les eaux usées industrielles :</i> .....	6
<i>1.3 Composition des eaux usées:</i> .....	6
<i>II. procédés d'épuration des eaux usées :</i> .....	8
<i>2.1. Définition des eaux usées :</i> .....	8
<i>2.2. Procédés d'épuration des eaux usées :</i> .....	8
<i>2.2.1. Procédés d'épuration des eaux usées:</i> .....	9
<i>2.2.2. Les traitements mécaniques:</i> .....	11
<i>2.2.3. Les traitements biologiques:</i> .....	12
<i>2.2.4. Le traitement anaérobie de l'eau:</i> .....	14
<i>2.3.1. Définition d'une boue d'épuration :</i> .....	15
<i>2.3.2. Les différents types des boues d'épuration:</i> .....	15
<i>2.3.3. Composition des boues résiduaires:</i> .....	16
<i>2.3.4. Traitement des boues :</i> .....	17
<i>2.3.5. Valorisation des boues:</i> .....	22
<i>III. Métaux lourds</i> .....	23
<i>3.1. Définition:</i> .....	23
<i>3.2. Classification des métaux lourds:</i> .....	23
<i>3.2.1. Les métaux essentiels :</i> .....	23
<i>3.3. Origine des métaux lourds:</i> .....	23
<i>3.3.1. Les sources naturelles :</i> .....	24
<i>3.3.2. Les sources anthropiques :</i> .....	24
<i>3.4. Caractéristiques générales des métaux lourds:</i> .....	25
<i>3.4.1. Plomb (Pb) :</i> .....	25
<i>3.4.2. Zinc (Zn):</i> .....	25
<i>3.4.3. Cadmium (Cd):</i> .....	26
<i>3.4.4. Cuivre (Cu):</i> .....	26
<i>3.4.5. Fer (Fe):</i> .....	26
<i>3.5. Toxicité des métaux lourds:</i> .....	26
<i>3.5.1. Effets des métaux lourds sur l'environnement et sur l'homme:</i> .....	27

## **Chapitre II:Matériel et méthodes**

I. Laghouat: .....	30
II.Présentation de la station d'épuration des eaux usées urbaines de HASSI R'MEL: .	32
III. Prélèvement des échantillons : .....	33
IV.Matériel d'étude.....	34
V.Préparation des échantillons au laboratoire:.....	34
1. Déshydratation:.....	34
2. Incinération:.....	35
3. Minéralisation :.....	35
4. Filtration:.....	36
5. Dosage des métaux lourds par la SAA: .....	37
5.1. Définition: .....	37
5.2. Principe:.....	37
5.3. Avantage: .....	38
5.4. Limites de la méthode: .....	38
5.5. Appareillage: .....	38
6. L'analyse physico-chimique de la boue : .....	39
6.1. Le pH : .....	39
6.2. La conductivité (C.E) :.....	40
6.3. La matière organique (MO): .....	41
7. Exploitation des données.....	41

## **Chapitre III Résultats et discussion**

I. Composition de la boue en métaux lourds .....	43
1. Concentration du FER .....	43
2. Concentration Du Cuivre .....	44
3. Concentrations du plomb .....	45
4. Le pH.....	46
5. La conductivité électrique .....	47
6. La matière organique .....	48
Conclusion.....	50
Références.....	51
Bibliographiques .....	51

# **Introduction**

## Introduction

---

### Introduction :

L'Homme rejette beaucoup de déchets sous forme solide, liquide ou gazeuse. Par ailleurs, l'industrialisation galopante, l'élévation de niveau de vie, les déficits pluviométriques enregistrés au cours de la dernière décennie, la demande en eau de qualité qui est de plus en plus grande, fait que les rejets d'eaux augmentent aussi (**BAHRI, 1988**).

L'Algérie a consenti un effort considérable en matière de traitement des eaux usées; il existe actuellement plus d'une centaine de stations d'épuration. Les eaux usées issues des diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles quelles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux (**FAO, 2007**). La stratégie du ministère des Ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, la protection de l'environnement, le confort et le bien-être des citoyens (**MRE, 2003**).

Les eaux usées doivent donc subir, avant leur rejet dans le milieu naturel, un traitement d'épuration qui conduit la production des boues résiduaire. A l'échelle nationale, leur production s'élève à plus d'un million de tonnes par an (**BENABDELI, 1999**).

Quelque soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues: la mise en décharge (appelée aussi stockage) s'avère une technique peu valorisante et elle est légalement interdite dans de nombreux pays (**directive 1999/31/CE**). L'incinération de boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine (**ADEME, 1999**). La valorisation énergétique (production de biogaz comme source de chaleur et d'électricité) et la valorisation biologique ou agricole (production d'engrais et de compost) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution (**PREVOT, 2000 ; ADEME, 2001 ; AUBAIN et al., 2002**).

La production des boues, augmente avec le développement des stations d'épuration. Un problème majeur consiste à trouver une solution pour éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

## Introduction

---

Il est à noter que l'élimination et le traitement des boues résiduares importent jusqu'à 50% des coûts de fonctionnement d'une usine d'épuration des eaux (**GRENIER, 1989**), et représente l'un des plus grands problèmes auxquels les ingénieurs sanitaires doivent faire face aujourd'hui (**GRENIER, 1989**).

Cependant, voici quelques solutions qui peuvent être qualifiées de finales pour éliminer les boues d'épuration. Au royaume uni, 67% des boues produite sont épandues sur les terres (2/3, en valorisation agricole et 1/3 en revalorisation des cités et en remplissage), 29% sont larguées en mer, et 4% incinérées (**GRENIER, 1989**).

Le largage en mer représente à la fois un déplacement des problèmes de pollution, et une perte de matériel potentiellement réutilisable ou recyclé. La mise en décharge a les mêmes inconvénients, quant à l'incinération, les coûts du combustible nécessaire remettent en question ce mode d'élimination des boues.

Enfin, et à cet effet, on a pensé à les valoriser, car le recyclage par épandage est en général le plus économique que l'élimination, en effet les boues doivent être considérées comme une matière première qui peut être réutilisée. En l'utilisant comme fertilisant forestier par exemple, et à la production de matière ligneuse.

Ces boues sont riches en matière organique, éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et en oligo-éléments (Zinc, Fer, Cuivre, Manganèse) (I.R.N.A., 1980). L'utilisation des boues résiduares des stations d'épuration urbaines en sylviculture semble à priori, poser moins de problèmes qu'en agriculture. En effet, les risques de toxicité vis-à-vis de l'Homme par exemple, par transfert de métaux lourds dans la chaîne alimentaire n'existe pas.

Cependant, leurs simple mise en décharge est un gaspillage, alors qu'on peut bénéficier de leur valeur fertilisante, cette possibilité de valorisation se heurte en pratique à l'inquiétude manifestée par les hygiénistes et les agriculteurs quant à la qualité toxicologique en matière de micropolluants inorganiques (ETM), à cause d'une absence quasi-totale de données analytiques sur la qualité des boues résiduares et d'une manière plus spéciale dans la région de Laghouat, et vu l'intérêt que présente cette boue, nous avons eu la réflexion de doser les métaux lourds présents dans la boue pour pouvoir répondre à la problématique liée à de potentiels utilisations de la boue dans le milieu steppiques déjà fragilisés par les différentes activités anthropogéniques notamment par l'épandage de cette dernière dans des mises en défens ou encore dans barrage vert .

## Introduction

---

Le travail réalisé est présenté en trois chapitres :

- Le premier chapitre est essentiellement consacré à une synthèse bibliographique sur des généralités qui porte sur les systèmes d'épuration, la boue et les métaux lourds.
- Le second chapitre a pour objectif de présenter la zone d'étude et les deux stations d'épuration (STEP-L et STEP-H) sièges de notre site d'échantillonnage, de présenter et de décrire les différentes techniques d'échantillonnage et méthodes utilisées.
- La présentation et la discussion des résultats obtenus, font l'objet du troisième chapitre.

Enfin, nous tirerons une conclusion générale et nous proposerons, comme compléments à notre travail, certaines perspectives.

# **Chapitre I:**

## **Synthèse bibliographique**

---

## I. Généralités sur les eaux usées

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine (**REJSEK, 2002**). Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes, dispersées ou dissoutes dans l'eau et qui a servi aux besoins domestiques ou industriels (**GROSCLAUDE, 1999**).

### I.1. Définition des eaux usées:

**RAMADE (2000)** définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout.

### I.2. Origines des eaux usées :

D'après **RODIER ET al (2005)**, on peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales). Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables.

Selon **GROSCLAUDE (1999)**, une eau usée est une eau rejetée après usage industriel, domestique ou agricole.

#### I.2.1. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes, dans le système dit « tout-à-l'égout » (**BAUMONT et al., 2004**).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (**VAILLANT, 1974**).

**I.2.2. les eaux usées urbaines:**

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours) (**DESJARDINS, 1997**).

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles, feuilles, graines, etc.) et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides venant des jardins, détergents utilisés pour le lavage des cours, des voies publiques, des automobiles, débris microscopique de caoutchouc venant de l'usure des pneumatiques des véhicules (**DESJARDINS, 1997**).

**I.2.3. Les eaux usées industrielles :**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. (**EDLINE, 1979**).

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries (**Edline, 1979**).

Selon **BAUMONT et al. (2004)**, les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- Ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- Ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- Ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

**I.3 Composition des eaux usées:**

La composition des eaux usées (Tableau 1), est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.).

**Tableau 1:** Composants majeurs typique d'une eau usée domestique.

Constituants	Concentration (mg/l)		
	Fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous (TDS) <sup>(1)</sup>	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (N)	85	40	20
Phosphore (P)	20	10	6
Chlore	100	50	30
Alcalinité (CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO <sub>5</sub> <sup>(2)</sup>	300	200	100

Source : (FABY, 1997).

(1): Que les montants de TDS et les chlorures devraient être augmentés par les concentrations de ces composants dans l'eau issue des voitures.

(2): DBO<sub>5</sub> est la demande biochimique en oxygène à 20°C pendant 5 jours, c'est une mesure de la matière organique biodégradable dans les eaux usées (FABY, 1997).

Selon FABY (1997), elle dépend de :

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

Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (BAUMONT et al., 2004).

## II. procédés d'épuration des eaux usées :

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différents techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceux-ci sont illustrés comme étant des méthodes classiques de traitement, ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel tel que le lagunage (ABIBSI, 2011).

### 2.1. Définition des eaux usées :

C'est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau soit pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel, soit pour transformer les eaux naturelles en eau potable (ANONYME, 2004).

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement (BRIERE, 1994).



Figure 1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (AMIR 2005).

### 2.2. Procédés d'épuration des eaux usées :

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différents techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceux-ci sont illustrés comme étant des méthodes classiques de traitement, ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel tel que le lagunage (ABIBSI, 2011).

### 2.2.1. Procédés d'épuration des eaux usées:

#### a. Prétraitement :

Le prétraitement vise à protéger le relèvement des eaux brutes et plus généralement à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs (BOUMEDIENE, 2013). Suivant la qualité de l'eau à traiter, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles.

