

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Domaine: Sciences de la Nature et la Vie (S.N.V)

Filière : Sciences Ecologiques

Option : Ecologie Végétale et Environnement

THÈME

**Contribution à l'étude de la dynamique de quelques métaux
lourds dans la végétation spontanée au niveau des lits de séchage
dans la station d'épuration de Bordj Senouci-Laghouat**

Présenté par :

Hayat BENGUIT et Soumia MACHA

Devant le jury :

Présidente : Mr. Farouk BENACEUR

Examineur : M^{dm}. Ouarda AMRANI

Rapporteur: Mr. M^{ed} A /madjid BOUMEDDIENE

Co- Rapporteur: M^{elle} Amira ABDESSELAM

- MAA-UAT-Laghouat

-MAA- UAT-Laghouat

- M.A.A-UAT-Laghouat

- MAB-UAT-Laghouat

Année Universitaire 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

A ma mère qui m'accompagne partout par ses prières que Dieu me la garde, et témoignage de mon amour infini : je t'offre ce modeste travail.

A mes sœurs : Houria, Malika, Mbarka, , Amel.

A mes frère : Bouzed , Abdelkader, Ahmed, Aissa

A ma collègue «Macha Soumia » qui a partagé avec moi la difficulté de ce travail.

Je veux la remercier ici pour les souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble.

A mes très chères amies :

Sarah , Fatima, Rabab, Bachir

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes professeurs.

Hayat BENGUIT.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

*A mes parents en reconnaissance de tous les sacrifices consentis pour me permettre
d'atteindre cette étape de ma vie.*

*A ma mère qui m'accompagne partout par ses prières que Dieu me la garde, et témoignage
de mon amour infini : je t'offre ce modeste travail.*

A mes sœurs : Aicha, Maseouda, Malika, Khadidja, Zineb.

A mes frère : Mohammed, Ali

*A ma collègue «BenGuit Hayat » qui a partagé avec moi
la difficulté de ce travail.*

*Je veux la remercier ici pour les souvenirs de tous les moments que nous avons passé
ensemble.*

A mes très chères amies :

Meriem, Lamaria, Rahema, Hania.

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes professeurs.

Soumia MACHA.

Remerciements

Nous remercierons avant tous, Dieu le tout puissant pour la volonté et la santé qu'il nous a donné durant toutes les longues années d'études afin que nous puissions arriver la.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur BOUMEDIENNE A. madjid, et co-encadreur Mme ABD SELLAME Amira pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail. Pour votre encadrement, votre enseignement, vos précieux conseils et votre disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de la partie expérimentale et spécialement :

-A tout le personnel du Laboratoire de biologie de nous avoir mis à notre disposition le matériel nécessaire.

Un grand merci à tous nos enseignants de l'université « Ammar Theldji » pour leur assistance, leurs encouragements et leurs conseils.

Nous remercions le nombre de jury pour avoir accepté de présider et examiner ce mémoire. Enfin, nous remercions chaleureusement nos camarades pour l'ambiance agréable passée ensemble.

LISTE DES FIGURES

Figure I- 1 Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (ADEM 2010).	7
Figure I- 2 le dégrillage STEP de Laghouat (photo original ,2018).....	8
Figure I- 3 le dessablage STEP de Laghouat (Photo originale, 2018).....	9
Figure I- 4 le déshuilage STEP de Laghouat (Photo originale, 2018).....	10
Figure I- 5 La décantation STEP de Laghouat (Photo personnelle, 2018).....	10
Figure I- 6 Coupe longitudinale d'un décanteur (AMIR 2005).	11
Figure I- 7 Le traitement biologique STEP de Laghouat (Photo Originale, 2018).	12
Figure I- 8 Un lit de séchage STEP de Laghouat (Photo originale, 2018).	19
Figure I- 9 Les différentes techniques de phytoremédiation (Sourzat, 2016).	30
Figure II 1 Localisation de la STEP-L (Google Earth,2018) .	36
Figure II 2 La déshydratation des échantillons dans l'étuve (Originale, 2018).....	39
Figure II 3 broyages des échantillons (Originale, 2018).	39
Figure II 4 incinération des échantillons (Originale, 2018).	40
Figure II 5 Minéralisation des échantillons par voie humide (Originale, 2018).	41
Figure II 6 l'évaporation à sec (Originale, 2018).	41
Figure II 7 la filtration des échantillons (Originale, 2018).	42
Figure II 8 Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.	44
Figure II 9 A gauche : Spectrométrie d'absorption atomique (SAA), à droite lecture de valeurs sur écran (Originale, 2018).	45
Figure III- 1 <i>Malva sylvestris</i>	47
Figure III- 2 <i>Chenopodium album</i>	49
Figure III- 3 <i>Amaranthus hybridus</i>	50
Figure III- 4 <i>Sisymbrium irio L.</i>	52
Figure III- 5 <i>Hordeum murinum</i>	53

Figure III- 6 Concentration en Fer (mg /g) des différentes plantes.....	54
Figure III- 7 concentration en cuivre des différentes espèces.....	55
Figure III- 8 concentration en plomb des différentes espèces.....	55
Figure III- 9 concentration des métaux lourds de l'espèce <i>Chenopodium album</i>	56
Figure III- 10 concentration des métaux lourds de l'espèce <i>Malva sylvestris</i>	57
Figure III- 11 concentration des métaux lourds de l'espèce <i>Sisymbrium irio l.</i>	58
Figure III- 12 concentration des métaux lourds de l'espèce <i>Amaranthus hybridus</i>	59
Figure III- 13 concentration des métaux lourds de l'espèce <i>Hordeum murinum</i>	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- 1 Composants majeurs typique d'une eau usée domestique (FABY, 1997).	6
Tableau I- 2 Valeurs limites de concentration micropolluante métalliques dans les boues (mg kg-1 de matière sèche) autorisées pour leur valorisation en agriculture (BROUZES et CHAUVIERE, 2009).	16
Tableau I- 3 Les opérations de traitement des boues (DUCHENE, 1990).	17
Tableau I- 4 Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (OTHMER, 1995).	24
Tableau I- 5 Impact de certains métaux lourds sur l'Homme, les animaux et les végétaux (EL ASRI, 2009).	28
Tableau I- 6 Avantages et inconvénients de la phytoremédiation (Bert, 2012).	33
Tableau I- 7 les articles scientifiques sur la phytoremédiation.	34
Tableau II 1 Liste de l'appareillage, matériel et réactif utilisés.....	38

LISTE DES ABREVIATIONS

% : pourcentage.

Cd : cadmium.

Cr : chrome.

Cu : cuivre.

DBO : demande biochimique en oxygéné.

ERU : eaux résiduaires urbaines.

ETM : élément trace métallique.

Fe : Fer.

g : gramme.

HClO₄ : Acide perchlorique.

HF : Acide fluorhydrique.

Hg : mercure.

ml : millilitre.

Ni : nickel.

ONAS : office national de l'assainissement.

Pb : plomb.

Ppm : partie par million.

PH : potentiel hydrogène.

SAA : Spectrométrie d'absorption atomique.

STEP : station d'épuration.

STEP-L: station d'épuration de Laghouat

Zn : zinc.

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TALEAUX	IV
LISTE DES ABREVIATION	V

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
--------------	---

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LES EAUX USEES	4
I.1. DEFINITION DES EAUX USEES	4
I.2. ORIGINES DES EAUX USEES	4
I.3 COMPOSITION DES EAUX USEES	5
II. PROCEDES D'EPURATION DES EAUX USEES	7
II.1. LES TRAITEMENTS D'EPURATION DES EAUX USEES	7
II. 2. FORMATION DES BOUES	13
III. METAUX LOURDS	22
III.1. DEFINITION	22
III.2. CLASSIFICATION DES METAUX LOURDS	22
III.3. ORIGINE DES METAUX LOURDS	23
III.4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES METAUX LOURDS	24
III.4.1. PLOMB (Pb)	24
III.4.2. ZINC (Zn)	24
III.4.3. CADMIUM (Cd)	25
III.4.4. CUIVRE (Cu)	25
III.4.5. FER (Fe)	25
III.5. TOXICITE DES METAUX LOURDS	26
III.5.1. EFFETS DES METAUX LOURDS SUR L'ENVIRONNEMENT ET SUR L'HOMME	26
IV. LA BIOREMEDIATION	29
IV.1 LA PHYTOREMEDIATION	29
IV.1.1. DEFINITION	29
IV.1.2. LES TECHNIQUES DE PHYTOREMEDIATION	29
IV.2. QUELQUES TRAVAUX REALISES EN ALGERIE SUR LA PHYTOREMEDIATION	33

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

I. LA ZONE D'ETUDE	36
I.1. LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION D'EPURATION DE LAGHOUAT	36
I.2. LA FICHE TECHNIQUE DE LA STEP-L	37
II. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS	37
III. MATERIEL D'ETUDE	38
IV. PREPARATION DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE	38
IV.1. DESHYDRATATION	38
IV.2. BROYAGE DES PLANTES SECHEE DANS UN MORTIER A AGAT	39
IV.3. INCINERATION	40
IV.4. MINERALISATION ET MISE EN SOLUTION	40
IV.5. FILTRATION	42
V. DOSAGE DES METAUX LOURDS PAR LA SAA	42
V.1. DEFINITION	42
V.2. PRINCIPE	43
V.3. AVANTAGE	43
V.4. LIMITES DE LA METHODE	43
V.5. APPAREILLAGE	44

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. IDENTIFICATION DES PLANTES	47
1.1. DESCRIPTION ET POSITION SYSTEMATIQUE DES PLANTES ETUDIEES	47
1.1.1. <i>MALVA SYLVESTRIS</i>	47
1.1.2. <i>CHENOPODIUM ALBUM</i>	48
1.1.3. <i>AMARANTHUS HYBRIDUS</i>	49
1.1.4. <i>SISYMBRIUM IRIO L</i>	51
1.1.5. <i>HORDEUM MURINUM</i>	52

II. DOSAGE DES METAUX LOURDS	54
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	64

Résumé :

Notre travail a pour but d'étudier les espèces végétales présentes naturellement dans les lits de séchage de la station d'épuration de Bordj snouci dans une optique de retenir les espèces phytoremédiantes qui ont la potentialité de bio-accumuler les métaux lourds. Dans notre étude nous avons pu identifier cinq espèces *Malva sylvestris*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio L*, *Amaranthus hybridus* et *Hordeum murinum* sur lesquelles nous avons effectué le dosage par SAA des métaux lourds au niveau de la partie racinaire, la partie aérienne et les fruits.

