

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
- UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences
Département Ecologie et Environnement
Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master
Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : protection des écosystèmes
Intitulé :

**Valorisation des boues de station d'épuration de Filfila (Skikda)
comme amendement au sol**

Présenté par :

- 1- Khabet Khawla
- 2- Kerkar Nada

Membre de Jury:

Dr. BOUBRYEM.A	Présidente	MCB	Univ.20 août 1955-Skikda
Mme. SACI. A	Promotrice	MAB	Univ .20 août 1955-Skikda
Mme. FAROUM.A	Examinatrice	MCB	Univ.20 août 1955-Skikda

Année universitaire 2024-2025





REMERCIEMENT


Je rends avant tout grâce à Allah Le Très-Haut, pour Sa générosité, Sa guidance et Son immense miséricorde. C'est par Sa volonté et Son soutien que j'ai pu mener à bien ce travail et franchir chaque étape avec confiance et persévérance.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Madame Saci Amina, mon encadrante, pour son accompagnement précieux, la qualité de ses orientations, ses conseils judicieux ainsi que sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'Office National de l'Assainissement (ONA), à la station d'épuration de Filfila, ainsi qu'à l'ensemble de leurs équipes pour leur accueil, leur soutien technique et les informations précieuses qu'ils m'ont généreusement partagées.

Un remerciement tout particulier à Monsieur Boulfoul Nadir, laborantin à la station d'épuration de Filfila, pour ses conseils avisés, son accompagnement attentif et sa disponibilité tout au long de la phase pratique de ce travail.

J'exprime également ma reconnaissance à tous les enseignants de la Faculté des Sciences, dont l'expertise et le dévouement ont grandement enrichi mon parcours et consolidé mes acquis scientifiques. Enfin, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, par leur aide, leur soutien moral ou leurs encouragements.





DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de ma chère mère, *Noura Haddad*, Que

Dieu lui accorde Sa miséricorde et lui ouvre les portes de Son vaste paradis

Son amour et ses sacrifices resteront à jamais gravés dans mon cœur.

Je le dédie également à mon père bien-aimé, Kamel Khabet, pour son soutien indéfectible, sa patience et sa présence rassurante tout au long de mon parcours.

À mes sœurs Meryem, Amina et Chaïma, ainsi qu'à mon frère Cherif, pour leur affection, leurs encouragements et leur appui constant, je vous remercie du fond du cœur.

Je souhaite aussi dédier ce mémoire à toutes mes amies et collègues d'études, avec qui j'ai partagé cette belle aventure universitaire, pleine de défis, d'efforts et de souvenirs.

Enfin, cette dédicace va à toute ma famille, mes proches, et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment, pour leur amour sincère et leur présence bienveillante dans ma vie.

KHAWLA





DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à : Ala plus belle créature que dieu a créée sur terre.

Ma mère, Akila qui a oeuvré pour réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-elle, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, Kerkar Ammar, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie .

Puisse dieu en sort Aue ce travail porte son fruit merci pour les valeurs nobles, l'éducation et soutient permanent venu de toi .

Mes frères Daoud , Rida, Mohamed et mes sœurs Fouzia Keltoum imen Ahlam , Hafsa. A mon fiancé Djaafar, mes amis et mes oncles et mes tantes .

Atouts ma famille .

Atouts Ceux qui, par un mot m'ont donné la force de continuer.

NADA



Résumé

Les boues issues des stations d'épuration contiennent des matières organiques et des éléments fertilisants qui peuvent être valorisés en agriculture. Leur utilisation comme amendement au sol représente une alternative durable à l'élimination classique, contribuant ainsi à la protection de l'environnement. Ce travail porte sur l'étude des boues produites par la station d'épuration de Filfila, située dans la wilaya de Skikda, en analysant leurs caractéristiques physico-chimiques et leur potentiel agronomique. L'objectif est de démontrer la faisabilité de leur valorisation dans le cadre d'une gestion écologique et économique des sous-produits du traitement des eaux usées.

Les mots clés : Boues d'épuration – Station de Filfila – Valorisation – Amendement organique – Sols agricoles – Traitement des eaux usées – Caractéristiques physico-chimiques – Gestion durable.

Abstract:

The sludge generated by wastewater treatment plants contains organic matter and fertilizing elements that can be valorized in agriculture. Its use as a soil amendment offers a sustainable alternative to traditional disposal methods, thereby contributing to environmental protection. This work focuses on the study of sludge produced by the Filfila wastewater treatment plant, located in the Skikda province. It involves an analysis of its physico-chemical properties and agronomic potential. The objective is to demonstrate the feasibility of its valorization within an ecological and economic approach to the management of wastewater treatment by-products.