#### b. Dégrillage :

Il s'agit d'éliminer les déchets de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (matières plastiques, chiffons, etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station (BRAME, 1986).

Il faut éliminer ces déchets mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage) (PRESCOTT *et al.*, 2007).



**Figure 2:** le dégrillage STEP de Laghouat (photo original ,2018).

- **Le dégrillage grossier** : l'eau brute passe à travers une première grille qui permet l'élimination des matières de diamètre supérieur à 50mm (LEGUBE., 1996).
- **Un dégrillage fin** : après le relevage de l'eau par quatre pompes (1250m<sup>3</sup>/ h) pour chacune), il passe par deux grilles à câble composées de barreaux placés

verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux est de 20mm, la vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (LEGUBE, 1996).

**c. Dessablage:**

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments solides qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille relativement importante, supérieure à 0.2 mm de diamètre, pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes, on élimine ces matériaux décantés dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires, les sables ainsi séparés, pouvant être mélangé aux autres boues sans problèmes majeurs si ne c'est pas qu'il sont fermentescibles, il existe dessaleurs aérés pour pallier cet inconvénient (GAMRASNI, 1979).



**Figure 3:** le dessablage STEP de Laghouat (Photo originale, 2018)

**d. Le déshuilage:**

Les huiles et les hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération, dans le cas des boues activées, quant aux matières flottantes solides elles risquent de former des bouchons qui pourraient obstruer des canaux ou des orifices dans la station. Il est donc nécessaire de réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface. Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter (BONNIN, 1977).

- **Dégraisseur-déshuileur aéré :** Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral.

- **Déshuileur longitudinal** : C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond (ABDELKADER, 1984).



**Figure 4:** le déshuilage STEP de Laghouat (Photo originale, 2018)

### 2.2.2. Les traitements mécaniques:

#### a. la décantation:

Pour faciliter la précipitation des matières en suspension de diamètre inférieur à 0.2mm, on fait circuler l'eau lentement dans un bassin dont on racle ou aspire périodiquement les matières rassemblées au fond (KORMANIK, 1977).

Dans la plupart des stations d'épuration, on effectue deux décantations, l'une sur les eaux usées du prétraitement, l'autre après le traitement biologique, les boues formées contiennent une forte proportion de matières organiques (20 à 30% des matières sèches) (KORMANIK, 1977).



**Figure 5:** La décantation STEP de Laghouat (Photo personnelle, 2018)

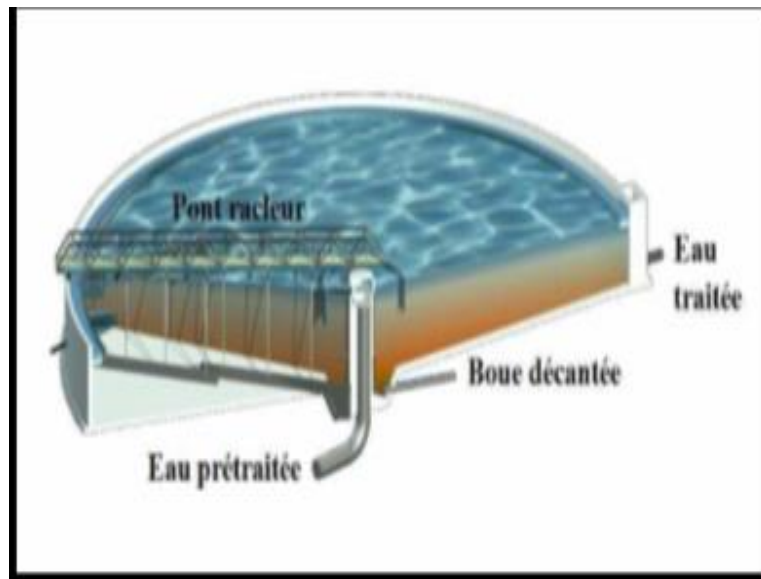


Figure 6: Coupe longitudinale d'un décanteur (AMIR 2005).

**b. la filtration:**

Comme pour la décantation, on peut effectuer la filtration sur les eaux brutes prétraitées puis sur les eaux traitées par voie biologique ou chimique, néanmoins la forte teneur en matières colloïdales et mucilage des eaux brutes rend difficile leur filtration sauf pour les filtres dont les mailles sont assez larges, de l'ordre de dixième de millimètre, ce qui est peu intéressant, par contre ce procédé est largement utilisé pour le traitement des boues (DUCHENE, 1990).

**2.2.3. Les traitements biologiques:**

Ces traitements consistent en une consommation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des microorganismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène, la croissance de la faune et la flore donne lieu à des floccs plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (VEDRY, 1975).

**a. Les procédés biologiques à cultures libres (les boues activées):**

Les eaux usées décantées sont aérées par des turbines agissant à la surface de l'eau ou par des rampes d'air comprimé ou d'oxygène ou d'air enrichi en oxygène au fond d'un bassin, après ce traitement les eaux sont à nouveau décantées: une partie des boues est renvoyée dans les bassins d'activation pour maintenir la population des microorganismes intervenant dans l'épuration, le reste des boues, appelé boues en excès, est soutiré pour subir un

traitement, on peut prolonger le temps d'aération de façon à obtenir une minéralisation plus forte des boues, c'est le procédé le plus utilisé (**VEDRY, 1975**).



**Figure 7:** Le traitement biologique STEP de Laghouat (**Photo originale, 2018**).

**b. Les lits bactériens :**

Ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées à travers une masse de pierres ou de matières plastiques présentant une grande surface et sur laquelle se développe un film bactérien (zooglyée) qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau. En présence de l'oxygène, de l'air, le film croît au fur et à mesure de la consommation des matières organiques et s'exfolie sous l'influence des gouttes d'eau qui tombent sur le garnissage (**BRAME, 1986**).

**c. Les procédés biologiques extensifs : le lagunage naturel.**

Les lagunes sont constituées de plans d'eau peu profonds, en général au nombre de trois. L'oxygène est nécessaire au développement des microorganismes hétérotrophes est fourni par les algues photosynthétiques (**GUIVARCH, 2001**). L'apport de l'oxygène naturel, peut être complété exceptionnellement par des aérateurs pour stimuler l'activité biologique et diminuer la surface (**BRAME, 1986**).

Les bassins de traitement des eaux brutes éliminent essentiellement des polluants carbonés. Les bassins suivants, dits d'affinage (eau déjà traitée), peuvent en outre permettre l'élimination des contaminants biologiques par l'action du rayonnement solaire (**BRAME, 1986**).

### 2.2.4. Le traitement anaérobie de l'eau:

Dans le cas des eaux usées urbaines, on utilise essentiellement la fosse à double étage, qui consiste en une consommation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau en absence de l'air. Il se produit une fermentation méthanique dans une première fosse et on recueille ainsi les eaux épurées dans une seconde fosse placée sous la première pour qu'elles puissent décanter, ce traitement est de mois en mois utilisé car il est difficile à conduire et son mauvais fonctionnement peut avoir de graves inconvénients (odeurs nauséabondes, risques d'explosion formation d'une croûte en surface, etc.) En outre, les quantités de gaz produites sont trop faibles pour qu'on puisse penser à les récupérer, on recueille les boues par soutirage et écrémage (**JAROSZ, 1985**).

#### a. les traitements physico-chimiques:

Les eaux prétraitées sont additionnées de réactifs chimiques, flocculant ou coagulants (poly électrolytes, chaux, etc.) qui agglomèrent les particules solides sous formes de flocons décantables, une décantation sépare ensuite l'eau et les boues (**SBIH, 1990**).

Les traitements physico-chimiques permettent d'agglomérer ces particules par l'adjonction d'agents coagulants et flocculant (sels de fer ou d'alumine, chaux, etc.) les amas de particules ainsi formées, ou "flocs", peuvent être séparés de l'eau par décantation ou par flottation (**MATHIAN, 1986**).

Les sels de fer ou d'aluminium et la chaux sont couramment utilisés pour les eaux usées urbaines à des concentrations de l'ordre de décigramme par litre alors que les poly électrolytes naturels (alginates) ou de synthèse donne de bons résultats pour des teneurs de l'ordre du milligramme par litre, le cout élevé de ces derniers conduit généralement à l'utilisation simultanée des agents de floculation organiques ou minéraux (**MATHIAN, 1986**).

#### a. formation des boues:

Le traitement des eaux usées en station d'épuration produit une eau épuré, rejetée dans le milieu naturelle et une concentration désigne soue le terme de" boue" ou " boue résiduaire "Au cours d'une épuration biologique les boues apparaissent généralement à deux niveaux (**ANRED, 1982**).

- Les plus grosses particules solides se déposent au fond du décanteur primaire et forment les boues primaires;

- Les particules fines dispersées et ces substances dissoutes sont fixées et métabolisées par les bactéries qui se multiplient à la présence de l'oxygène au cours de l'opération d'aération.

### 2.3.1. Définition d'une boue d'épuration :

Les boues sont des déchets résultants d'une épuration d'eaux usées d'origine domestique ou industrielle. Elles sont composées d'eau et de matière sèche dont lesquelles se trouvent des éléments polluants et les métaux lourds. Elles présentent un intérêt certains dans le domaine agricole et autres (GUY, 2003).

### 2.3.2. Les différents types des boues d'épuration:

L'appellation des différents types des boues résulte de la combinaison de plusieurs critères (JARDE, 2002):

- Nature de l'effluent (urbain, laitier, abattoir, papeterie);
- Caractéristiques du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique);
- Procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage);
- Etat physique des boues (liquide, pâteux, solide, granulé);
- Type de matériels de déshydratation (filtre-presse, centrifugation, table d'égouttage)

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre des types de boues. Toutefois, en résumant les situations les plus fréquemment rencontrées.

Selon EMILLIAN (2004), les principaux types de boues proposés au recyclage en agriculture sont les suivants:

#### a. Les boues de prétraitement (boue primaire) :

Ce sont les dépôts récupérés par une simple décantation des eaux usées, elles présentent des concentrations élevées en matière minérale (sable, terre, etc.) mais aussi en matière organique peut évoluer (EMILLIAN, 2004).

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

Selon JARDE (2002), ces boues sont issues de l'agglomération des matières organiques particulaire contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides et bases, les sulfates d'aluminium ou de fer, les chlorures ferreux ou ferriques.

**c. Les boues biologiques (secondaires):**

Qui résultent de l'activité vitale des microorganismes, les boues ont une structure floculée et sont séparées dans des décanteurs secondaires, dans les filtres biologiques (lits bactériens). Il s'agit de boues de lits bactériens prélevées dans les décanteurs secondaires dans les bassins de boues activées. La plus grande partie est recerclée dans les bassins comme boues de retour et seules les boues en excès sont évacuées (EMILLIAN, 2004).

**d. Les boues mixtes (boues primaires+ boues secondaires) :**

C'est le mélange de boues primaires et de boues activées ou provenant de lit bactérien (EMILLAIN, 2004).

**2.3.3. Composition des boues résiduaires:**

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (WERTHER et OGADA, 1999 ; JARDE et al., 2003). Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (azote et phosphore...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes) (SINGH et al., 2004).