Nos résultats ont montré la présence du Fe, Cu et Pb, avec un ordre croissant des concentrations Fe >Cu> Pb. Nous avons constaté que *Malva sylvestris* présentait les valeurs du Fe les plus élevées, qui étaient comprises entre 5,85 mg /g de MS dans la partie racinaire et 6,90 mg/g de MS dans la partie aérienne. Pour le Cu dans la partie aérienne, racinaire et au niveau du fruit, nous avons enregistré plus ou moins la même valeur 0,04(mg/g de MS). Le plomb a été trouvé uniquement dans l'espèce *Chenopodium album* avec une concentration nettement plus importante dans la partie racinaire 0,06 mg/g de MS comparativement à la partie aérienne 0,02 (mg/g de MS).

Les mots clé : Les métaux lourds, phytoremédiantes, SAA, Fe, Cu, Pb.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le problème des sols contaminés est aujourd'hui très préoccupant pour les pays émergents. Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le fer, et le nickel ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités : en agriculture par l'application de boues d'épuration.

L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (**WANG *et al.*, 2003**). A l'échelle microscopique, les métaux lourds ont aussi des effets néfastes sur les populations bactériennes, ce qui n'est pas sans conséquence sur le fonctionnement de l'écosystème. Ces dernières années, le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elle, la phytoremédiation, exploite les propriétés de certaines plantes à accumuler de grandes quantités de métaux lourds (**RUFUS *et al.*, 1997**, **SALT *et al.*, 1998**, **PRABHA *et al.*, 2007**).

La phytoremédiation présente de nombreux avantages : elle est viable économiquement car on peut exploiter les végétaux produits et récupérer les métaux à haute valeur ajoutée, et elle est compatible avec les politiques de préservation de l'environnement. Néanmoins la phytoremédiation comporte des limites : la croissance lente et la production faible de biomasse demandent un investissement en temps assez important et/ou en argent avec l'adjonction de chélateurs ou autres substances « starter » car la concentration et le type de métaux lourds influencent la phytotoxicité, et dans certains cas, la croissance des plantes peut être réduite (**SHAH *et al.*, 2007** ; **SALT *et al.*, 1998** ; **SINGH *et al.*, 2003**).

De cet objectif se dégagent une question scientifique majeure et d'actualité sur laquelle s'appuie notre travail :

Les plantes spontanées présentes naturellement dans les lits de séchage des boues ont-elles une faculté bioaccumulatrice des métaux lourds ?

Ce travail s'organise en trois chapitres :

- Un premier chapitre consacré à une synthèse bibliographique, qui traite des généralités sur les eaux usées, les étapes du procédé d'épuration à boues activées, et la phytoremédiation,
- Le deuxième chapitre est consacré au matériel utilisé et à la méthodologie adoptée,
- Un troisième chapitre durant lequel les résultats et leurs discussions relatives sont présentés,
- Et enfin, nous clôturons avec une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I :
SYNTHESE 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 sortes 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 toutes 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 I- 1 Composants majeurs typique d'une eau usée domestique (**FABY, 1997**).

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

(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): DBO₅ 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).

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 (Figure I- 1) (BRIERE, 1994).



Figure I- 1 Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (ADEM 2010).

II.1. Les traitements 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) (Figure I- 2) (**PRESCOTT et al, 2007**).



Figure I- 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 ($1250\text{m}^3/\text{h}$ 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 (Figure I-3) (GAMRASNI, 1979).



Figure I- 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 (Figure I- 4) (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 I- 4 le déshuilage STEP de Laghouat (**Photo originale, 2018**).

II.1.1. 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) (**Figure I- 5**) (**KORMANIK, 1977**).



Figure I- 5 La décantation STEP de Laghouat (**Photo personnelle, 2018**).

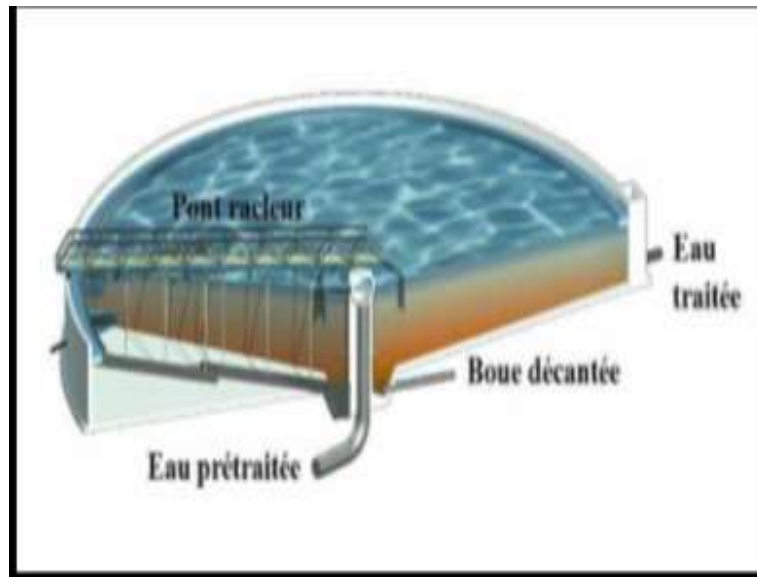


Figure I- 6 Coupe longitudinale d'un décanteur (AMIR 2005).

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).

II.1.2. 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 floes plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (Figure I- 7) (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 I- 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 (zoogée) qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau e présence de l'oxygène, de l'air, le film croit 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**).

d. 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).

e. Les traitements physico-chimiques :

Les eaux prétraitées sont additionnées de réactifs chimiques, floculant 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 floculant (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).

II. 2. Formation des boues :

Le traitement des eaux usées en station d'épuration produit une eau épurée, rejetée dans le milieu naturel et une concentration désigne sous le terme de " boue" ou " boue résiduaires "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.

II.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).

II.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 recirculée 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).

II.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 (Tableau I 2) (LEGA ET al, 1997; PEREZ et al., 2001).

Tableau I- 2 Valeurs limites de concentration micropolluante métalliques dans les boues (mg kg-1 de matière sèche) autorisées pour leur valorisation en agriculture (BROUZES et CHAUVIERE, 2009).

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

II.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 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 (Tableau I 3) (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 physiques, 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 I- 3 Les opérations de traitement des boues (DUCHENE, 1990).

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

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 valorisée (**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 1m² pour 4 à 5 habitants raccordés (Tableau I- 8) (**JAMONET, 1987**).



Figure I- 8 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 évacuer 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 agricole : 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).

II.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

III.1. Définition :

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. 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.cm³ (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).

III.2. Classification des métaux lourds :

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).

III.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**).

III.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**).

III.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 I- 4 Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement (OTHMER, 1995).

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

III.4. Caractéristiques générales des métaux lourds :

III.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).

III.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 diverse formes : ion hydraté ($Zn(H_2O)_{2+n}$), zinc complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) et adsorbé sur de la matière solide (CASAS, 2005 ; NOPPE, 1996).

III.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).

III.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 (> 80 mg/kg) seraient observées dans les roches magmatiques basiques riches en minéraux ferromagnésiens.

III.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).

III.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**).

III.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 (Tableau I- 5) (**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 vivants 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 dérangent 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 I- 5 Impact de certains métaux lourds sur l'Homme, les animaux et les végétaux
(EL ASRI, 2009).

Métal	Forme	Impacts écologiques	Impact sur l'Homme
Pb	En suspension Dissous Pb ⁺²	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité aigüe dès 0,1mg/L chez les algues et poissons. • Effet sur la reproduction des poissons. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bioaccumulation • Saturnisme (atteinte neurophysiologique, troubles rénaux et cardio-vasculaires) • Hématopathie.
Cu	En suspension Dissous (Cu ⁺ et Cu ⁺²)	<ul style="list-style-type: none"> • Toxique à des doses inférieures à1 mg/L. • Diminution de l'activité photosynthétique. • Altération des branchies des poissons, retard dans leur ponte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gastro-entérites • Cirrhose de foie • Nécroses • Scléroses
Zn	Soluble Zn ⁺² Forme colloïdale	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicité aigüe pour le milieu aquatique à partir de quelques mg/L. • Perturbe la croissance des végétaux par détérioration de l'appareil chlorophyllien. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une atteinte du système nerveux • ZnCl₂ : irritation des muqueuses respiratoires et gastrointestinales,ulcérations cutanées • ZnO : eczémas, fièvres, lésions pulmonaires à forte dose.

IV. La bioremédiation :

La bioremédiation, c'est-à-dire l'emploi de procédés biologiques pour éliminer les polluants d'origine anthropogénique qui contaminent le cycle biogéochimique des substances naturelles, est une option avantageuse pour diminuer la pression exercée sur l'environnement. La bioremédiation consiste à utiliser des systèmes biologiques pour réduire le niveau de pollution. (GLAZER et NIKAIDO., 1995). Cette méthode, peu coûteuse, peut être appliquée in situ, sans excavation de la terre ni dommages au sol. Le procédé de la bioremédiation consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes, la plupart des temps microscopiques (bactéries, micro-algues, champignons), à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. (DUFRESNE., 2013).

Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivés au laboratoire puis réintroduits dans le sol. Il existe plusieurs méthodes de traitement biologique. Parmi celles-ci, il est possible de compter le bioréacteur, la phytoremédiation, le compostage, le landfarming, le biosparging, l'atténuation naturelle contrôlée, la barrière perméable réactive, ou encore l'électroremédiation. (DUFRESNE., 2013).

IV.1 La phytoremédiation :

IV.1.1. Définition :

La phytoremédiation est définie comme l'utilisation des plantes pour éliminer ou transformer les polluants en composés moins toxiques. Bien que les plantes soient utilisées depuis longtemps pour dépolluer les sols, d'importantes découvertes scientifiques réalisées au cours de ces dix dernières années ont contribué à améliorer le processus et à étendre son champ d'application. Elle peut être utilisée aussi bien contre les polluants organiques que les polluants inorganiques présents dans les milieux solides (sols), liquides (eaux de surface et souterraines) et gazeux (Chedly ABDELLY ,2006).