Keywords : Sewage sludge – Filfila treatment plant – Valorization – Organic amendment – Agricultural soils – Wastewater treatment – Physico-chemical properties – Sustainable management .

ملخص

تحتوي الحمأة الناتجة عن محطات معالجة المياه المستعملة على مواد عضوية وعناصر مغذية يمكن تهمينها في المجال الزراعي. ويُعد استخدامها كسماد عضوي بديلاً مستداماً لطرق التخلص التقليدية، مما يساهم في حماية البيئة. يتناول هذا العمل دراسة الحمأة الناتجة عن محطة التصفية فلفلة الواقعة في ولاية سكيكدة، من خلال تحليل خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وتقييم قدرتها على تحسين التربة. ويهدف إلى إظهار مدى قابلية تهمين هذه الحمأة ضمن مقاربة بيئية واقتصادية لإدارة المنتجات الثانوية الناتجة عن معالجة المياه المستعملة

الكلمات المفتاحية : حمأة الصرف الصحي – محطة فلفلة – التثمين – السماد العضوي – التربة الزراعية –
معالجة المياه المستعملة – الخصائص الفيزيائية والكيميائية – الإدارة المستدامة – البيئة.

Sommaire

Introduction.....	04
-------------------	----

Partie bibliographique

Chapitre 1:la station d'épuration de Filfila : fonctionnement, enjeux et perspectives

1. Introduction.....	08
2.Localisationetzone d'influence.....	08
3.Processus de traitement des eaux usées:.....	08
4.Gestion et valorisation des boues.....	10
5- Impact environnemental et sanitaire:.....	10
6.Perspectives d'amélioration.....	10
7. L'importance et l'objectif de l'épuration:.....	10
8.Les risques liés aux stations d'épuration:.....	11
9. Mesures de prévention.....	11

Chapitre II: Les boues de l'épuration des eaux usées

1.Introduction.....	13
2.Définition des boues.....	13
3. Différents types de boues.....	13
4 . Composition des boues résiduares.....	14
5. Objectifs traitement des boues.....	14
6. Phases du traitement.....	15
7. Valorisation des boues.....	16

Partie Expérimentale

Chapitre III:Matérials Et Methodes

1. Objectif de l'étude.....	19
2. Origine et préparation des matériaux.....	19
3. Préparation des substrats expérimentaux.....	19
4. Méthodes d'analyse.....	20

Chapitre IV:Résultats et discussions

1.Introduction.....	24
2. Séparation des boues et de l'eau.....	24
3. Caractérisation des eaux d'entrée et de sortie.....	25
3.1 Paramètres physiques.....	25

3.1.1. pH.....	25
3.1.2. Conductivité électrique.....	25
3.1.3. Température.....	26
3.2. Matières en suspension (MES).....	26
3.3 Paramètres chimiques.....	26
3.3.1. Demande biologique en oxygène (DBO).....	26
3.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO).....	27
4. Métaux lourds.....	28
5. Expérimentation agronomique.....	29
6.comparaison des hauteurs selon la quantité de boue.....	29
7.Analyses des courbes.....	30
8.Discusion des résultats.....	32
Conclusion Generale.....	34
Les référence bibliographique	
Les Annexes	
Liste des feugures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	



Introduction Générale

Introduction générale

Dans un contexte de dégradation continue des ressources naturelles et de pressions environnementales croissantes, la gestion durable des déchets issus du traitement des eaux usées constitue un enjeu majeur à l'échelle mondiale. Les boues d'épuration, sous-produits inévitables de ces traitements, représentent des volumes importants, dont la gestion soulève à la fois des problématiques économiques, sanitaires et écologiques (Fytili & Zabaniotou, 2008).

Traditionnellement perçues comme des déchets à éliminer, ces boues sont désormais envisagées comme des ressources valorisables, notamment en agriculture. En effet, elles sont riches en matière organique, en nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium) et en oligoéléments, leur conférant un potentiel agronomique non négligeable (Smith, 2009 ; Lu et al., 2012). Utilisées comme amendements organiques, elles peuvent améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, renforcer leur fertilité et limiter le recours aux engrais de synthèse, s'inscrivant ainsi dans une dynamique d'agriculture durable et de circularité des matières (Zhang et al., 2017).

Cependant, cette valorisation ne va pas sans soulever de préoccupations environnementales et sanitaires. Les boues peuvent contenir divers contaminants tels que les métaux lourds, les résidus pharmaceutiques, les composés organiques persistants et des micro-organismes pathogènes (Clarke & Smith, 2011 ; Malakootian et al., 2018). Leur utilisation agricole nécessite donc des traitements préalables (stabilisation, hygiénisation, compostage) et une évaluation rigoureuse des risques, conformément aux réglementations nationales et internationales (Rodríguez-Canché et al., 2010).