**a. Matière organique:**

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (KAKII et al., 1986 ; INOUE et al., 1996 ; ADEME, 2001 ; JARDE et al., 2003).

**b. Eléments fertilisants et amendements:**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en POTASSIUM (ZEBARTH et al., 2000 ; SU et al., 2004). Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux (WARMAN et al., 2005)

**c. Contaminants chimiques inorganiques et organiques:**

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (**CHANG ET al., 1992 ; CRIPPS ET al., 1992**). D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (**ALLOWAY, 1995; MCBRIDE, 2003**). Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration (**LEGA ET al., 1997; PEREZ et al., 2001**).

**Tableau 2** : Valeurs limites de concentration micropolluants métalliques dans les boues (mg kg-1 de matière sèche) autorisées pour leur valorisation en agriculture.

Espèces chimiques	Norme française
Arsenic	-
Cadmium	20 - 40
Chrome	1000 - 1750
Cuivre	1000 - 1750
Mercur	16 - 25
Molybdène	-
Nickel	300 - 400
Plomb	750 - 1200
Sélénium	-
Zinc	2500 - 4000
(Cr+Cu+Ni+Zn)	-

(**BROUZES et CHAUVIERE, 2009**)

**2.3.4. Traitement des boues :**

**a. Définition**

Le traitement des boues se définit comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance. Les boues subissent des traitements de déshydratation et de stabilisation avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou réutilisées à des fins agricoles ou énergétiques (**BLONDEAU, 1985**).

**b. Objectifs de traitement des boues:**

Les traitements spécifiques des eaux usées engendrent une matière organique hautement fermentescible (**GUY, 2003; OUARDAS, 2009**).

Trois principaux objectifs de traitements des boues seront distingués:

- Des traitements d'épaississements et/ou déshydrations et le séchage, des traitements de réduction de la teneur en eau pour améliorer leurs caractéristiques physique, et de concentrer et diminuer le volume des boues à stocker et à épandre (EMILLIAN, 2004).
- Des traitements de stabilisation (réduction de la nuisance olfactives) pour réduire la fermentescibilité des boues afin de limiter ou d'annuler les mauvaises odeurs (Guy, 2003; Emillian, 2004).
- Des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge des microorganismes pathogènes (GUY, 2003; EMILLAN, 2004).

**Tableau 3** : Les opérations de traitement des boues.

Opération	But
Stabilisation	Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisance
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire final un produit connu et relativement constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

(DUCHENE, 1990)

### c. Procédés de traitement:

Telle quelle apparaissent au cours du traitement des eaux usées, les boues d'épuration nécessitent un traitement préalable et ce dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction des matières organiques facilement décomposables (BRAME et al., 1967).

#### ➤ stabilisation:

Les boues contiennent une importante proportion de matière organique et par conséquent sont très putrescible le but de stabilisation biologique est de les rendre inertes et inodores (THOMAZEAU, 1981).

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues afin de réduire leur fermentescibilité, et limiter voire annuler, les nuisances olfactives (**KOLLER, 2004**).

- **La stabilisation biologique:**

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait:

Soit par voie aérobie (présence de l'oxygène) dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable. La consommation d'énergie de ce procédé ne permet pas d'envisager son utilisation de manière systématique pour les boues d'origine urbaines (**ALANDRE, 1979**).

Soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans les digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane et on obtient des boues "digérées", encore appelées "Anaérobies" ou "stabilisées anaérobies" (**ALANDRE, 1979**).

- **La stabilisation chimique:**

Elle bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution des boues, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50% de la matière sèche, en général 30%) élevant le PH au delà de 12 (**KOLLER, 2004**), ayant pour effet de bloquer les fermentations en évitant ainsi le dégagement de mauvaise odeur. Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique, si la boue sera valoriser (**GAMRASNI, 1981**).

**d. Déshydratation:**

Elle consiste à éliminer la majeure partie de l'eau contenue dans la boue et l'obtention d'un déchet solide, facilement manutentionnable et de volume réduit par déshydratation soit naturellement sur le lit de séchage soit par déshydratation mécanique (**GAMRASNI, 1981**).

- **Lit de séchage:**

Cette opération est utilisée dans des petites stations d'épuration qui en résulte après un épandage sur des lits à l'air libre des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1m<sup>2</sup> pour 4 à 5 habitants raccordés (**JAMONET, 1987**).



**Figure 7:** Un lit de séchage STEP de Laghouat (**Photo originale, 2018**).

Ce système extensif donne des boues solides à 35-40% de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques. La boue sèche ainsi obtenue est pelletée, elle contient plus de 50% de matière sèche et peut être utilisée pour l'agriculture. Il arrive souvent qu'un début de végétation croisse au cours de séchage (**JAMONET, 1987**).

- **Séchage mécanique :**

Utilisée beaucoup plus dans les stations les plus importantes, on y parvient par centrifugation, filtrations sous pressions, il est à noter que la déshydratation influe sur la composition finale des boues; car la nature des opérations de la déshydratation mise en œuvre n'intervient que du point de vue de l'humidité du déchet final et de ses propriétés physique. Ainsi certains éléments présents sous forme soluble (sodium, potassium, et une partie de l'azote) sont en grande partie évacués lors de la filtration ou lors centrifugation (**JAMONET, 1987**).

- **Séchage thermique:**

Séchage thermique constitue à évacué par évaporation l'eau industrielle présente dans les boues, en réduisant leur poids et concoure à l'élaboration d'un produit valorisable (**JARDE, 2002**).

D'autres techniques sont largement appliquées dans certains pays:

**e. Pasteurisation**

La pasteurisation des boues liquides par passage à la température de 80° C pendant 10 mm (THOMAZEAU, 1980) à l'exception de quelques espèces sporulées les germes bactériens est généralement détruits.

**f. Compostage**

Le compostage consiste à mélangé les boues aux ordures ménagères se traduit par une hygiénisation ou destruction des germes pathogènes résultant de l'élévation de la température pouvant atteindre 80° C et par l'obtention d'un résidu riche en matière humique (JARDE, 2002; GUY, 2003).

**g. Epaissement:**

Cette opération consiste à séparer par gravité ou flottation, l'eau industrielle des particules de boue (THOMAZEAU, 1981).

- **Epaissement statique (Gravitaire) :**

Epaissement gravitaire s'effectue dans un épaisseur, il consiste à laisser décanter les boues naturellement (GAID, 1984).

- **Epaissement par flottation:**

Il s'effectue grâce a la flottation par l'air, s'applique particulièrement aux boues biologiques, il permet d'éliminer 80 % de l'eau des boues (GRASCULAUDE, 1999 ; Ouardas, 2009).

Selon OUALI (2002), l'épaissement de flottation est réalisé par injection des bulles d'air qui se fixent sur les particules des bues et les amènent à la surface de l'ouvrage de flottation.

**h. Traitement d'hygiène:**

L'hygiénisation est un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans la boue (DEROUICHE, 2012).

L'hygiénisation des boues ne s'impose que dans certains contextes d'utilisation agronomique : la plupart des boues épandues ne sont pas hygiénisées, la maîtrise du risque sanitaire reposant de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques (DEROUICHE, 2012).

La valorisation des boues de stations d'épuration des eaux usées est devenue une préoccupation du monde entier, vue l'augmentation de leur production et leur composition diversifiée qui leur révèlent un intérêt économique et environnementale important. Cette

valorisation permet de faire passer les boues de STEP d'un statut de "déchet" au statut de "produit", elle est donc une nécessité primordiale pour la protection de l'environnement (AMIR, 2005).

### 2.3.5. Valorisation des boues:

#### a. Le compostage des boues:

Le compostage est un procédé de stabilisation de la matière organique avant qu'il soit un procédé de valorisation organique produisant un compost. Il présente plusieurs avantages:

- Réduction du volume des boues et de leur teneur en eau ;
- Réduction des odeurs ;
- Meilleure maniabilité (meilleure structure que les boues non compostées) ;
- Stabilisation et hygiénisation naturelles sans additifs chimiques ;
- Plus grand intérêt agronomique (une grande quantité d'humus riche en éléments fertilisants) (AMIR, 2005).

Le compostage des boues nécessite leur mélange avec des déchets verts qui permettent une meilleure structuration et aération du produit final, et cela vue leur rapport très faible carbone/azote (C/N), et l'absence d'éléments structurants (AMORCE, 2012).

L'utilisation du compost fournit aux végétaux un support aéré, un réservoir d'eau et de nutriments. Ceci permet un enracinement important des végétaux, favorise leur productivité et diminue les risques d'érosion (AMORCE, 2012).

#### b. L'épandage

L'épandage des boues d'épuration consiste leur utilisation comme des éléments nutritifs, sur les sols inertes, érodés à l'aide de matériels appropriés (AMIR, 2005).

L'épandage des boues d'épuration reste une pratique courante. Cette technique est recommandée pour permettre la réhabilitation des sites stériles tels que les décharges, les carrières. L'aménagement des espaces verts urbains est aussi envisageable (AMIR, 2005).

L'épandage des boues présente des avantages agronomique vue sa composition en éléments fertilisants (N et P), ainsi elles sont disponibles selon les besoins (besoin de stockage), faciles à utiliser, et rentable par comparaison à l'utilisation d'engrais minéraux de commerce (AMIR, 2005).

Malgré les intérêts qu'elle présente, cette valorisation a des limites. Elle est assez mal acceptée quand la présence des ETM, des CTO et les germes pathogènes dans les boues dépassent certaines valeurs (AMIR, 2005).

### III. Métaux lourds

#### 3.1. Définition:

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm<sup>3</sup>. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse, etc. (ARRIS, 2008).

D'un point de vue chimique, les éléments de la classification périodique formant des cations en solution sont des métaux. D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm<sup>3</sup> (ADRIANO, 2001).

D'un autre point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux toxiques (LOUE, 1993).

#### 3.2. Classification des métaux lourds:

##### 3.2.1. Les métaux essentiels :

Sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les Tissus biologiques (LOUE, 1993).

Certains peuvent devenir toxiques lorsque la Concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), Du zinc (Zn), du fer (Fe). Par exemple, le zinc (Zn), à la concentration du milli molaire, est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques (déshydrogénases, protéinase, peptidase) et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides (Kabata et Pendas, 2001).

**Les métaux toxiques :** ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd) (BEHANZIN *et al.*, 2014).

#### 3.3. Origine des métaux lourds:

Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques. Les activités industrielles et technologiques diminuent cependant le temps de résidence des métaux dans les roches, ils

---

forment de nouveaux composés métalliques, introduisent les métaux dans l'atmosphère par la combustion de produits fossilifères. Il faut différencier la part qui résulte de la contamination d'origine humaine et la part naturelle (**KRUPA, 1999**).

### 3.3.1. Les sources naturelles :

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (**BOURRELIER et BERTHELIN, 1998**). Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (**AFNOR, 1988**).

### 3.3.2. Les sources anthropiques :

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (**WEISS et al., 1999**).

Les sources anthropiques sont les suivantes:

- Activités pétrochimiques;
- Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment);
- Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations);
- Incinération de déchets;
- Produits (électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents);
- Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles.