IV.1.2. Les techniques de phytoremédiation :

Elle comprend plusieurs techniques : La phytoextraction, La phytostabilisation, la phytovolatilisation, La Rhizofiltration et La phytodégradation (Selecdepol, 2013). Les différentes techniques sont représentées dans un schéma en (Figure I- 9).

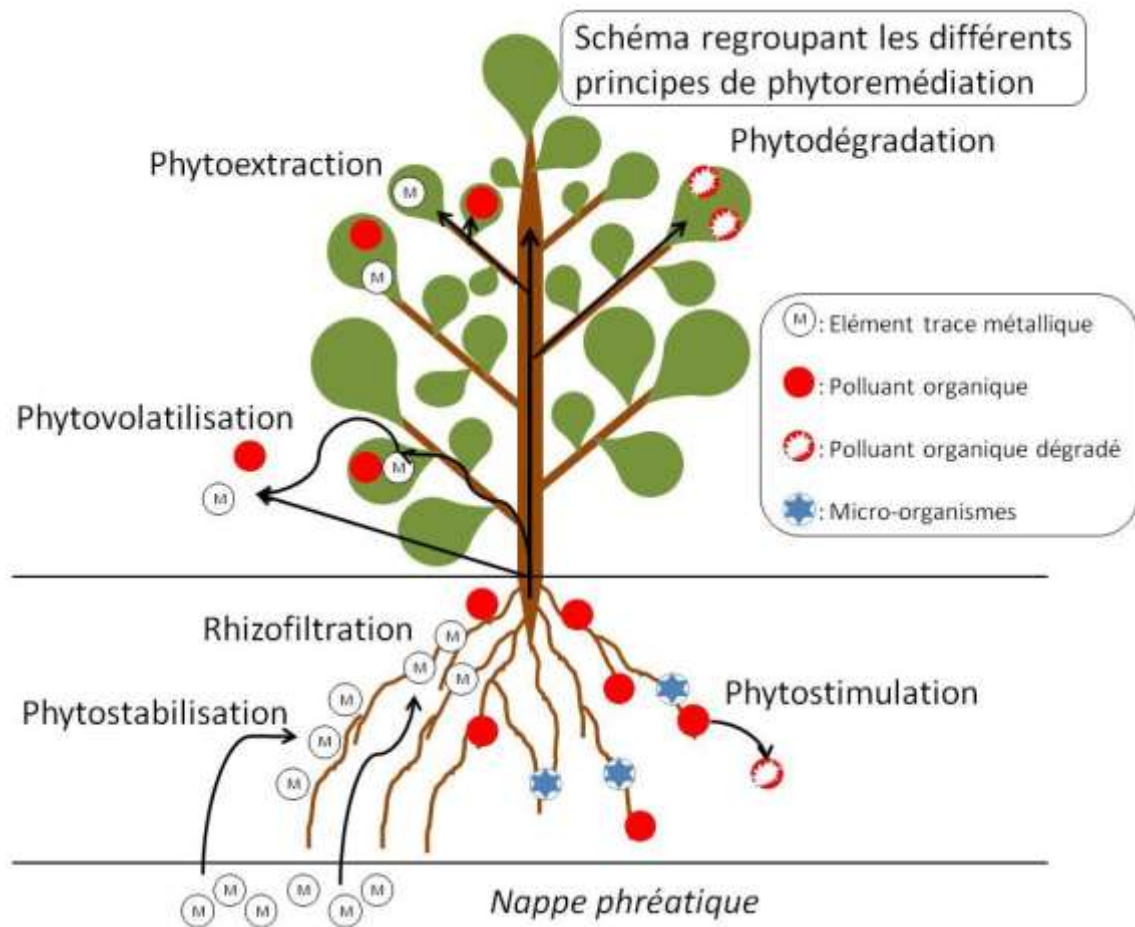


Figure I- 9 Les différentes techniques de phytoremédiation (Sourzat, 2016).

a. La phytoextraction :

La phytoextraction s'adresse aux sols moyennement à faiblement contaminés. Cette technique consiste à utiliser les capacités qu'ont certaines plantes accumulatrices ou hyperaccumulatrices à transférer via des transporteurs les métaux lourds des racines jusqu'à leur tissu foliaire dans le but d'extraire les polluants d'un sol contaminé. Les contaminants sont stockés dans la biomasse de la plante via la lignification et dans les vacuoles des cellules des feuilles. Après l'accumulation des contaminants par les plantes, celles-ci peuvent être récoltées et traitées. Le procédé est répété jusqu'à ce que l'abaissement du niveau de pollution du sol soit significatif (Bert et Deram 1999 ; Dechamp et Meerts, 2003 ; ADAM, 2010).

La phytoextraction est dite induite lorsqu'elle est assistée par chélateurs des métaux qui sont appliqués au moment où la production de biomasse est optimale. S'il n'y a pas d'utilisation de chélateurs, il s'agit de phytoextraction continue. Selon Jemal et Ghorbal (2002). Phytoextraction induite est la plus développée.

Pour le traitement de la biomasse produite, les auteurs évoquent souvent l'incinération et la valorisation énergétique. Les cendres, ou le biominéral, seraient stockées en centre d'enfouissement technique ou recyclées en métallurgie. En effet, pour certains métaux présentent un intérêt économique, comme le nickel, le thallium et les métaux précieux, le biominéral pourrait être purifié et les métaux recyclés (**Bert et Deram 1999 ; Dechamp et Meerts, 2003 ; INA P-G ,2009 ; ADAM ,2010**). Impens *et al.* (1991) évoquent la possibilité d'un biométhanisation de la biomasse préalable à l'incinération. La production de biodiesel et la gazéification sont également énoncées.

b. La phytostabilisation :

La phytostabilisation est une des techniques et phytoremédiation la plus éprouvée. Ce phénomène se produit souvent naturellement sur des sites contaminés laissés à l'abandon (**Dechamp et Meerts, 2003 ; ADEME ,2010**).

La phytostabilisation consiste en l'utilisation des capacités de la plante à adsorber les contaminants et stabiliser le sol via le système racinaire protégeant ainsi le sol de l'érosion par le vent et l'eau et réduisant les percolations d'eau travers le sol. Les plantes vont immobiliser les contaminants dans la zone racinaire par l'exsudation de composés chimiques par l'inhibition des protéines de transport dans les membranes racinaires et par le stockage des contaminants dans les vacuoles des cellules racinaires (**Bert et Deram 1999**).

La culture des végétaux tolérants aux métaux peut être précédée de l'incorporation d'amendements au sol tels que (**ADEME ,2010**) :

- des minéraux phosphatés.
- des amendements calciques.
- silicates purs ou associés.
- des oxydes ou des hydroxydes de Fer, Al et Mn.
- divers substrat organique.

Les amendements changent la forme chimique des contaminants dans le sol permettent la diminution de leur disponibilité et donc de leur toxicité. C'est ce que l'on appelle les techniques d'inactivation. Le choix de l'amendement ou de la combinaison d'amendement ainsi que du couvert végétal et réalisé de manière à ce que l'effet d'immobilisation soit durable (**Dechamp et Meerts, 2003 ; ADEME, 2010**).

c. La phytovolatilisation :

Cette technique utilise les plantes pour extraire les métaux lourds puis les éliminer par évapotranspiration via les stomates des feuilles ou les tiges. Parmi les métaux lourds, seuls le mercure et le sélénium sont adaptés à cette technique. La possibilité d'y inclure arsenic n'est pas écarté. Une fois volatilisés, les polluants se dispersent dans l'atmosphère à des concentrations qui, normalement ne représentent plus un danger pour l'homme. La phytovolatilisation présente également l'avantage de ne pas nécessiter de récolter de la biomasse puisque les contaminants sont dispersés dans l'atmosphère (**Bert et Deram 1999** **Dechamp et Meerts, 2003 ; Pilon-smits, 2005**)

d. La Rhizofiltration :

La rhizofiltration peut être définie comme étant l'utilisation des racines des plantes pour absorber, concentrer et /ou précipiter les composés dangereux, en particulier des métaux lourds ou les radionucléides (**Prasad, 2003**) d'un effluent liquide (**Koller, 2004**).

e. La phytodégradation :

La phytodégradation est une méthode de décontamination des sols, consistant en la dégradation des polluants par les plantes cultivées, les plantes peuvent croître sur un sol contaminé jusqu'à un certain seuil par des hydrocarbures (**Chaîneau, 1995**).

Elle emploie des plantes en association avec des microorganismes pour dépolluer les polluants organiques du sol. (**Vavasseur et al, 2003**).

Tableau I- 6 Avantages et inconvénients de la phytoremédiation (Bert, 2012).

Avantages	Inconvénients
En adéquation avec le développement durable	Accès aux polluants limité aux racines (moyenne de 50 cm et jusqu'à 1m50)
Différentes valorisations possibles : foncière, paysagère, métallurgie, énergie...	Durée de décontamination longue, de l'ordre de plusieurs années (2 à 20 ans)
Gestion in situ des terres : pas de transfert de sol	Entretien des végétaux
Couverture végétale : limite érosion, envol de poussières, lessivage, maintient et restaure une microflore et une microfaune	Risque de déstabilisation de l'écosystème local
Coûts dans la moyenne des autres techniques, compétitivité en fonction de la gestion et de la valorisation ou non des plantes	Hétérogénéité des polluants, concentrations parfois trop élevées
Traitement sur de grandes superficies	Dépendance aux facteurs abiotiques

Dans le Tableau I-6, les avantages sont essentiellement la possibilité d'une valorisation foncière, la gestion sur place des sols pollués et l'adéquation avec le développement durable. La mise en place d'un couvert végétal est aussi bénéfique pour le sol. Les inconvénients de cette technique sont liés à l'efficacité de dépollution et la résistance des végétaux face à la pollution du sol.

Afin d'aider les différents processus de phytoremédiation, des amendements peuvent être apportés : on parle de phytoremédiation aidée. Ils peuvent être de deux types : les amendements chimiques comme par exemple les fertilisants et amendements biologiques (bactéries, champignons mycorhiziens...). (Selecdepol, 2013).

IV.2. Quelques travaux réalisés en Algérie sur la phytoremédiation :

La phytoremédiation demeure l'une des techniques de dépollution des sols les plus récentes, vu son importance aussi bien le plan écologique, que sur le plan économique, beaucoup de scientifiques se sont intéressés à la faculté qu'a le règne végétal pour la dépollution des sols. Dans le Tableau I 7 nous avons recueilli une liste non exhaustive des travaux qui ont été déjà réalisés dans ce sens.