Dans cette optique, la valorisation des boues d'épuration constitue un levier clé dans une stratégie d'économie circulaire. Elle permet non seulement de réduire les volumes de déchets à éliminer, mais également de répondre aux besoins en amendements organiques dans les systèmes agricoles (European Commission, 2020), à condition que leur application soit scientifiquement encadrée et réglementée.

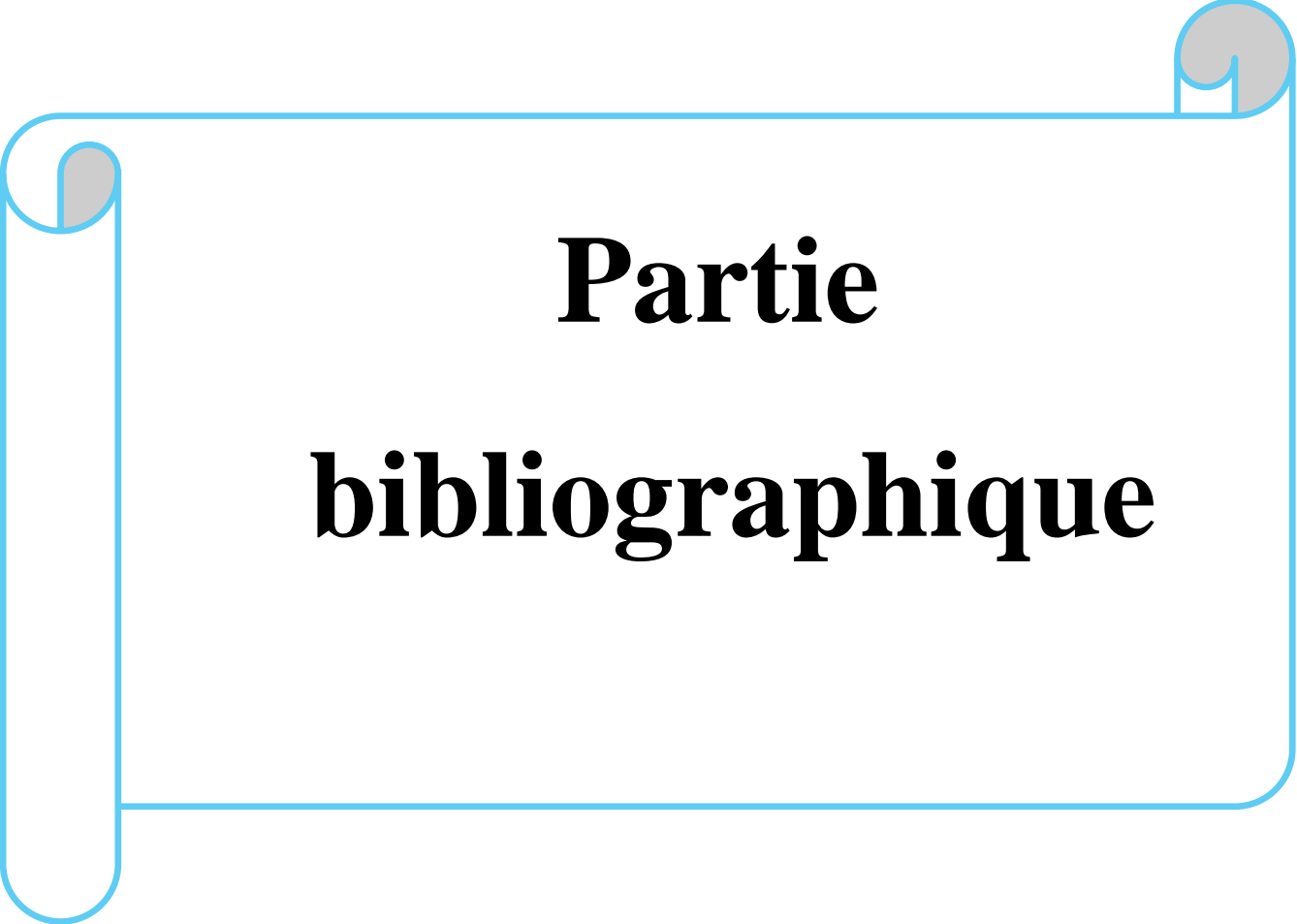
La présente étude s'inscrit dans cette dynamique en explorant le potentiel agronomique des boues résiduelles issues de la station d'épuration de FILFILA, située dans la wilaya de Skikda (Algérie). L'objectif principal est de tester leur efficacité en tant qu'amendement organique pour améliorer les propriétés édaphiques des sols et favoriser la croissance d'une plante test : la lentille (*Lens culinaris*).