**Tableau 4:** Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu,
Alliages et soudures	Fe
Biocides (pesticides, herbicides)	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Agents de catalyse	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Verre	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Engrais	As, Sn, Mn
Matières plastiques	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Produits dentaires et cosmétiques	Cd, Sn, Pb
Textiles	Sn, Hg
Raffineries	Cr, Fe, Al
Carburants	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn, Hg, Cu, Pb, Cd

Source : (OTHMER, 1995).

### 3.4. Caractéristiques générales des métaux lourds:

#### 3.4.1. Plomb (Pb) :

C'est un métal gris bleuâtre, brillant, mou et ductile. Constitue des gisements primaires dans les roches éruptives et métamorphiques, il ne se trouve pas à l'état natif, il existe sous forme de sulfure et peut être associé à d'autres éléments tels que le Zn, l'arsenic, l'antimoine, le cuivre et l'argent. Dans l'eau de mer il existe sous trois formes essentielles: dissous, colloïdal et le plomb particulaire. Cet élément est très peu hydrosoluble et de faible mobilité géochimique (CASAS, 2005).

#### 3.4.2. Zinc (Zn):

C'est un métal blanc de dureté faible à température ambiante qui devient malléable vers 100-150°C et fragile cassant, essentiel pour la croissance et le développement normal d'espèces animales et végétales, mais devient nuisible quand il est en excès. Il n'existe pas à l'état métallique dans la nature, il n'est présent qu'à l'état divalent (Zn II). Dans l'eau de mer il se trouve en diverses formes: ion hydraté (Zn(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub><sup>+</sup>), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et adsorbé sur de la matière solide (CASAS, 2005 ; NOPPE, 1996).

### 3.4.3. Cadmium (Cd):

C'est un métal rare qui n'existe pas à l'état natif il est stable à une température ordinaire mais s'oxyde lentement à l'air en présence d'humidité, il est Présent en faible quantité dans la biosphère (0,1-0,2 ppm). En milieu aquatique se trouve sous diverses formes (dissoute, colloïdale, particulaire). Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément sont des espèces libres ( $Cd^{2+}$ ) et formées par des associations de cadmium avec des composés minéraux ou organiques, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ce dernier influencé par la salinité (Plus la salinité augmente, plus la concentration en  $Cd^{2+}$  diminue). En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures (CASAS, 2005).

### 3.4.4. Cuivre (Cu):

Le cuivre est un métal largement répandu dans la nature sa concentration moyenne dans la croûte terrestre serait comprise entre 45 et 70mg/kg selon les auteurs (BAIZE, 1997). Elle est de l'ordre de 50 mg/kg On peut le trouver dans la nature soit sous forme libre dans la cuprite (88,8%) soit sous forme d'oxyde de sulfure. Il est particulièrement abondant dans les roches mafiques et intermédiaires. Les teneurs les plus élevées (> 80mg/kg) seraient observées dans les roches magmatiques basiques riches en minéraux ferromagnésiens.

### 3.4.5. Fer (Fe):

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe dont le numéro atomique est 26. C'est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, sous forme pure ou alliages. Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'adjonction de très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus les propriétés du matériau (COLIN, 2010).

### 3.5. Toxicité des métaux lourds:

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés : émissions atmosphériques, rejets dans l'eau, règles sur

l'épandage des boues ou la mise en décharge. La contamination par les métaux lourds est due aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des pesticides, etc.). Représente 25 % de ces émissions dans la nature. Tout élément est toxique quand il est absorbé en excès par rapport aux capacités d'assimilations de l'organisme (**GADRAS, 2000**).

La toxicité des métaux lourds est due essentiellement à :

- Leur non-dégradabilité;
- leur toxicité à faible concentration;
- Leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques (**CRINE, 1993**).

La toxicité d'un élément métallique dans l'environnement dépend de la forme chimique sous laquelle il existe. L'une des caractéristiques de la toxicité des métaux est leur pouvoir de former des complexes (**MORGAN, 1991**).

La disponibilité et la toxicité dépendent de la concentration des ions libres de l'élément, ainsi que de la concentration totale du métal ou de celle du complexe du métal (**SANDERS, 1983**).

### **3.5.1. Effets des métaux lourds sur l'environnement et sur l'homme:**

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car, ils ne sont pas dégradables. Ils s'accumulent au cours de processus minéraux et biologiques. Les métaux lourds peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus (**BELAIB, 2006**).

#### **a. Effets sur l'environnement:**

Les métaux lourds sont dangereux pour les systèmes vivants car :

- Ils sont non dégradables au cours du temps ;
- Ils sont toxiques à de très faibles concentrations ;
- Ils ont tendance à s'accumuler dans les organismes vivant et à se concentrer au cours des transferts de matière dans les chaînes trophiques (**BELAIB, 2006**).

#### **b. Effets sur l'Homme :**

Le corps humain est comparable à un grand laboratoire chimique. Chaque seconde, il y a des milliers de processus chimiques dans nos organes et cellules. Les métaux ou minéraux essentiels jouent un rôle primordial dans ces processus biochimiques (l'électrolyte et le processus enzymatique) la présence des métaux lourds dérange profondément l'équilibre biochimique de nos cellules. L'organisation mondiale de la santé, (OMS) déclarait qu'environ 80% des maladies chroniques comme l'arthrite, le diabète,

l'asthme, le cancer pouvaient être causés directement ou indirectement par la pollution environnementale (BEKAERT, 2004).

Au niveau de la toxicité, nous pouvons résumer les principaux dangers des métaux lourds (BEKAERT, 2004).

- Ils remplacent ou substituent les minéraux essentiels.
- Ils changent notre code génétique.
- Ils produisent des radicaux libres.
- Ils neutralisent les acides aminés utilisés pour la détoxification.
- Ils causent des allergies.
- Ils endommagent les cellules nerveuses.

**Tableau 5 : Impact de certains métaux lourds sur l'Homme, les animaux et les végétaux.**

Métal	Forme	Impacts écologiques	Impact sur l'Homme
Pb	En suspension Dissous Pb <sup>+2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicité aigue dès 0,1mg/L chez les algues et poissons.</li> <li>• Effet sur la reproduction des poissons.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioaccumulation</li> <li>• Saturnisme (atteinte neurophysiologique, troubles rénaux et cardio-vasculaires)</li> <li>• Hématopathie.</li> </ul>
Cu	En suspension Dissous (Cu <sup>+</sup> et Cu <sup>+2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxique à des doses inférieures à 1 mg/L.</li> <li>• Diminution de l'activité photosynthétique.</li> <li>• Altération des branchies des poissons, retard dans leur ponte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gastro-entérites</li> <li>• Cirrhose de foie</li> <li>• Nécroses</li> <li>• Scléroses</li> </ul>
Zn	Soluble Zn <sup>+2</sup> Forme colloïdale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicité aigue pour le milieu aquatique à partir de quelques mg/L.</li> <li>• Perturbe la croissance des végétaux par détérioration de l'appareil chlorophyllien.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une atteinte du système nerveux</li> <li>• ZnCl<sub>2</sub> : irritation des muqueuses respiratoires et gastrointestinales, ulcérations cutanées</li> <li>• ZnO : eczémas, fièvres, lésions pulmonaires à forte dose.</li> </ul>

(EL ASRI, 2009).

# **Chapitre II:**

## **Matériel et méthodes**

**I. Laghouat:**

La station d'épuration de Bordj Snoussi "STEP" a été réalisée dans le but d'épurer les eaux usées urbaines de la ville de Laghouat en vue de pallier aux problèmes de pollution du milieu récepteur.

L'implantation de la station d'épuration est localisée au Nord Est de la ville de Laghouat à environ 4000 m, et située entre le Kef Seridja et Oued M'ZI. (**STEP-Laghouat, 2015**).



**Figure 8:** Vue d'ensemble de la station d'épuration de Laghouat (**STEP-Laghouat, 2015**).



**Figure 9:** Localisation de la STEP-L (Google Earth, 2018)

La construction et la mise en place des équipements mécaniques, électriques / automatisation et hydromécaniques de cette station se fera en deux phases permettant de traiter la pollution résultant d'une population équivalent de 167 000 à l'horizon 2015 pour un débit de 26700 m<sup>3</sup>/j et 250 500 à l'horizon 2033 pour un débit de 49 050 m<sup>3</sup>/j.

Les effluents traités seront réutilisés pour l'irrigation des terres agricoles situées à l'aval du barrage.

La station a une capacité de : 167 000 E.H et un débit unitaire de 160 l/E.H., j. par temps sec, soit 26 700 m<sup>3</sup>/j (Horizon, 2015).

**II. Présentation de la station d'épuration des eaux usées urbaines de HASSI R'MEL:**

**Figure 10:** station d'épuration de HASSI R'MAL (STEP de HASSI R'MAL, 2016).

Dans le cadre de la mise en application de la politique de la société nationale de transport et de commercialisation des hydrocarbures (SONATRACH) relative à la protection de l'environnement, la direction régionale de HASSI R'MEL a mis en œuvre un programme élevé à éliminer ou à réduire au maximum les nuisances causées par ses activités et services. Pour faire une station d'épuration des eaux usées urbaines a été implantée. Cette station a été mise en service en 2001, conçue pour 15000 eq ha

La station a pour objectifs principaux :

- Eviter la prolifération des maladies à transmission hydrique;
- Protéger les milieux récepteurs;
- Se conformer à la législation et la réglementation en matière de la protection de l'environnement;
- Valoriser les eaux usées.

### III. Prélèvement des échantillons :

Les boues utilisées dans notre expérimentation ont été produites dans deux stations d'épuration, celle de Laghouat en Août 2015 et en Mars 2017, et celle de HASSI R'MEL en 2017. Les boues sont d'une couleur noire grisâtre et d'une odeur désagréable. Nous avons également noté la présence d'une faune remarquable (larves, nématodes, acariens, etc.).

Les boues ont été prélevées d'une façon aléatoire sur des lits de séchage (aussi bien sur les extrémités des lits qu'au centre).

Au niveau de la STEP de Bordj S'nouci, nous avons prélevé 03 échantillons de boue produite en 2015 et 03 autres échantillons à partir de la boue produite en 2017 (*Fig. 10*). Quant à la station de HASSI R'MEL, nous avons prélevé 03 échantillons de la boue disponible et qui était produite en 2017 (*Fig. 11*).



**Figure 10 :** Image satellite des lits de séchage – STEP Laghouat (Google Earth, 2018).



**Figure 11:** Image satellite des lits de séchage– STEP HASSI R'MEL (Google Earth, 2018).

#### IV. Matériel d'étude

L'achèvement du protocole expérimental a nécessité la préparation du matériel de laboratoire au préalable. Les réactifs ainsi que l'appareillage sont présentés dans le tableau n°6 :

**Tableau n°6 : Liste de l'appareillage, matériel et réactif utilisés**

Appareillage	Matériel	Réactifs
Etuve	Creusets en verre	Acide fluorhydrique 40%
Four à moufle	Erlen Meyer	Acide perchlorique 70%
Balance de précision	Eprouvette graduée	acide nitrique 65%
Bain Marie	Fioles de 100 ml en polypropylène graduées	Eau distillée
pH-mètre	Papier filtre	
Conductimètre	Entonnoir	
Spectromètre à absorption atomique (SAA)	Tubes à essai	

#### V. Préparation des échantillons au laboratoire:

Tous les travaux relatifs à la préparation des échantillons ont été effectués au niveau des laboratoires pédagogiques du département de biologie, à l'exception des la spectrométrie à absorption atomique qui a eu lieu au niveau des laboratoires du département de chimie.