Tableau I- 7 les articles scientifiques sur la phytoremédiation.

Nom de l'auteur	L'article Scientifique	Lieu de recherche	Lieu et année de publication
Nawel FellaAllouche	La phytoremédiation pour la dépollution des eaux usées	Division Bioénergie et Environnement	Bulletin des Energies Renouvelables Décembre 2006
Zenasni M MeroufelB	Phytoremédiation de Zn (II) par les racines de Calotropis Procera Bechar, Algérie.	Laboratoire des ressources végétales et sécurité alimentaire des zones semi arides du sudouest Algérien, Université de Bechar	ScienceLib Editions Mersenne Mars 2012
cherib abdelfattah	Application de la Phytoremédiation dans le traitement des eaux usées en Algérie	le centre de recherches-en biotechnologie c.r.bt	journal ; 2016
Gherib A Boufendi Y	Applications de la phytoremédiation dans le traitement des eaux usées en Algérie.	Centre de Recherche en Biotechnologies Constantine, Algérie	Larhyss Journal Juin 2016
Mahoud debabeche Abdelmadjid rokbane	Etude de faisabilité de l'installation de stations d'épuration des eaux usées par les plantes de quelques rejets dans la région d'el kantara	Université kasdi merbah Ouargla	Bibliothèque centrale 14-nov-2016
ATMA, Wafa	Etude du pouvoir auto épurateur de quelques plantes (la phytoremédiation).	Université Mustapha Stambouli Mascara	Dépôt institutionnel de l'université Mustapha Stambouli Mascara 14 janvier 2017

CHAPITRE II :
MATERIEL ET METHODES

I. la zone d'étude

I.1. Localisation et description de la station d'épuration de Laghouat :

La station d'épuration de la ville de Laghouat est d'une superficie de 10 hectares, elle est située dans la zone dite Bordj Snoussi au Nord Est de la ville de Laghouat à environ 06 km, comprise entre le Kef Seridja et des exploitations avoisinant l'oued M'zi. Elle a été mise en service le 14 Avril 2012, et depuis elle est gérée et exploitée par l'office national de l'assainissement. (Figure II.1) (ONA, 2017)



Figure II 1 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 m³/j et 250 500 à l'horizon 2033 pour un débit de 49 050 m³/j.

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

La station a une capacité :167 000 E.H et un débit unitaire de 160 l/E.H.j. par temps sec, soit 26 700m³/j (**Horizon,2015**).

I.2. La fiche technique de la STEP-L :

La station d'épuration a été dimensionnée sur les bases suivantes :

- Type de réseau : unitaire,
- Nature des eaux brutes : domestiques,
- Population : 167 000 / 250 500E.H,
- Volume journalier : 26 700 / 49 050 m³/j,
- Débit maximal admis en temps de pluie 2704 m³/h,
- Charge journalière en DCO 16 700 / 25 050 Kg/j,
- Charge journalière en DBO5 9 018 / 13 527 Kg/j,
- Charge journalière en MES 11 690 / 17 735 Kg/j,
- Charge en azote ammoniacal (N- NH₄) 1 336 / 2 004 Kg/j. (**ONA 2017**)

II. Prélèvement des échantillons :

D'une manière systématique, toutes les espèces végétales trouvées dans les lits de séchage de la boue de la STEP-1 ont été recensées et photographiées *in situ* (05 espèces), prélevées et puis identifiées à l'aide du site internet *Tella botanica*, une fois identifiées nous les avons ramené au laboratoire dans lequel ces espèces vont subir le protocole expérimental décrit ci-après.

III. Matériel d'étude :

L'achèvement du protocole expérimental a nécessité la préparation au préalable du matériel indispensable à l'exécution de ce protocole, les réactifs ainsi que l'appareillage sont présentés dans le (tableau II 1).

Tableau II 2 Liste de l'appareillage, matériel et réactif utilisés.

Appareillage	Matériel	Réactifs
Etuve	Boîte en verre	Plantes
Four à moufle	creuset en verre	Acide fluorhydrique 40%
Balance de précision	mortier à agat	Acide perchlorique 70%
Bain de sable	Eprouvette graduée	acide nitrique
Spectromètre	Fioles de 100ml en polypropylène graduées	Eau distillée
/	Papier filtre	/
/	Entonnoir	/
/	Tubes à essai	/

IV. Préparation des échantillons au laboratoire:

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

Après l'arrivée des échantillons au laboratoire, nous avons suivi le protocole expérimental qui consiste en la succession dans étapes suivantes :

IV.1. Déshydratation :

Les échantillons sont passés à l'étuve à 105°C pendant 72 heures pour avoir une matière sèche. (Figure II.2) (BERNHARD, 1977).



Figure II 2 La déshydratation des échantillons dans l'étuve (Originale, 2018).

IV.2. Broyage des plantes séchées dans un mortier à agat :

Nous avons-nous procédé à un broyage fin en utilisant un mortier en agate pour les 05 espèces trouvées. Cette étape à concerner les trois parties de chaque plante séparément, à savoir la partie aérienne, la partie racinaire et les fruits. (Figure II.3)



Figure II 3 broyages des échantillons (Originale, 2018).

IV.3. Incinération :

Nous avons pris 0.5g de poudre fine de chaque partie des 05 espèces, et nous les avons mis dans des creusets en agate, dans le but de les calciner à 450°C dans un four à moufle pendant 4 heures. (Figure II.4) (BERNHARD, 1977).



Figure II 4 incinération des échantillons (Originale, 2018).

IV.4. Minéralisation et mise en solution :

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 forts 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 à 40% (HF) et 3 ml d'acide perchlorique à 70% (HClO₄). (Figure II.5)



Figure II 5 Minéralisation des échantillons par voie humide (Originale, 2018).

Nous avons tout de suite déposé les échantillons dans un bain de sable à 160 °C jusqu'à évaporation à sec. (LARNER ; SEEN, 2006) . (Figure II.6)



Figure II 6 l'évaporation à sec (Originale, 2018).

La poudre très fine obtenue a été mise en solution avec 1 ml d'acide nitrique et 10ml d'eau distillée et laissée au repos pendant 30 min. puis de nouveau la préparation est mise dans le bain de sable jusqu'à effervescence de la solution (la minéralisation à froid). Dans des fioles en polypropylène jaugées à 100ml, nous avons complété la solution par de l'eau distillée jusqu'à 100ml (**BERNHARD, 1977**).

IV.5. Filtration :

Après le refroidissement des échantillons nous avons 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**). (Figure II.7)



Figure II 7 la filtration des échantillons (**Originale, 2018**).

V. Dosage des métaux lourds par la SAA :

V.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**)

V.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**).

V.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**).

V.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**).

V.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 (flamme ou four) (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) . (Figure II.8) (PRADYT, 2004).

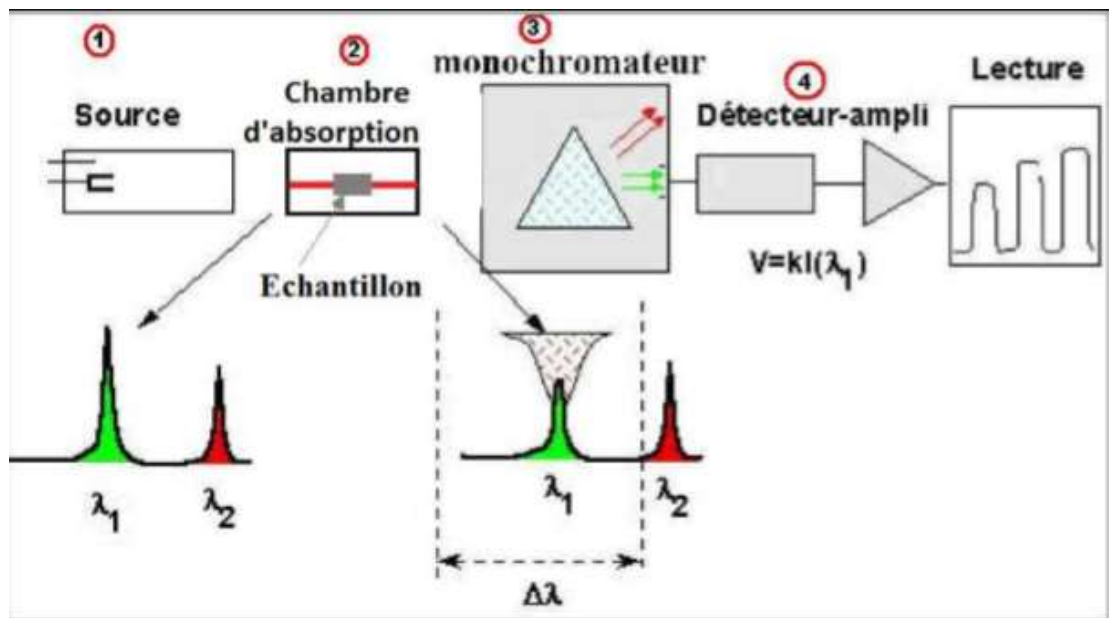


Figure II 8 Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique.

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 Amar Telidji-Laghouat.

En spectrométrie d'absorption atomique à 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 spectrométrie à absorption atomique à flamme utilisée ainsi que la lecture des valeurs sont présentées dans la (Figure II.9).

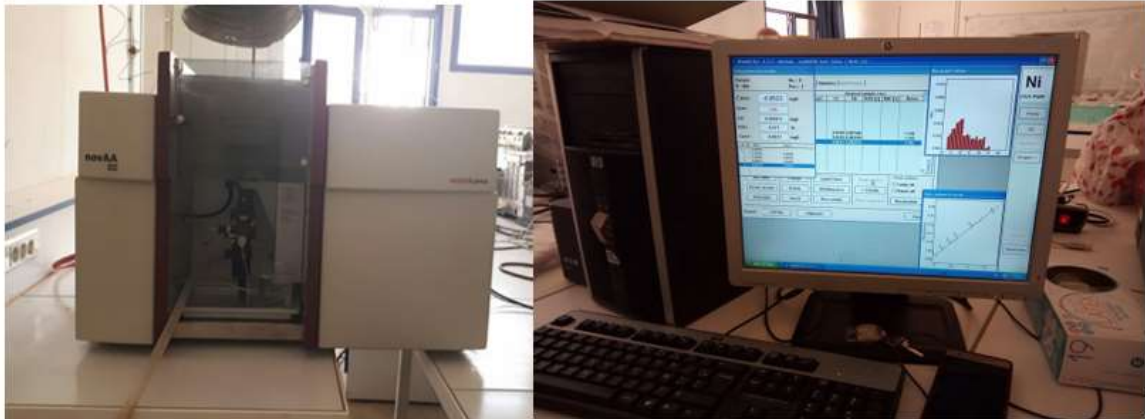


Figure II 9 A gauche : Spectrométrie d'absorption atomique (SAA), à droite lecture de valeurs sur écran (**Originale, 2018**).