Après l'arrivée des échantillons au laboratoire, nous avons pesé 0,5g de boue de chaque échantillon et déposé dans des creusets en verre thermorésistants et exempts de matière métallique. Ensuite nous avons enchainé les étapes suivantes:

##### 1. Déshydratation:

Les échantillons sont passés à l'étuve à 105°C pendant 2 heures pour avoir une matière sèche (*Fig.12*).



**Figure 12:** La déshydratation des échantillons dans l'étuve (**Originale, 2018**).

## **2. Incinération:**

Les échantillons sont ensuite calcinés à 450°C dans un four à moufle pendant 3 heures.

## **3. Minéralisation :**

Pour la minéralisation, nous l'avons effectué par voie humide. Elle consiste en l'attaque à chaud de la matière organique par un ou plusieurs acides fortes dans le but de solubiliser les métaux lourds, associés à la matière organique, en solution (**BERNHARD, 1977**). Dans notre cas les échantillons ont subi une minéralisation après l'ajout d'un mélange de 10 ml d'acide fluorhydrique 40% (HF) et 3 ml d'acide perchlorique 70% (HClO<sub>4</sub>); ce mélange s'évapore sur une plaque chauffante sur 160°C (**LARNER; SEEN, 2006**). La poudre très fine obtenue a été mise en solution avec 1 ml d'acide nitrique 65% dans des fioles de 100ml en polypropylène graduées; les tubes ont été portés à ébullition dans un bain-marie et le volume a été complété à 100 ml par l'eau distillée (*Fig. 13*).



**Figure13** : Etape de la minéralisation par voie humide (**Originale, 2018**).

#### **4. Filtration:**

Après le refroidissement des échantillons, on les a filtré à l'aide d'un papier filtre de façon à retenir sur le filtre les matériaux insolubles susceptibles de boucher le nébuliseur (**ISO, 1986**). (*Fig.14*).



**Figure 14:** Etape de filtration (**Originale, 2018**).

La solution obtenue est conservée dans des tubes à essai étiquetés jusqu'au moment du dosage des métaux lourds par spectrométrie d'absorption atomique.

## **5. Dosage des métaux lourds par la SAA:**

### **5.1.Définition:**

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une méthode d'analyse quantitative s'adressant essentiellement aux métaux lourds. Elle est basée sur la propriété des atomes, de l'élément à doser, qui peuvent absorber des radiations de longueurs d'ondes déterminées. La solution de l'élément à analyser est nébulisée dans une flamme, ce qui provoque successivement ; l'évaporation du solvant, la vaporisation de l'élément sous forme de combinaisons chimique et en fin la dissociation de ces combinaisons avec production d'atomes libres à l'état fondamental (**RODIER, 2009**).

### **5.2.Principe:**

Cette méthode d'analyse dite élémentaire permet de doser des éléments chimiques à l'état de traces (en très faible quantité : quelques ppm) contenus dans une solution. La spectrométrie d'absorption est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie des atomes. En effet un atome qui passe de son état (d'énergie) fondamental à un état excité quelconque absorbe un ou plusieurs photons (**FOLCO et al., 1999**).

On associe au phénomène d'absorption un spectre d'absorption. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au

nombre d'atomes d'élément absorbant, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments que l'on a décidé de doser (FOLCO *et al.*, 1999).

### 5.3. Avantage:

La spectrométrie par émission présente deux avantages majeurs face à l'absorption atomique :

- certains éléments peuvent être analysés avec une plus grande sensibilité et avec moins d'interférences chimiques.
- l'émission atomique permet d'effectuer des analyses qualitatives. En effet, c'est l'échantillon lui-même qui est la source de lumière dans la spectrométrie d'émission. Ainsi, plusieurs éléments peuvent être dosés en même temps (BENEDETTO, 1997).

### 5.4. Limites de la méthode:

Elle reste très quantitative et ne permet pas toujours de connaître les éléments contenus dans l'échantillon. De plus elle nécessite un étalonnage à chaque nouvelle manipulation et demande ainsi beaucoup de temps (FOLCO *et al.*, 1999).

### 5.5. Appareillage:

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales:

Le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4) (Figure1) (PRADYT, 2004).

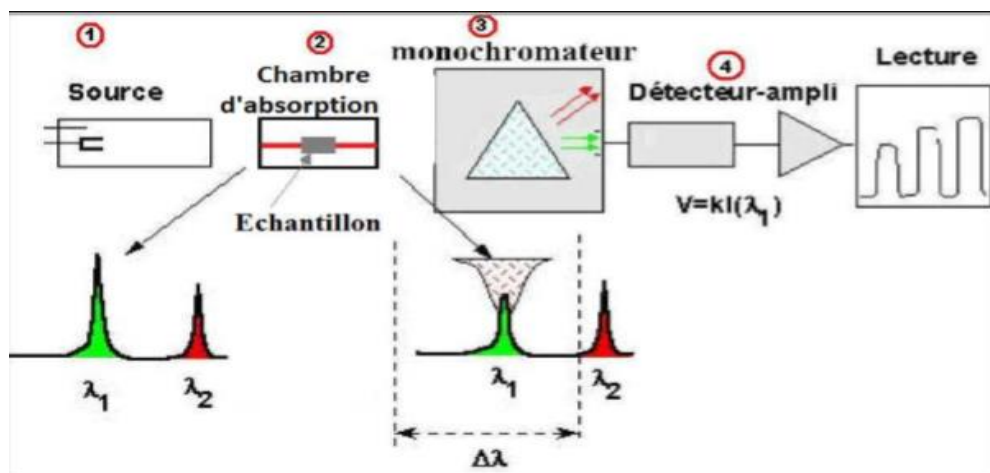
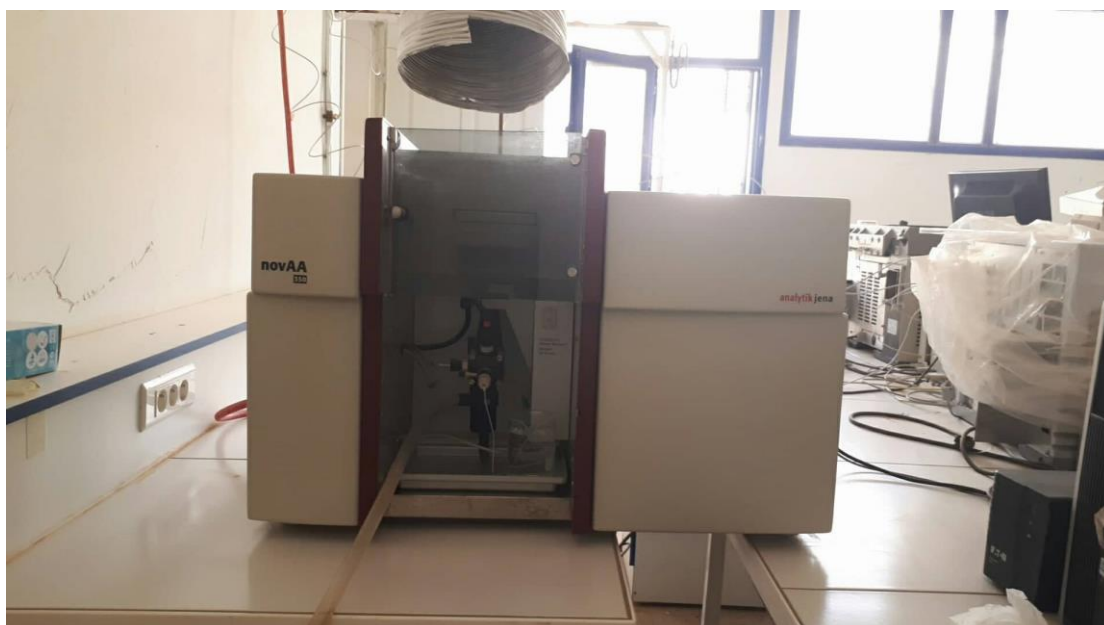


Figure 15 : Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique (ref).

Le dosage des métaux étudiés (Fe, Cu, Pb, Cr, Ni, Co, Cd) a été réalisé avec la spectrométrie d'absorption atomique à flamme au niveau du laboratoire de département de chimie de l'université de "Amar Telidj" à Laghouat.

En spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, la solution analysée est aspirée dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin. Ce brouillard est ensuite aspiré vers le brûleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés (PINTA ,1980).

La spectrophotométrie à absorption atomique avec flamme utilisé est représentée par la figure suivante:



**Figure 16:** La spectrométrie absorption atomique à flamme (Originale, 2018).

## 6. L'analyse physico-chimique de la boue :

L'analyse physicochimique des échantillons récoltés nous donnera des renseignements importants sur la qualité physico-chimique des boues résiduaire, notamment en matière de pH, de conductivité électrique et en matière organique.

### 6.1.Le pH :

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu (DAJOZ, 1985). La lecture du pH s'est faite à l'aide d'un pH mètre lorsque la boue est stabilisée après un repos d'au moins

une heure après la mise en suspension de boue dans de l'eau distillée à pH 7, avec un rapport boue/eau distillée 1/5 (BAISE, 2000) (Fig.16).



**Figure 17:** mesure du pH (Originale, 2018).

### 6.2.La conductivité (C.E) :

La conductivité électrique a été mesurée sur la même solution préparée pour la mesure du pH mais à l'aide d'un conductimètre (Fig. 17) (SAMAI, 2007).



**Figure18:** Mesure de la conductivité (Originale, 2018).

### 6.3. La matière organique (MO):

Nous avons pesé 10 g de chaque échantillon et incinéré au four à moufle à 450°C pendant 3h. A leur sortie, les échantillons ont été pesés encore une fois. Le pourcentage en matière organique représente la fraction qui a été complètement incinérée. Nous avons donc calculé ce taux par la formule suivante (BENSLAMA; ZANACHE, 1998).

$$(M1-M2) \times 100 / M1$$

Où :

**M1** : poids initial de la boue

**M2** : poids de la boue après incinération

## 7. Exploitation des données

Les résultats ont été représentés en histogrammes qui comparent entre les différentes stations et dates de prélèvement. Concernant les métaux lourds, les concentrations fournis par la SAA étaient exprimés en unité de masse de ETM par unité de volume de solution d'extraction (mg/l). Afin de pouvoir interpréter et discuter nos résultats, nous avons donc converti en unité de masse de ETM par unité de masse de boue résiduaire (mg/g) par la formule suivante :

$$[ETM] \text{ (mg/l) } / 5$$

Nous avons ensuite exprimé nos résultats en ppm.

# **Chapitre III**

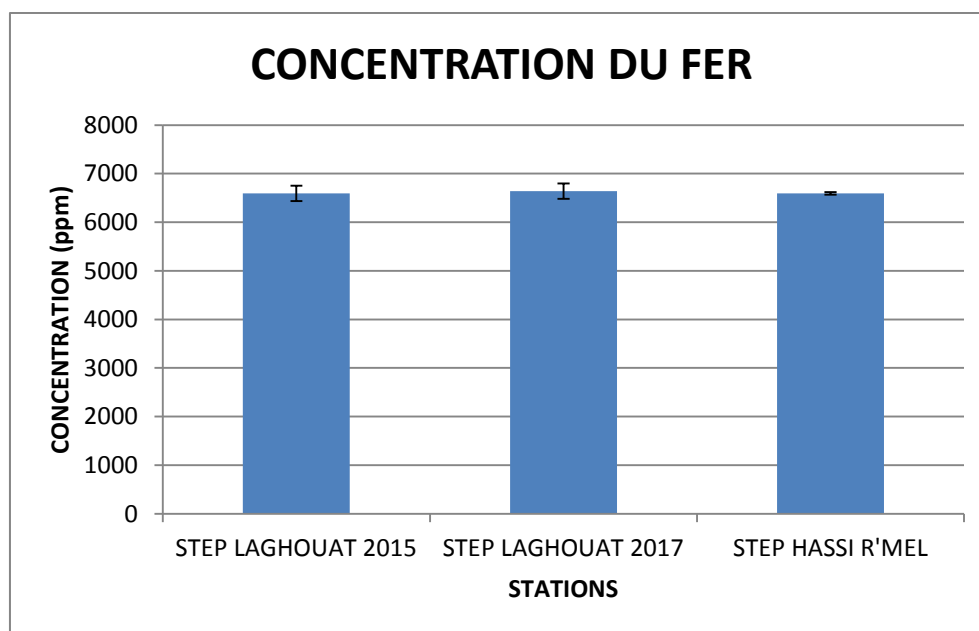
## **Résultats et discussion**

### I. Composition de la boue en métaux lourds

Le dosage des sept éléments trace suivants : Cuivre, Fer, Plomb, Nickel, Cadmium, Chrome, et Cobalt nous a permis de détecter la présence des trois premiers éléments seulement. Pour le reste des éléments, les valeurs étaient nulles dans tous les échantillons.

Les concentrations de ces éléments sont présentées ci-dessous.

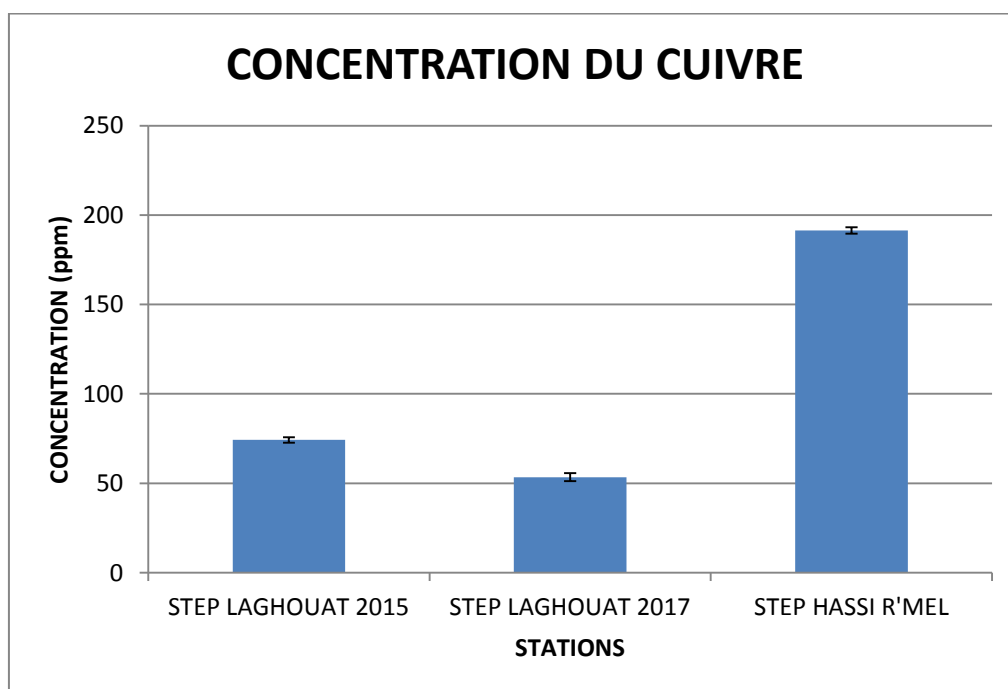
#### 1. Concentration du FER



**Figure 19 :** Concentrations du fer dans les boues résiduaire

La figure 19 illustre que la boue résiduaire produite en 2017 au niveau de la STEP-L présente la teneur la plus élevée par une valeur 6638,8 ppm, la boue résiduaire produite en 2015 au niveau de la STEP-L présente 6594 ppm et celui de STEP-H est 6593,2 ppm

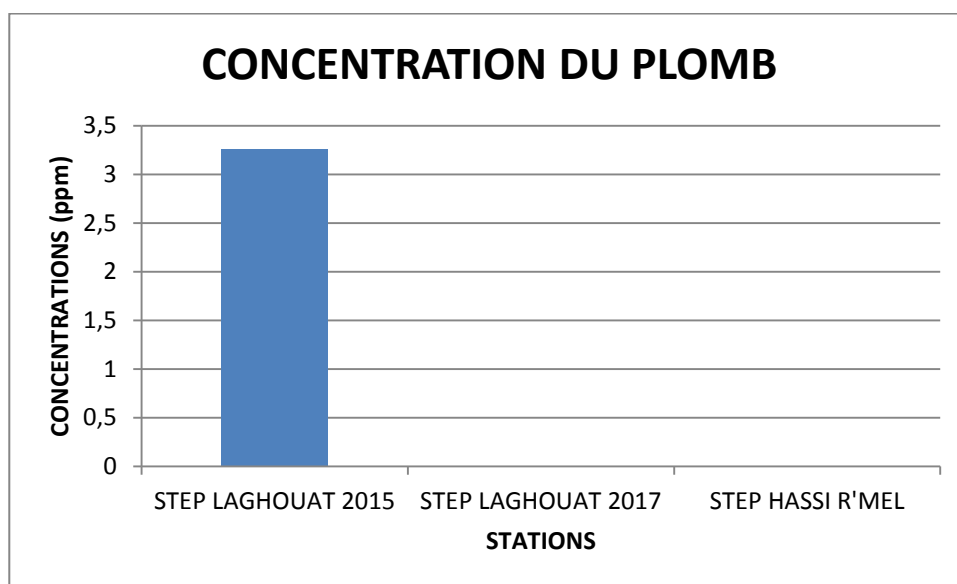
## 2. CONCENTRATION DU CUIVRE



**Figure 20** : concentration du cuivre dans les boues résiduelles

Les résultats indiqués sur la figure 20 montrent que la concentration la plus élevée en cuivre apparaît au niveau de la STEP-H avec une valeur de 191.48 ppm. Cependant, dans la STEP-L les valeurs sont plus basses, à savoir 74.24 ppm présentée dans la boue produite en 2015 et 53.4 ppm pour la boue produite en 2017. Les teneurs ne dépassent pas la valeur limite d'AFNOR (1985) qui est comprise entre 1000 et 1500 ppm.

### 3. Concentrations du plomb



**Figure 21** : Concentration du plomb dans les boues résiduaires.

En observant les résultats obtenus, nous avons remarqué qu'uniquement l'échantillon de boue produite en 2015 et prélevé dans la STEP-L qui montre une présence de plomb avec une concentration de 3,2564ppm. Par contre, pour les deux autres échantillons, le plomb n'a pas été détecté.

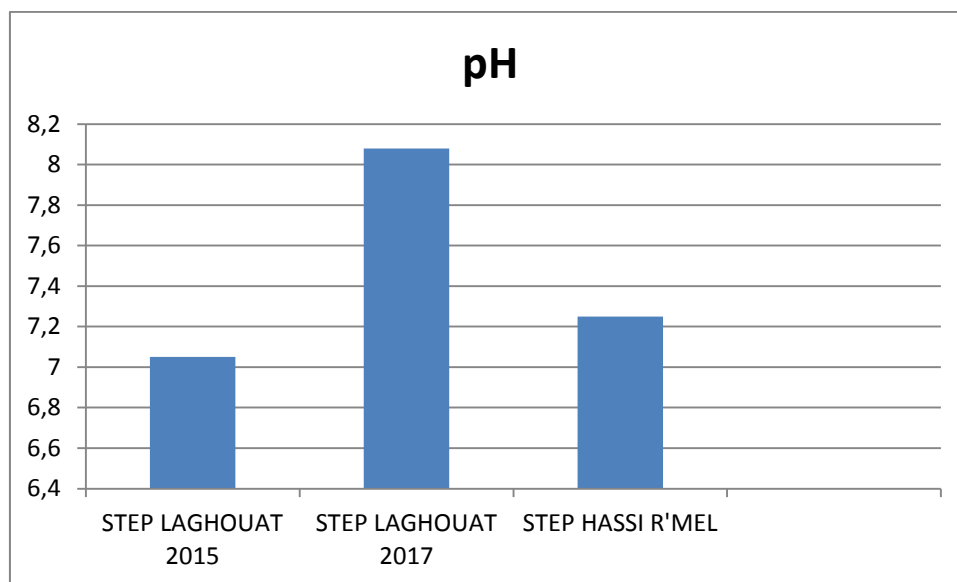
L'ordre des teneurs en métaux étudiés montrent des modèles différents d'une station à l'autre : au niveau de la STEP-H l'ordre est le suivant : Fe>Cu > Pb, au niveau de la STEP-L l'ordre est le suivant : Fe>Cu > Pb, Ceci reflète la nature et les apports des rejets dans chaque station.

Dans notre étude les teneurs moyennes en éléments traces métalliques sont largement inférieures aux normes et ne dépassent pas les niveaux autorisés conformément aux résultats de (JEMALI *et al.*, 1998 ; GUERFI, 2012 ; SOUDANI, 2017)

Quant à l'absence des autres éléments dans nos échantillons : chrome, cadmium, nickel, cobalt. Cela pourrait être expliqué, d'une part, par le fait que le protocole expérimental d'extraction est inadéquat à des valeurs qui seraient probablement extrêmement faibles. Il faudrait peut-être augmenter le poids de MS de boue pour le même volume d'extraction, de manière à permettre la détection par SAA.

D'autre part, cela pourrait être attribué à l'absence d'une activité industrielle accrue dont les déchets déversent dans les deux stations et qui pourraient approvisionner la boue en ces éléments traces métalliques.