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. IDENTIFICATION DES PLANTES

La première étape de cette étude était d'identifier les plantes récoltées. En utilisant **Tela-botanica**, nous avons pu identifier les espèces comme suit : *Malva sylvestris*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio* L, *Amaranthus hybridus* et *Hordeum murinum*.

1.1. Description et position systématique des plantes étudiées

1.1.1. *Malva sylvestris* :

- . - . Plante bisannuelle ou pérennante, munie de poils étalés
- tiges de 30-50 cm, dressées ou ascendantes
- feuilles palmatifides, à lobes plus ou moins profonds, crénelés
- fleurs d'un rose violacé, veinées, grandes, en fascicules axillaires
- calicule à folioles oblongues ou elliptiques-lancéolées, plus courtes que le calice
- calice peu accrescent, à lobes largement triangulaires, ne cachant pas les carpelles à la maturité
- corolle 3-4 fois plus longue que le calice
- carpelles glabres, ridés, jaunâtres à la maturité. Plante polymorphe.



Figure III- 1 *Malva sylvestris*

Régne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Malvales</i>
Famille	<i>Malvaceae</i>
Genre	<i>Malva</i>
Espèces	<i>Malva sylvestris</i>

1.1.2 *Chenopodium album* :

Plante annuelle de 20 cm à 1 mètre, blanchâtre ou verdâtre, à tige ordinairement dressée, anguleuse, simple ou rameuse

- feuilles blanches-farineuses en dessous ou parfois vertes sur les 2 faces, 2 fois plus longues que larges, ovales-rhomboidales ou lancéolées, sinuées-dentées, rarement la plupart entières
- glomérules farineux-blanchâtres, en panicule étroite ou étalée, nue ou feuillée à la base
- périanthe cachant complètement le fruit, à lobes carénés
- graine de 1 14 mm, horizontale, luisante, lisse, à bord caréné-aigu. Espèce polymorphe.

Écologie Lieux cultivés et incultes, dans toute la France et la Corse.

Répartition Europe et presque tout le globe.

Floraison Juin-octobre.



Figure III- 2 *Chenopodium album*.

Régne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous Classe	<i>Caryophyllidae</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Chénopodiacées</i>
Genre	<i>Chenopodium</i>
Espèces	<i>Chenopodium album</i>

1.1.3. Amaranthus hybridus :

- Plante annuelle de 20-80 cm, pubescente, à tige dressée, simple ou brièvement rameuse
- feuilles d'un vert sombre en dessus, rhomboïdes-ovales obtuses, brusquement atténuées en pétiole
- fleurs verdâtres, en épis grêles, les uns axillaires, les autres en panicule terminale compacte non feuillée, l'épi terminal souvent 4-5 fois aussi long que les latéraux.

- bractées spinescentes, longues de 3-4 mm, à nervure dorsale vert foncé, d'un tier plus long que le périanthe à 5 sépales ovales
- 5 étamines
- fruit ovoïde, dépassant le périanthe, s'ouvrant en travers.
- Écologie Décombres et cultures, çà et là dans le Midi et l'Est.
- Répartition Europe méridionale ; Afrique septentrionale.
- Floraison Août-octobre.



Figure III- 3 *Amaranthus hybridus*.

Règne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Dicotylédones</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Amaranthaceae</i>
Genre	<i>Amaranthus</i>
Espèce	<i>Amaranthus hybridus</i>

1.1.4. *Sisymbrium irio* L :

- . Plante annuelle ou bisannuelle, glabre ou pubérulente
- tige de 20-80 cm, dressée, simple ou rameuse
- feuilles pétiolées, roncées- pennatifides, à lobes dentés, le terminal plus grand, hasté et allongé dans les feuilles supérieures
- fleurs jaunes, petites, les supérieures dépassées par les jeunes siliques
- sépales 2-4 fois plus courts que le pédicelle
- grappe fructifère oblongue, à pédicelles grêles, étalés-dressés
- siliques ascendantes, longues, grêles, glabres
- valves à 3 nervures
- graines petites, jaunes, lisses, sur 1 rang.
- Écologie Bords des chemins, décombres, dans presque toute la France.
- Répartition Europe ; Asie ; Afrique septentrionale.
- Floraison Avril-juillet

Figure III- 4 *Sisymbrium irio L.*

Régne	Plantae
Classe	Dicotylédones
Ordre	Brassicales
Famille	Brassicaceae
Genre	<i>Sisymbrium</i>
Especie	<i>Sisymbrium irio L</i>

1.1.5. *Hordeum murinum* :

- Plante annuelle de 10-50 cm, verte, à racine fibreuse
- tiges en touffe, genouillées-ascendantes, feuillées jusqu'au sommet
- feuilles planes, rudes, mollement velues, à gaines glabres
- ligule courte, tronquée
- épi assez gros, subcylindrique, à axe fragile
- épillet moyen seul fertile, sessile, à glumes linéaires-lancéolées, ciliées, égales
- épillets latéraux plus petites, stériles, pédicellés, à glumes sétacées et un peu inégales

- glumelle inférieure des trois fleurs atténuée en arête 3 fois plus longue quelle et dépassant longuement les glumes
- caryopse oblong.
- Écologie Chemins, décombres, lieux arides, dans toute la France et en Corse.
- Répartition Europe ; Asie ; Afrique ; Amérique.
- Floraison Mai-août.



Figure III- 5 *Hordeum murinum*.

<i>Régne</i>	<i>Plantae</i>
<i>Division</i>	<i>Magnoliophyta</i>
<i>Classe</i>	<i>Liliopsida</i>
<i>Ordre</i>	<i>Cyperales</i>
<i>Famille</i>	<i>Poaceae</i>
<i>Sous-famille</i>	<i>Pooideae</i>
<i>Genre</i>	<i>Hordeum</i>
<i>Espèce</i>	<i>Hordeum murinum</i>

II. DOSAGE DES METAUX LOURDS

Le dosage des six éléments trace suivants :Fer, Cuivre, Plomb, Nickel, Cobalt, Cadmium nous a permis de détecter la présence des trois premiers éléments seulement . Pour reste des éléments, les valeurs étaient nulles dans toutes les plantes.

L'étude menée par DJEKIDEL et GUEDOUDA (2018) et qui consistait à doser les ETM dans la boue résiduaire de STEP-L produite en 2017 et sur laquelle nos plantes ont poussé révèle aussi la présence du fer, cuivre et plomb uniquement.

II.1. Concentration du Fer :

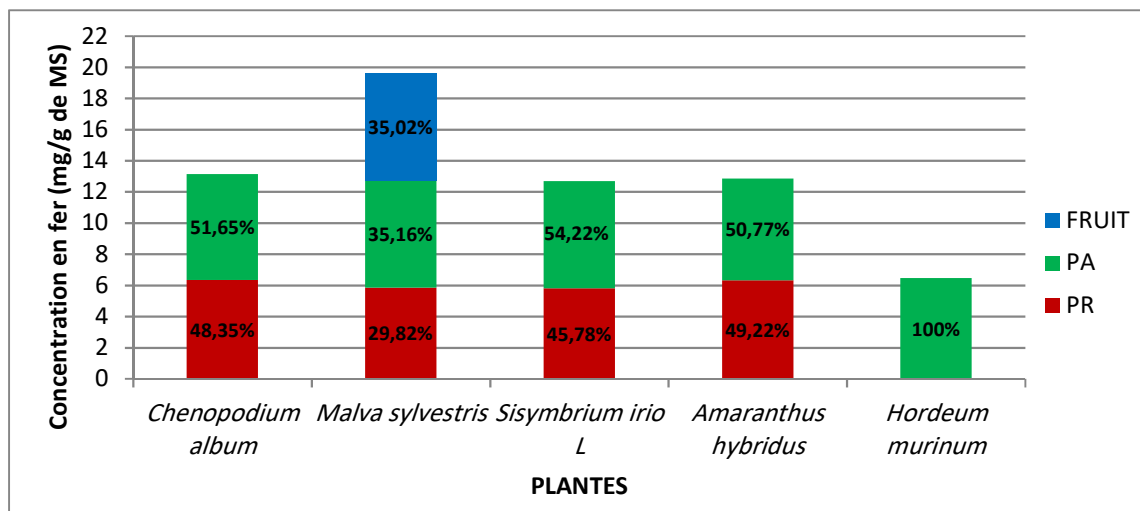


Figure III- 6 Concentration en Fer (mg /g) des différentes plantes.

La figure III- 6 montre que *Malva sylvestris* accumulé la plus forte concentration de Fer (19,63 mg/g MS) répartie entre les racines (29,82%), la partie aérienne (35,16%) et le fruit (35,02%). Les plantes *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio L* et *Amaranthus hybridus* ont accumulé pratiquement les mêmes concentrations de fer avec une répartition presque équitable entre les parties racinaires et aériennes.