#### 4. Le pH



**Figure 22** : Mesure du pH au niveau des deux sites de prélèvement

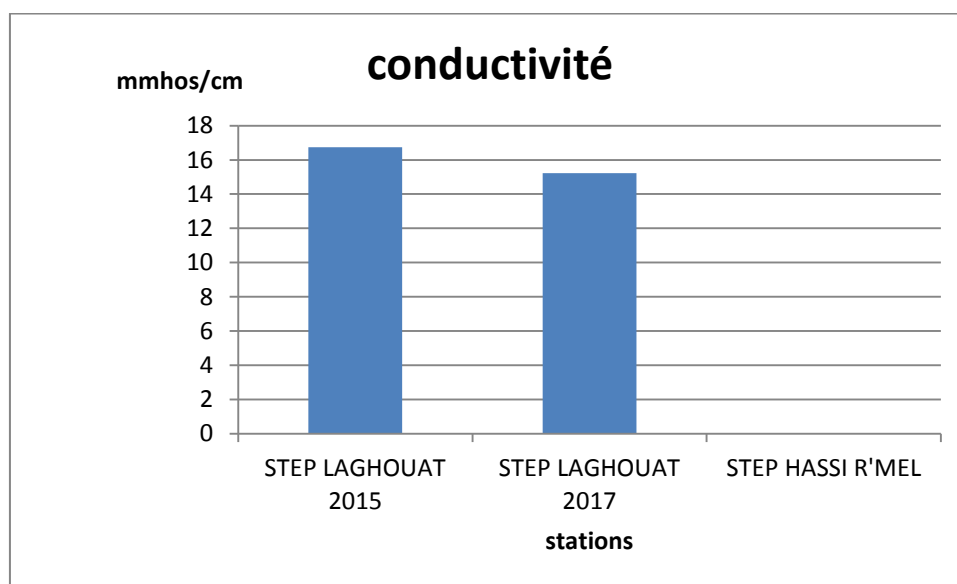
Les résultats trouvés montrent que les valeurs du pH varient entre 7.05 et 8.08. Le pH de la boue produite en 2017 à la STEP-L est légèrement alcalin (8.08) et présente la valeur la plus élevée. Les deux autres échantillons ont un pH sensiblement neutre, 7.07 pour la boue prélevée dans la STEP-L et 7.25 pour la boue prélevée à la STEP- H.

Nos résultats sont en accord avec la majorité des résultats obtenus dans le cadre de travaux qui ont été menés dans ce sens, notamment ceux de (GUERFI, 2012 ; SOUDANI, 2017).

En effet, généralement le pH des boues résiduares est compris entre 6 et 8, et le plus souvent neutre ou légèrement alcalin (RAMDANI, 2007 ; SOUDANI, 2017).

MURILLO (2004) explique l'augmentation du pH, comme il est le cas pour nous en 2017 comparativement avec 2015, que ça pourrait en partie être due à une volatilisation de composés acides ou de CO<sub>2</sub> dissous. De plus, (MORGAN et al., 1990) ont expliqué cette augmentation par la désorption de protéines qui présentent des groupes carboxyles.

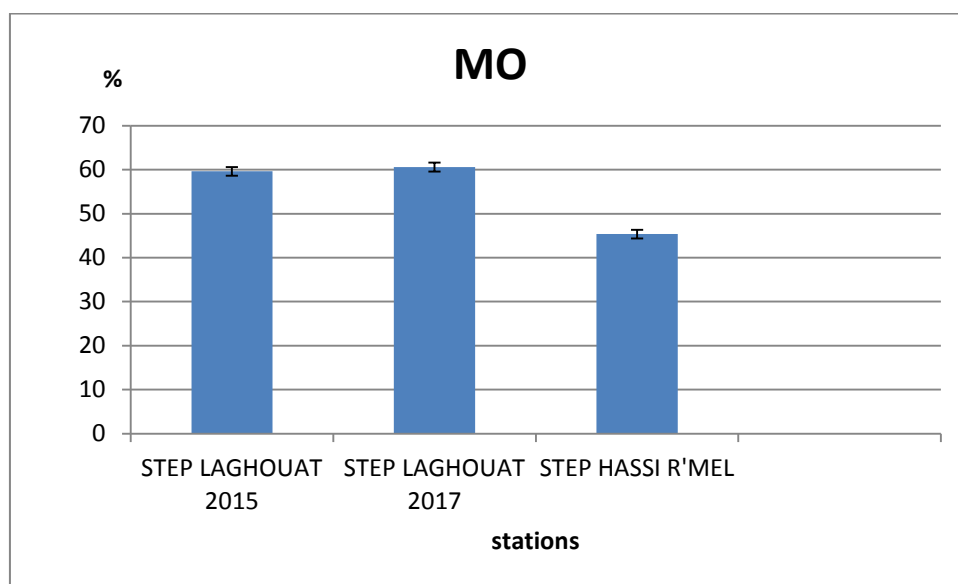
## 5. La conductivité électrique



**Figure23** : Mesure de conductivité au niveau de deux sites de prélèvement .

La figure 23 illustre que les valeurs de la conductivité électrique de la boue résiduaire produite en 2015 et en 2017 au niveau de la STEP-L sont de l'ordre de 16.745 mmhos/cm et 15.225 mmhos/cm respectivement, ce qui indique que les boues sont salines. En effet, d'après (BAIZE, 2000), une boue dont la CE est supérieur à 10 mmhos/cm est fortement salée. Cela présenterait donc un risque sur les plantes cultivées en cas d'épandage de la boue sur terres agricoles. Contrairement, la conductivité de la boue résiduaire produite en 2017 au niveau de la STEP- H est estimée à environ 0.0357 mmhos /cm ce qui explique que cette boue n'est pas salée (DIEHL, 1975). Des résultats similaires ont été obtenus par SOUDANI en 2017.

## 6. La matière organique



**Figure 24** : Le taux de matière organique

Nos résultats indiquent que la boue résiduaire est très riche en MO. En effet, le taux le plus faible (44%) était relevé dans l'échantillon prélevé à la STEP-H en 2017. Tandis que dans les boues prélevées à la STEP-L les taux de MO étaient de 59% en 2015 et de 60% en 2017. Ce qui explique leur origine urbaine, ces résultats montrent une diminution du taux d'extrait rapporté à la quantité de boue pour les trois échantillons. Ces constats nous permettent entre autre de dire que l'utilisation de cette boue serait bénéfique pour les terres agricoles en apportant un amendement naturel et en améliorant les propriétés structurales des sols dans notre région.

Les apports de boues d'épuration vont permettre d'accroître les sources en MO dans le sol et donc enrichir ce dernier en carbone organique. Les composés organiques présents dans les boues vont permettre d'améliorer certaines propriétés du sol telle que la porosité ou la structure (SOMMERS, 1977 ; PAGLIAI et VITTORI ANTISAR, 1993). Pour des sols particuliers (en conditions semi-arides), l'apport de boues augmente de façon importante les teneurs en MO, en azote, en carbone organique des sols, et améliore le niveau de la porosité et le taux d'humidité du sol (NAVA et al., 1998).

Toutefois il serait judicieux de penser à diminuer la teneur en sels des boues résiduaire de la STEP-L et STEP-H avant de les utiliser en épandage afin d'éviter d'accentuer les problèmes de salinités qui existent déjà dans les sols de la wilaya de Laghouat.

# Conclusion

### CONCLUSION

L'eau constitue l'élément majeur du monde minéral et biologique. Notre travail avait pour but principal de confirmer la possibilité de valorisation des boues résiduelles produites à Bordj Snouci et à Hassi R'mel le domaine agriculture.

Nos résultats ont montré que les boues résiduelles étudiées ne présente pas une toxicité par les métaux lourds. En effet, nos échantillons étaient exempts des éléments suivants : Nickel, cobalt, cadmium et chrome. Les concentrations en fer, cuivre et plomb étaient conformes aux normes **AFNOR (1985)**.

Quant à la qualité physicochimique des boues, elles s'avèrent d'une assez bonne qualité mis à part qu'elle présente une salinité élevée.

Au terme de cette étude, nous concluons que les boues produites dans les deux stations peuvent être valorisées dans le domaine de l'agriculture par exemple et réintégrées dans l'écosystème sans présenter pour autant un risque écologique. Toutefois, il serait très important d'améliorer la salinité de la boue produite à la STEP-L.

En perspectives, il serait intéressant d'utiliser des protocoles d'extraction spécifiques à chaque élément trace afin d'assurer plus de précision dans les résultats. De plus, investiguer la présence d'autres métaux lourds que nous n'avons pas pu doser dans la présente étude.

# **Références**

## **Bibliographiques**

### A :

- **ABDELKADER. G.( 1984)**, Tom1. « Épuration biologique des eaux usées ».
- **ABIBSINADJET. (2011)**, réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (phytoépuration ) pour l'irrigation des espaces verts application á un quartier de la ville de Biskra. Université Mohamed khider – Biskra.
- **ADEME.( 1997)**, Le Compostage des Déchets Organiques Municipaux, mars
- **ADEME.( 2001)**. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture - dossier documentaire. p. 30 .
- **ADRIANO, D.C. (2001)**, Trace elements in terrestrial environments: Biochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, New York.
- **AFNOR .(1999)**,La Filière des Boues
- **ALEXANDRE D( 1979)**, Valorisation des boues, utilisation en agriculture.
- **ALLOWAY, A.( 1995)**. Heavy metals in soils. Edition blackieacademic&professional, 368 p.
- **ALMENDROS, G, GUADALIX M.E, GONZALEZ-VILA F.J, MARTIN F.(1996)**. Preservation of aliphatic macromolecules in soil humins. Org. Geochem. 24, 6/7, 651-659.
- **AMIR.( 2005)**, Contribution à la valorisation des boues de la station d'épuration par compostage: devenir des micropolluants métalliques et organiques et billon humique du composte. Thèse, doctorat, Maroc,341p.
- **AMORCE.(2012)**, Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination, Association au carrefour des collectivités territoriales et des professionnels p. 36.
- **ANONYME. (2004)**- Dictionnaire Larousse.
- **ANRED.( 1982)**, La valorisation agricole des boues de la station d'épuration .Cahier technique.63p.

### B :

- **BAIZE D.( 2000)**, Guide des analyses en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. Edition I.N.R.A, Paris, France.

- **BAIZE, D. (1997)**, Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France): Références et stratégies d'interprétation. Programme ASPITET. Editions Quae.
- **BAUMONT S. CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. (2004)**, Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p .
  - **BELAID N .(2010)**, Thèse doctorat Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques.
- **BENSLAMA, M., ZANACHE H.(1998)** ,Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes des sols du complexe humide d'El-Kala, NordAlgerien). « Cas des station d'El-Khoubzi, Righia et Lac Noir ».
- **BERNHARD, M. (1977)**, Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique : 3ème partie échantillonnage et analyse du matériel biologique, FAO. Document technique sur les pêches N158 ; 1397.
- **BERTHELIN, J. BOURRELIER, P H. (1998)**, Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences. Rappel n°42. Technique et documentation.
- **BLANDEAU ,( 1985)**, Le traitement centralisé des boues. Ed T.S.M l'eau, n°6, Paris, p231-242.
- **BONNINJ, (1977)**,« Hydraulique urbain », 5ème édition Eyrole Paris, 228p.
- **BOUMEDIENE MOHAMMED EL AMIN. (2013)**, bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration a boues activées : cas de la stepain el houtz. Universite Abou Bekr Belkaid. Telemcen.
- **BROME V. LEFEVRE.(1967)**,Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduelles des stations d'épuration. Sc du sol, Bull Afes3. 125-140.
- **BROME.( 1986)**, Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaine. Série documents techniques A.F.E.E. France.
- **BRIERE F.G. (1994)**. Distribution et Collecte des eaux Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal.
- **BROUZES S., CHAUVIERE F.( 2009)**,Etude du devenir de micropolluants organiques issus des boues de station d'épuration. Rapport de projet de 3ème année en Sciences de l'Environnement, AgroParisTech, Paris, 44 p.