II.2. Concentration de Cuivre :

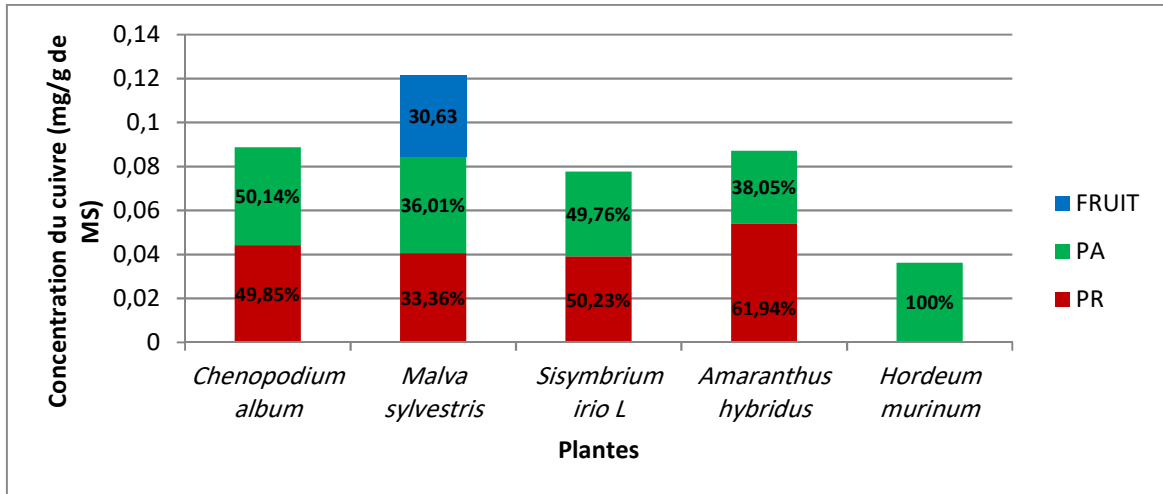


Figure III- 7 concentration en cuivre des différentes espèces.

La figure III- 7 montre que *Malva sylvestris* accumulé la plus forte concentration de Cuivre (0,08 mg/g MS) répartie entre les racines (33,36%), la partie aérienne (36,01%) et le fruit (30,63%). Les plantes *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio L*. et *Amaranthus hybridus* ont accumulé pratiquement les mêmes concentrations de fer avec une répartition presque équitable entre les parties racinaires et aériennes.

II.3. Concentration de Plomb :

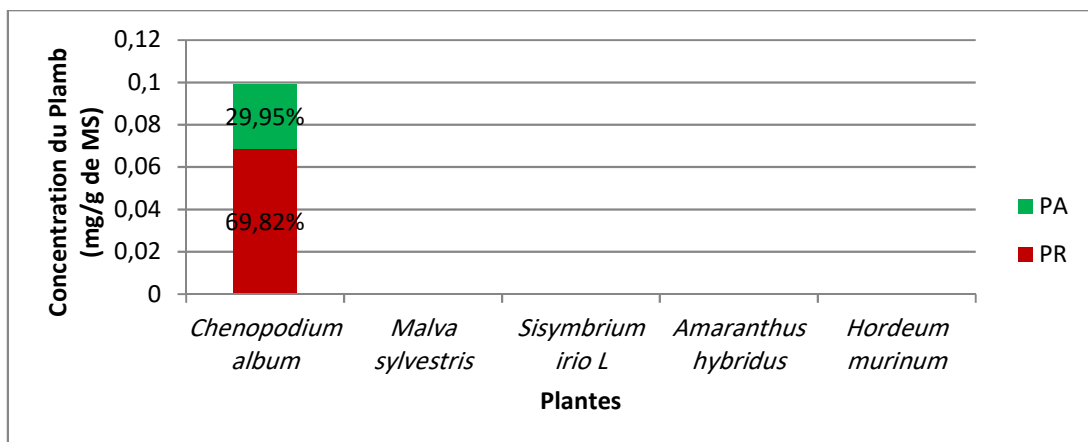


Figure III- 8 concentration en plomb des différentes espèces.

La figure III- 8 montre que *chenopodium album* est la seule espèce qui a accumulé le plomb avec une concentration totale de 0,09 mg /g MS qui est répartie entre les racines 69,82% et la partie aérienne 29,95%.

II.4. *Chenopodium album* :

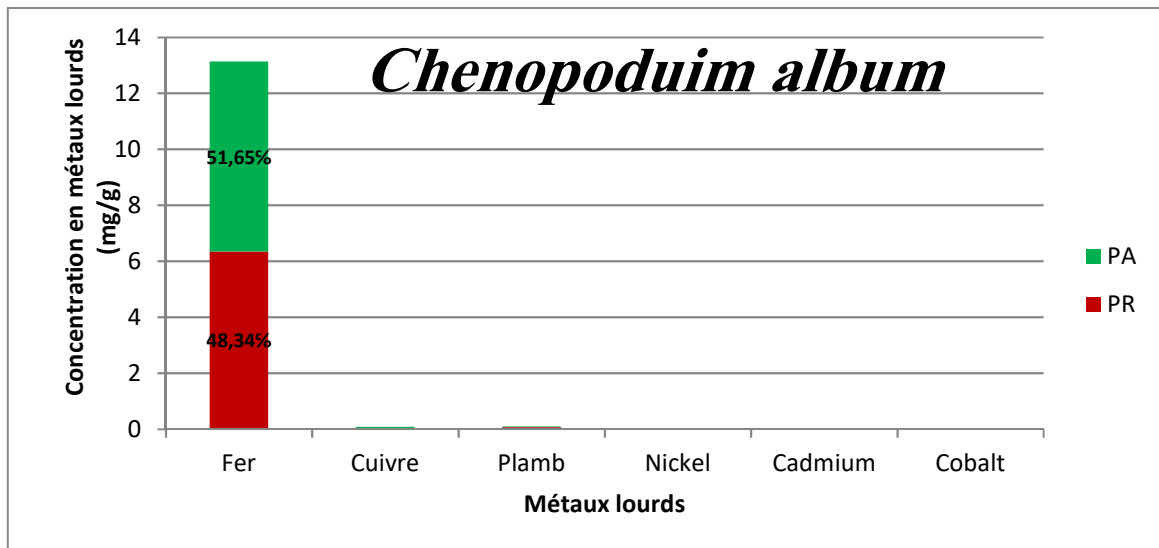


Figure III- 9 concentration des métaux lourds de l'espèce *Chenopodium album*

L'histogramme ci-dessus représente la concentration des métaux lourds *Chenopodium album*, On a remarqué une concentration totale du fer de 13,13 mg/g MS dont 51,65% s'est accumulé dans la partie aérienne. Des valeurs très minimales de cuivre ont été détectées également (0,088 mg/g MS), répartie entre la partie racinaire et aérienne avec 49,85% et 50,14% respectivement, Et des valeurs très minimum de plomb 0,099 mg/g MS dont 69,84% de partie racinaire et la partie aérienne 30,15%.

Nous avons remarquées résultats obtenue pour la concentration de Cu et Fe dans la partie aérienne et racinaires sont approchées que celles enregistrées par (Bogdan , 2018)

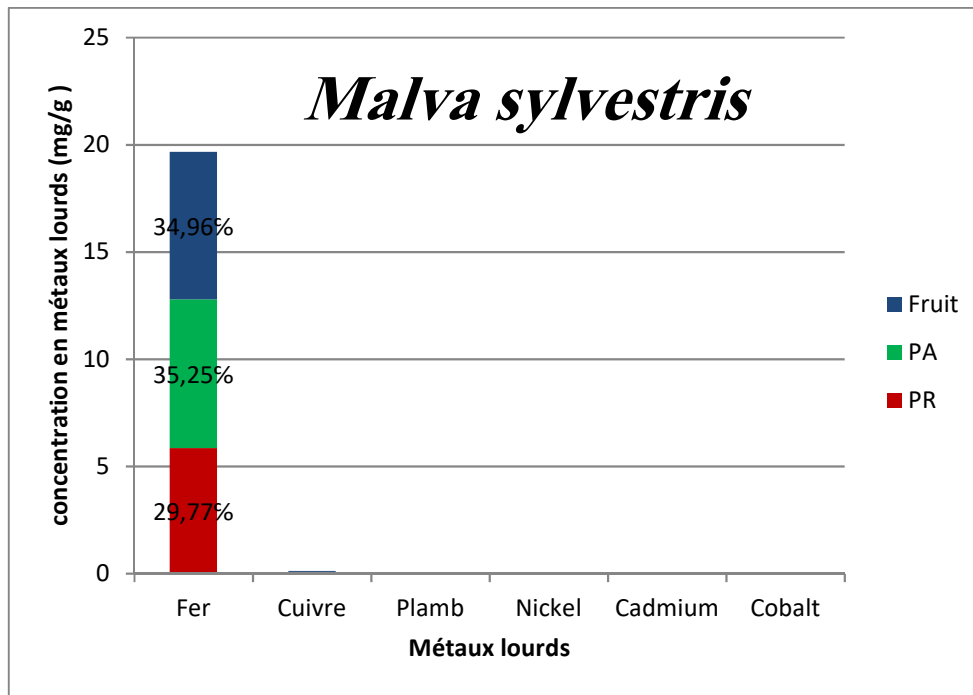
II.5. *Malva sylvestris* :

Figure III- 10 concentration des métaux lourds de l'espèce *Malva sylvestris*.

L'histogramme ci-dessus représente la concentration des métaux lourds *Malva sylvestris*, On a remarqué une concentration totale du fer de 19,65mg/g MS dont 35,25% s'est accumulé dans la partie aérienne, et 29,77% dans la partie racinaire. Des valeurs très minimales de cuivre ont été détectées également (0,121 mg/g MS), répartie entre la partie racinaire et aérienne et les fruits avec 33,39% et 35,97% et 35,97% respectivement.

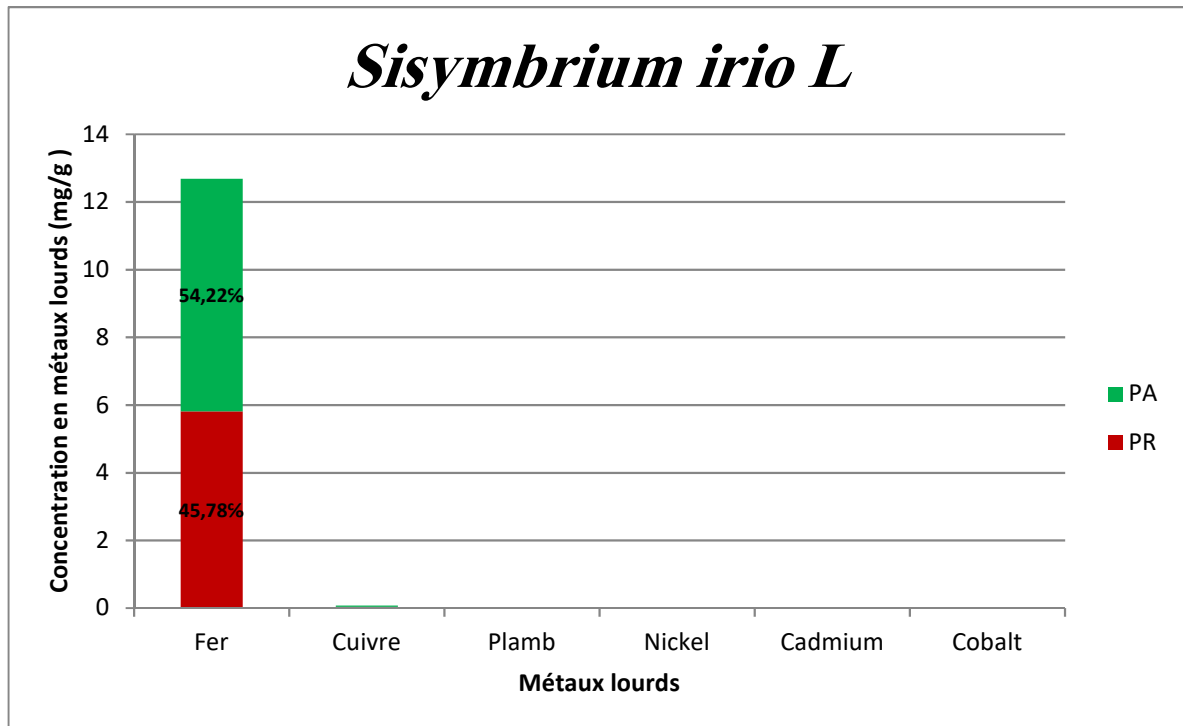
II.6 *Sisymbrium irio L.* :

Figure III- 11 concentration des métaux lourds de l'espèce *Sisymbrium irio L.*

L'histogramme ci-dessus représente la concentration des métaux lourds *Sisymbrium irio L.*, On a remarqué une concentration totale du fer de 12,68 mg/g MS dont 54,21% s'est accumulé dans la partie aérienne. Des valeurs très minimales de cuivre ont été détectées également (0,077 mg/g MS), répartie entre la partie racinaire et aérienne avec 50,23% et 49,76% respectivement.

Nous avons remarqué que les résultats obtenus pour la concentration de Cu, dans la partie aérienne et racinaire enregistrées à Egypt (Hanaa, 2014) les valeurs (0,06mg/g de MS) qui sont approchées que notre résultats (0,04mg/g de MS), mais pour la concentration de Fe en remarque que résultats sont un peu loin (11 mg /g de MS) par rapport à notre résultats (0,6 mg/g de MS), cette résultats revient à la différence de la boues utilisé.

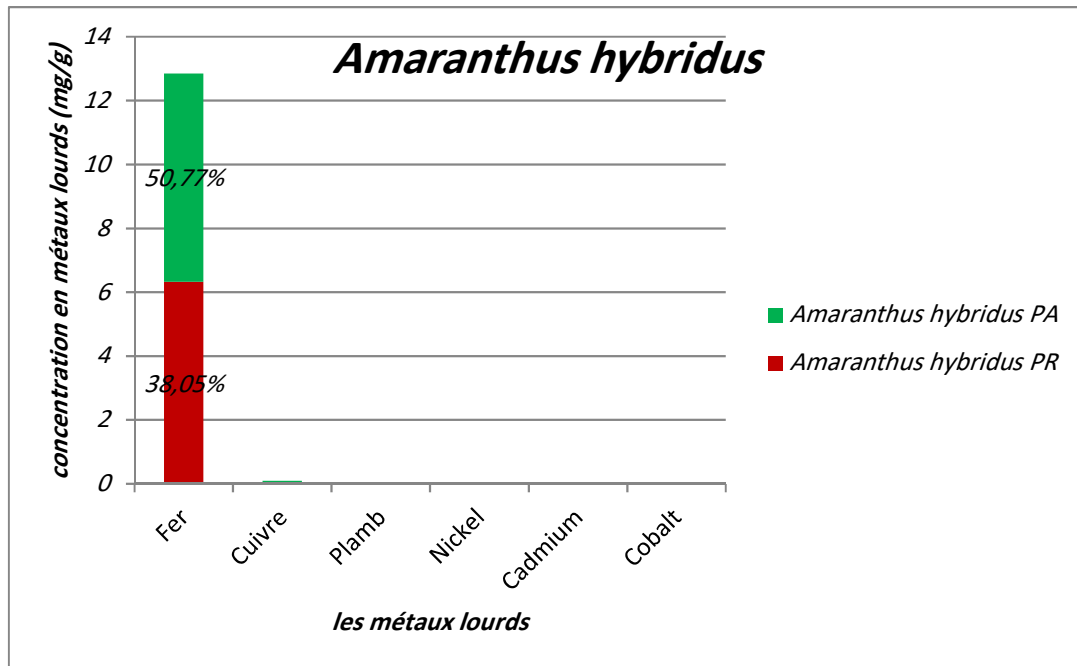
II.7. *Amaranthus hybridus* :

Figure III- 12 concentration des métaux lourds de l'espèce *Amaranthus hybridus*.

L'histogramme ci-dessus représente la concentration des métaux lourds d'*Amaranthus hybridus*, On a remarqué une concentration totale du fer de 12,84 mg/g MS dont 50,77% s'est accumulé dans la partie aérienne. Des valeurs très minimales de cuivre ont été détectées également (0,087 mg/g MS), répartie entre la partie racinaire et aérienne avec 61,94% et 38,05% respectivement.

Dans même cadre d'étude (Kalonda et al., 2015), en Belgique les résultats obtenue pour la concentration de Cu dans la partie aérienne et racinaires (0,07mg/g de MS) qui sont approchées que notre résultats (0,05mg/g de MS) mais pour la concentration de Fe on remarque que notre résultats sont plus importants (12.84mg/g de MS) par rapport au résultat de Kalonda, cette différence revient à la composition de la boue étudiée qui est plus accumulée de la concentration de Fe. Contrairement, de notre résultats des Pb, Ni, Co et Cd sont négatives avec ce résultat de (Kalonda et al, 2015)

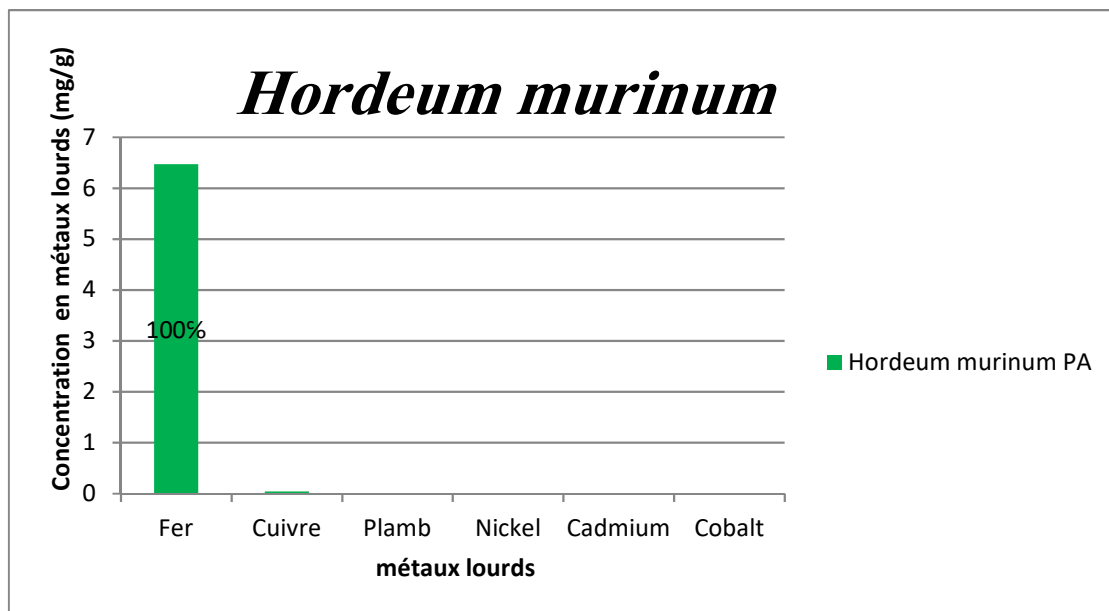
II.8. *Hordeum murinum* :

Figure III- 13 concentration des métaux lourds de l'espèce *Hordeum murinum*.

L'histogramme ci-dessus représente la concentration des métaux lourds d' *Hordeum murinum*, On a remarqué une concentration totale du fer de 6,47 mg/g MS et une concentration de cuivre 0,036 mg/g MS.

CONCLUSION

CONCLUSION

Plusieurs plantes qui ont été déclarées phytoremédiantes et ayant un pouvoir dépolluant des sols ou des boues.

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressé à identifier d'une part les plantes spontanées qui se trouvent sur les lits de séchages de la STEP-L, et d'autre part, quantifier les métaux lourds dans les différentes parties de ces plantes; en l'occurrence Le fer, le cuivre, le plomb, le nickel, le cobalt et le cadmium.

Nos résultats indiquent que les cinq plantes récoltées étaient *Malva sylvestris* (famille des *Malvaceae*), *Chenopodium album* (famille des *Chénopodiacées*), *Sisymbrium irio L.* (famille des *Amaranthaceae*, *Amaranthus hybridus* (famille des *Brassicaceae*) et *Hordeum murinum* (famille des *Poaceae*).

Nos résultats confirment la présence du fer et du cuivre, dans les cinq plantes utilisées. Les concentrations totales étaient variables d'une plante à une autre et réparties entre la partie aérienne et racinaire en plus du fruit chez *Malva sylvestris*.

Le plomb a été détecté uniquement dans l'espèce *Chenopodium album* et concentré majoritairement dans sa partie racinaire. Ce qui rend cette espèce plus phytoremédiante que le reste des espèces étudiées.