**C :**

- **CHANG, A.C., GRANATO, T.C, PAGE, A.L. (1992).** A methodology for establishing phyto-toxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. *J. Environ. Qual.*, 21, 521–536 .
- **CRIPPS, R.W, WINFREE, S.K, REAGAN, J.L.( 1992).** Effects of sewage sludge application method on corn production. *Commun. SoilSci. Plant Anal.* 23, 1705–1715.

**D :**

- **DAJOZ, R. (1985)** ,Précis de pédologie. Ed. Bordas. Paris. Dunod Université.p 331.
- **DESJARDINS R. (1997),** Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303p .
- **DUCHENE(1990),** Les systèmes de traitements des boues de stations d'épuration des petites collectivités. TEC et DOC, 1<sup>ère</sup> éd, éd CEMAGREF. Paris, 30P.

**E :**

- **ECKENFELDER W.W (1982),** Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Lavoisier. Paris, 503p.
- **ECRIN.(2000).** Que faire des boues ? (Whatdoingwithsludge?), Club Environnement et société. December 2000 - [www.ecrin.asso.fr](http://www.ecrin.asso.fr).
- **EDLINE F. (1979),** L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.
- **EMILLIAN K. (2004)-** Traitement des pollutions industrielles Eau, Air, Déchets, Sol, Boues.

**F :**

- **FABY J.A., BRISSAUD F. (1997),** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 p.

**G :**

- **GAID A. (1984),** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I, édition OPU, Alger, 261p.
- **GAMARASNI M A.( 1984),** Utilisation agricole des boues d'origines urbaines. Source. Paris (F.R).A F E E, 128p.

- **GAMRASNI, M.A.(1979)**, *Utilisation agricole des boues d'origine urbaine*. édit Lavoisier tec&doc.
- **GARREC, N, PICARD-BONNAUD, F, POURCHER, A.M.( 2003)**. Occurrence of *Listeria* sp. and *L. monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 35, 3, 275-28.
- **GROSCLAUDE G. (1999)** , *L'eau milieu naturel et maîtrise*. Ed INRA, Paris 1999 tome I.
- **GROSCLAUDE G. (1999)** , *L'eau milieu naturel et maîtrise*.Ed INRA, Paris 1999 tome I.
- **GUIVARCH A.( 2001)** , *Valeur fertilisante à court terme du phosphore des boues de stations d'épuration urbaines*. Thèse Présentée pour obtenir le titre de Docteur de l'INPL, Spécialité Sciences agronomiques.275p.
- **GUY ATLAN M.(2003)**, *Les boues d'épuration leurs perspectives de gestion en Ile de France*. Thèse, doctorat, Paris, 128p.

### **I :**

- **INOUE, S. SAWAYAMA, S. OGI, T., YOKOYAMA, S -Y. (1996)**. Organic composition of liquidized sewage sludge. *Biomass and Bioenergy*, 10, 1, 37-40.
- **ISO.( 1986)**, *Qualité de l'eau : Dosage du Cobalt, Nickel, Cuivre, Zinc, cadmium et Plomb- méthodes par spectrométrie d'absorption atomique*. Suisse : ISO 8288.

### **J :**

- **JAMONET B.( 1987)**, *Le traitement des boues résiduares*. Univ des sciences de langue doc, Montpellier, 10p.
- **JARDE E.( 2002)**, *Composition organique des boues résiduares des stations d'épuration lonaines ; caracterisation moléculaire et effets de la biodegradation*. Thèse, doctorat. Univ. Henri poincaré, Nancy I en science de l'univers, 286P.
- **JARDE, E., MANSUY, L., FAURE, P.( 2003)**, *Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS)*. *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 68-69, 331-350.
- **JAROSZ J. (1985)**, *Le traitement des boues des stations d'épuration, centre de formation et de documentation sur l'environnement industriel*, Paris06-France.
- **JEMALI A, SOUDI B, & BERDAI H.(1998)**, *Valorisation agricole des boues résiduares: Valeur fertilisante et leur Impact sur les sols* ,16p.

- **JEMALIA, SOUDI B., & BERDAI H. (1998)**, Valorisation agricole des boues résiduelles: Valeur fertilisante et leur Impact sur les sols. Proceeding of 13th International Congress on Agricultural Engineering. Vol I: Land and Water Use. Rabat 16,10-14.

### **K :**

- **KABATA, A., & PENDIAS, H. (2001)**, Trace elements in soils and plants. CRC Press, London.
- **KAKII K., KITAMURA, S. SHIRAKASHI, T. KURIYAMA, M. (1986)**. Comparison of mucilage polysaccharides extracted from sewage activated sludge. J. Ferment. Technol., 64, 1, 51-56.
- **KLÖPFER, W. (1996)**. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. Chemosphere, 33, 1067-1081.
- **KOLLER E. (2004)**, Traitement des pollutions industrielles: Eau. Air. Sols. Boues. Ed. Dunod, 424p
- **KORMANIK R.A. (1977)**, Technologie transfer seminar on sludge handling and disposal.

### **L :**

- **LARNER, B; SEEN, A. (2006)**, Townsend. Comparative study of optimized BCR sequential extraction scheme and acid leaching of elements in the certified reference material NIST 2711, J. Analytica Chimica Acta. 444-449.
- **LEGA, R., LADWIG, G., MERESZ, O, CLEMENT, R.E, CRAWFORD, G, SALEMI, R., JONES, Y. (1997)**. Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS. Chemosphere, 34, 1705-1712.
- **LEGUBE B. (1996)**, « le traitement des eaux superficielle pour la production d'eau potable », agence de l'eau loir – Bretagne.
- **LOUE, A. (1993)**, Oligo-éléments en agriculture. Ed. Nathan, 45-177.

### **M :**

- **MATHIAN R. (1986)**, Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. I.R.C.H.A, documents techniques.
- **MCBRIDE, M.B. (2003)**, Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? Advances in Environmental Research, 8, 5-19.

**O :**

- **OUALI M. (2002)**, Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Ed I.S.B.N, Alger, 156p.

**P :**

- **PEREZ, S, FARRE, M, GARCIA, M.J, BARCELO, D.( 2001)**, Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge and their contribution to its toxicity in the ToxAlert @100 bioassay. *Chemosphere*, 45, 705-712.
- **PINTA.M. (1980)**, Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Paris, Masson, 2<sup>ème</sup> édition, 2 p696.
- **PRESCOTT, HARLEY ET KLEIN. (2007)**-Microbiologie. 2<sup>ème</sup> Edition de Boeck, Paris, pp 837-855.

**R :**

- **Ramade F. (2000)**, Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.
- **REJSEK F. (2002)**, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France. 340p
- **RODIER J., BAZIN C., BOURTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L. (2005)**, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod, Paris. 8<sup>ème</sup> édition, 1383p.

**S :**

- **SAHLSTRÖM, L, ASPAN, A, BAGGE, E, THAM M.L.D, ALBIHN, A.( 2004)**, Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water Research*, 38, 1989-1994.
- **SBIH M.( 1990)**, Etude de la biodégradation des boues résiduaires de station d'épuration : effet sur la biodisponibilité du phosphore pour le végétal. Mém. DEA, INAPG et INRA.
- **SINGH, K.P, MOHAN, D, SINHA S, DALWANI, R.(2004)**, Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, 55, 227–255.
- **SU, D.C, WONG, J.W.C, JAGADEESAN, H. ( 2004)**, Implications of rhizospheric heavy metals and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil. *Chemosphere*, 56, 10, 957-965.

**T :**

- **THOMAZEAU R.( 1981)**, Station d'épuration, eau potable, eaux usées. Précis théorique et technologique. 435p.

**V :**

- **VAILLANT J.R. (1974)**, Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
- **VEDRY B.(1975)**, L'analyse écologique des boues activées. SGETEC.

**W :**

- **Warman, P.R., Termeer, W.C.** Evaluation of sewage sludge, septic waste and sewage sludge compost applications to corn and forage: Yields and N, P, and K content of crops and soils. Bioresour. Technol., in press.
- **WERTHER J., OGADA T. (1999)**, Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science. 25: 55–116.

**Z :**

- **ZEBARTH, B.J, MCDOUGALL, R, NEILSEN, G, NEILSEN, D.(2000)**. Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. Can. J. Plant Sci. 80, 575–582.

## Résumé:

Cette étude vise en premier lieu à l'analyse toxicologique et physicochimique de la boue résiduaire urbaine produite par la STEP de Laghouat en 2015 et en 2017 et la STEP de Hassi R'mel en 2017, par le dosage des métaux lourds par SAA et la matière organique d'une part et par la mesure de quelques paramètres physico-chimiques notamment le pH et la conductivité électrique. Les résultats de l'analyse des échantillons de la boue résiduaire montrent que les concentrations moyennes du fer, du cuivre et du plomb sont largement inférieures aux normes AFNOR, 1999 et ne dépassent pas les niveaux de contamination autorisés pour de potentielles utilisations. Cette étude confirme que la boue résiduaire peut être valorisée, utilisée et recyclée dans un but écologique, agronomique ou en encore industriel sans porter préjudice à l'environnement.

**Mots clés:** Eaux usées, Epuration, boue résiduaire, métaux lourds, toxicité, SAA.

## Abstract

This study aims primarily at the toxicological and physical analysis of the urban waste from the water treatment plant of Laghouat in 2015, 2017 and the one of HASSI R'MAL in 2017, by measuring the heavy metals by SAA and organic materials on the one hand, and measuring some physical and chemical parameters including In that pH and electrical conductivity. The results of the analysis of the samples of the sludge show that the average concentrations of iron, copper and lead are well below the AFNOR standards, 1999 and do not exceed the levels of contamination authorized for potential uses. this study confirms that waste sludge can be recovered, used and recycled for ecological, agronomic or industrial purposes without harming the environment.

**Key words:** Wastewater, treatment, waste sludge, heavy metals, toxicity, SAA.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة في المقام الأول إلى التحليل السمي والفيزيائي الكيميائي لحمأة النفايات الحضرية الناتجة عن محطة معالجة المياه الاغواط في عام 2015 و 2017 وحاسي الرمل في عام 2017 ، من خلال قياس المعادن الثقيلة من قبل SAA و المواد العضوية من جهة ، وقياس بعض المعايير الفيزيائية الكيميائية بما في ذلك الرقم الهيدروجيني والتوصيل الكهربائي. وتبين نتائج تحليل عينات الحمأة أن متوسط تركيزات الحديد والنحاس والرصاص أقل بكثير من معايير AFNOR 1999 ولا تتجاوز مستويات التلوث المأذون بها للاستخدامات المحتملة. تؤكد هذه الدراسة أنه يمكن استعادة حمأة المخلفات واستخدامها وإعادة تدويرها لأغراض بيئية أو زراعية أو صناعية دون الإضرار بالبيئة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي ، المعالجة ، حمأة النفايات ، المعادن الثقيلة ، السمية ،

SAA