En perspectives d'avenir, nous proposons d'étendre cette étude vers d'autres métaux lourds et en utilisant d'autres méthodes d'extraction plus spécifiques. De plus, il serait intéressant d'investiguer le pouvoir accumulateur des ETM dans d'autres plantes spontanées qui poussent sur les lits de séchage de la STEP-L afin de les valoriser dans le domaine d'épuration des boues. Ces dernières pourront alors être recyclées dans le domaine agricole par exemple, étant une source d'amendement potentielle et un moyen d'amélioration de la qualité des sols notamment dans les régions steppiques à sols dégradés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- **ABDELKADER.G ; (1984)** . Tom1. « Épuration biologique des eaux usées ».
- **ADEME ; (2001)**. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture - dossier documentaire. p. 30
- **ADEME ;(2010)** .Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'Energie ; [https :
www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow ?sort=1&cid=96&m=3&catid=10157](https://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=10157).
- **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 , 368p.
- **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.
- **BAIZE, D ; (1997)**. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France): Références etstratégies d'interprétation. Programme ASPITET. Editions Quae.
- **BAIZE D ;(2000)**. Guide des analyses en pédologie, 2ème édition revue et augmentée. Edition I.N.R.A, Paris, France.
- **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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **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.
- **BERT V. et DERAM A ;(1999)**. Guide des phytotechnologies :utilisation des plantes de la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds, France, Environnement et développement alternatif .
- **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 BekrBelkaid. Telemcen.
- **BRAME V. LEFEVRE(1967)**. Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduaires des stations d'épuration. Sc du sol, Bull Afes3. 125-140.
- **BRAME ;(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.
- **BROUZE 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, Agro Paris Tech, Paris, 44 p.
- **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.
- **CHAINEAU ; (1995)**.Microbial dégradation in soil microcosms of fuel oil hydrocarbons from drilling cuttings .Envirommental science and technology, Vol.29,1615-1621

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **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.
- **DAJOZ R ; (1985).** - Précis de pédologie. Ed. Bordas. Paris. Dunod Université.p 331.
- **DECHAMP C ; MEERTS P ;(2003).** La phytoremédiation : Panacée pour l'environnement et ou menace pour la biodiversité ?, Les naturalistes belges,n°82 ,pp .135-148
- **DESJARDINS R ; (1997).** Le traitement des eaux. 2^{ème} 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^{ère} éd, éd CEMAGREF. Paris, 30P.
- **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.
- **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.
- **FABY J.A ; BRISAUD F ;(1997).** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.
- **GAID A ; (1984) .** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I, édition OPU, Alger, 261p.
- **GAMRASNI, M.A ;(1979) .** lokùmex .utilisation agricole des boues d'origine urbaine. édit Lavoisier tec&doc.
- **GAMARASNI M A ; (1984).**Utilisation agricole des boues d'origines urbaines. Source. Paris (F.R).A F E E, 128p.
- **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 tomeI.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **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.
- **INA P-G ;(2009).**Institut National Agronomique Paris-Grignon :la phytoremédiation ; <http://taste.versailles.inra.fr/inapg/phytoremed/introductuon/orimetaux/htm>.
- **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.
- **JAMONEET B ;(1987).** Le traitement des boues résiduaires. Univ des sciences de langue doc, Montpellier, 10p.
- **JARDE E ; (2002).** Composition organique des boues résudiaires des stations d'épuration lonaines ; caracterisation moléculaire et effets de la biodegradation. Thése, 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.
- **JAROZ,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 résiduaires: Valeur fertilisante et leur impact sur les sols ,16p

- **JEMALI A ; SOUDI B ; &BERDAI H ;(1998).** Valorisation agricole des boues résiduaires: 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.
- **KABATA, A; &PENDIAS, H; (2001).** Trace elements in soils and plants. CRC Press, London.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **KAKU K; KITAMURA, S; SHIRAKASHI, T; KURIYAMA, M; (1986).** Comparison of mucilage polysaccharides extracted from sewage activated sludge. J. Ferment. Technol., 64, 1, 51-56.
- **KIOPFFER, 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).** Technology transfer seminar on sludge handling and disposal.
- **LANNER, 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
- **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
- **OUALI M, (2002)** Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Ed I.S.B.N, Alger, 156p
- **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.
- **PILON-SMITS E; (2005).** Phytoremédiation Annual Review of Plant Biology. Vol ,56pp.15-39
- **PINTA.M ; (1980).** Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Paris, Masson, 2ème édition, 2 p696.

- **PRASAD M.N.V; (2003).**la phytoremédiation of metal-polluted ecosystems: hype for commercialization .journal of plant physiology. Vol 50 N°5.pp686-700.
- **PRABHA, K; PADMAVATHIA MMA and LORETTA, Y. Li; (2007).**
Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. Water Air Soil Pollut. 184, 105–126.
- **PRESCOTT, HARLEY et KLEIN ; (2007).**Microbiologie. 2ème Edition de Boeck, Paris, pp 837-855.
- **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 340 p.
- **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.8eme édition, 1383p.
- **RUFUS, L.C; MINNIE, M; YIN, M.L; SALLY, L.B; ERIC P.B; SCOTT-ANGLE J., and ALAN, J.M.B.(1997).** Phytoremediation of soil metals. Current Opinion in Biotechnology 8, 279-284.
- **SALT, D.E; SMITH, R.D. and RASKIN, I; (1998).** Phytoremediation. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 643–68.
- **SAHLSTROM, L ; ASPAN, A ; BAGGE, E ; THAM M.L.D; AIBIHN, 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.
- **SHAH, K. and NONGKYNRIH, J.M. (2007).** Metal hyperaccumulation and bioremediation. *Biologia Plantarum* 51, 618-634.
- **SINGH, O. V., LABANA, S., PANDEY, G., BUDHIRAJA, R., and JAIN R. K. (2003).** Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*
- **SINGH, K.P., MOHAN, D., SINHA S., DALWANI, R., (2004).** Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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, 957965.
- **THOMAZEAU R ; (1981)**. Station d'épuration, eau potable, eaux usées. Précis théorique et technologique. 435p.
- **VAILLANT J.R ; (1974)**. Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.
- **VAVASSEUR A ; PEITIER G ; et BOURGUIGNON J ; (2003)**. Biodépollution, Bioremediation. Des plantes nettoyer les sols et les eaux. CLEFS CEA-N° 48. 85-88.
- **VEDRY B, (1975)**, L'analyse écologique des boues activées. SGETEC.
- **WANG, Q. R ; CUI, Y. S ; LIU, X. M; DONG, Y. T; CHRISTIE, P ; (2003)**. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 38, 823-838.
- **WARMAN, P.R; TEREER, 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.
- **ZEBARTH, B.J; MCDUGALL, R; NEILSEN, G; NELISEN, D;(2000)**. Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. *Can. J. Plant Sci.* 80, 575–582.

Résumé :

Notre travail a pour but d'étudier les espèces végétales présentes naturellement dans les lits de séchage de la station d'épuration de Bordj snouci dans une optique de retenir les espèces phyto-rémediantes qui ont la potentialité de bio-accumuler les métaux lourds. Dans notre étude nous avons pu identifier cinq espèces *Malva sylvestris*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio L*, *Amaranthus hybridus* et *Hordeum murinum* sur lesquelles nous avons effectué le dosage par SAA des métaux lourds au niveau de la partie racinaire, la partie aérienne et les fruits.

Nos résultats ont montré la présence du Fe, Cu et Pb, avec un ordre croissant des concentrations Fe > Cu > Pb. Nous avons constaté que *Malva sylvestris* présentait les valeurs du Fe les plus élevées, qui étaient comprises entre 5,85 mg / g de MS dans la partie racinaire et 6,90 mg/g de MS dans la partie aérienne. Pour le Cu dans la partie aérienne, racinaire et au niveau du fruit, nous avons enregistré plus ou moins la même valeur 0,04(mg/g de MS). Le plomb a été trouvé uniquement dans l'espèce *Chenopodium album* avec une concentration nettement plus importante dans la partie racinaire 0,06 mg/g de MS comparativement à la partie aérienne 0,02 (mg/g de MS).

Les mots clé : Les métaux lourds, phyto-rémediantes, SAA, Fe, Cu, Pb.

Abstract :

Our work aims to study plant species naturally present in the drying beds in order to retain the phyto-remedial species that have the potential to bioaccumulate heavy metals. In our study, we have identified five species: *Malva sylvestris*, *Chenopodium album*, *Sisymbrium irio L*, *Amaranthus hybridus* and *Hordeum murinum* on which we have quantified heavy metals by SAA in roots, the aerial parts and the fruits.

Our results showed the presence of Fe, Cu and Pb, with an increasing order of concentrations Fe > Cu > Pb. We noted that *Malva sylvestris* was the plant with the highest Fe values that were included between 5.85 mg/g DM in roots and 6.90 mg / g DM in the aerial part. For Cu in the aerial, root and fruit parts, we recorded average the same value 0.04 mg / g DM. Lead was found only in the species *Chenopodium album* with a much higher concentration in the root portion 0.06 mg / g of MS compared to the aerial part 0.02 mg / g of MS.

Key words: Heavy metals, phyto-remediation, SAA ,Fe, Cu ,Pb

ملخص :

هذا العمل يهدف لدراسة الانواع النباتية التي تتواجد طبيعيا في اسرة التجفيف بمحطة معالجة مياه الصرف الواقعة ببرج السنوسي بهدف انتقاء انواع النباتات القادرة على المعالجة النباتية والتي لها القدرة البيولوجية على تكديس المعادن الثقيلة من خلال هذه الدراسة تم تحديد خمسة انواع: *Malva sylvestris* ، *Chenopodium album* ، *Sisymbrium irioL* ، *Amaranthus hybridus* ، *Hordeum murinum* والتي تم تحديد تراكيز المعادن الثقيلة فيها بواسطة SAA اطياف الامتصاص الذري و ذلك في الاجزاء الثلاثة (الجزور، الجزء العلوي و ثمار).

اظهرت النتائج تواجد الحديد والنحاس والرصاص مع زيادة تركيز تصاعديا Fe > Cu > Pb. النتائج المتحصل عليها اظهرت بالنسبة لـ *Malva sylvestris* هي النبات التي تعرض القيمة العظمى للحديد و القيمة محصورة بين 5,85 (مغ / غ بالنسبة للمادة جافة) في الجزء الجذري و 6,90 (مغ / غ للمادة الجافة) في الجزء العلوي. وبالنسبة للنحاس في الجزء العلوي، الجذري و على مستوى الثمار، سجلنا بالزيادة او بالنقصان نفس القيمة بـ 0,04 (مغ / غ للمادة الجافة). معدن الرصاص تواجد فقط في نوع *Chenopodium album* بتركيز في الجزء الجذري 0,06 (مغ / غ للمادة الجافة) مقارنة بالجزء العلوي بـ 0,02 (مغ / غ للمادة الجافة).

الكلمات المفتاحية : المعادن الثقيلة، المعالجة النباتية، الحديد، النحاس، الرصاص، SAA، اطياف الامتصاص الذري.