Objectifs de l'étude

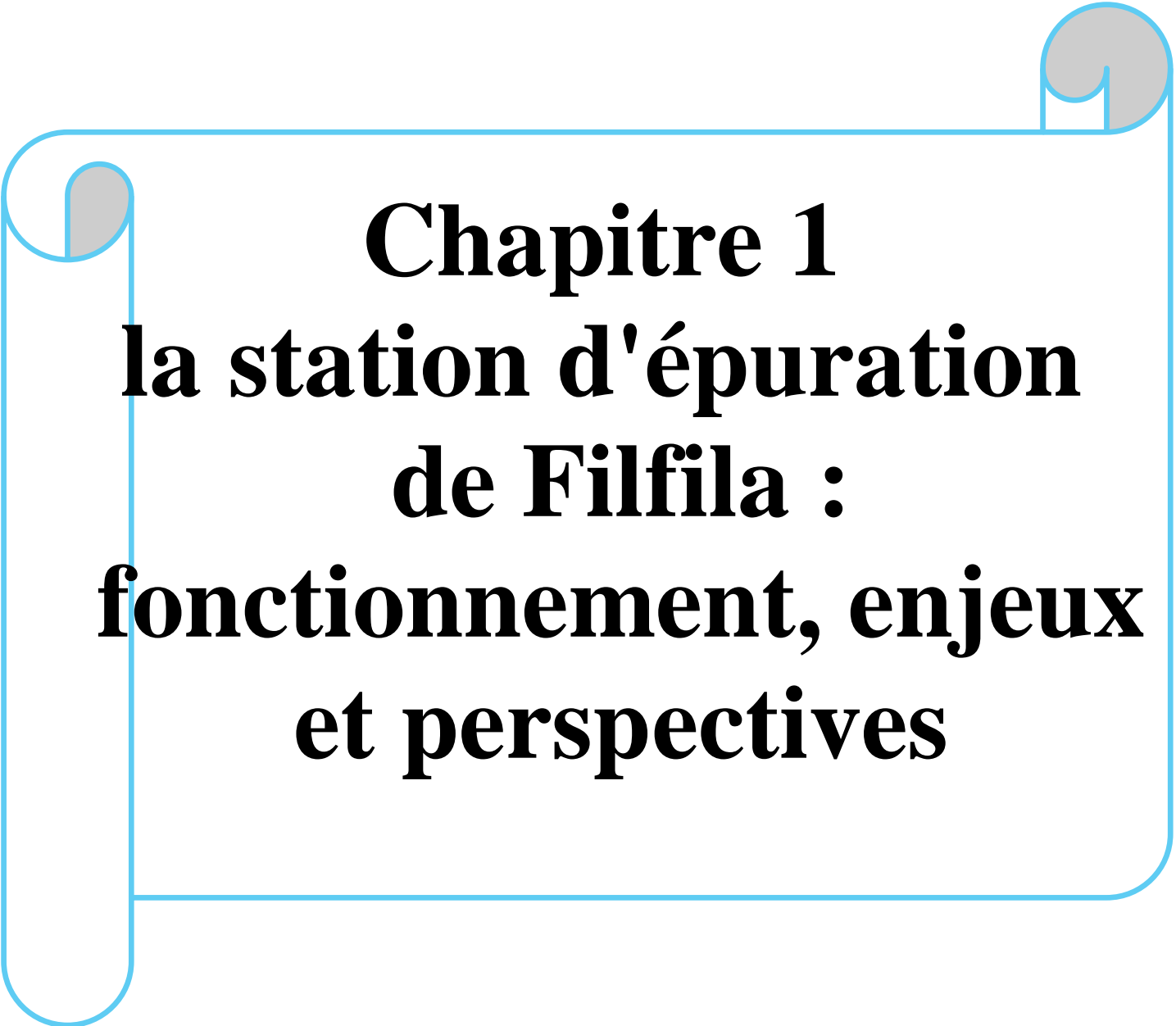
- Caractériser les propriétés physico-chimiques des boues d'épuration produites par la station de FILFILA.

Introduction générale

- Évaluer l'effet de leur application sur la croissance, la morphologie et le rendement de la lentille.
- Étudier la faisabilité de la réutilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation agricole ou paysagère.



Partie
bibliographique



Chapitre 1
la station d'épuration
de Filfila :
fonctionnement, enjeux
et perspectives

1.Introduction:

Face à la croissance urbaine et industrielle, la gestion des eaux usées devient une nécessité pour préserver l'environnement et la santé humaine. Les stations d'épuration jouent un rôle central dans ce processus en assurant le traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel.(AFNOR , 2018).

Dans ce contexte, La station d'épuration de Filfila, est une installation dédiée au traitement des eaux usées, Sa mission principale est de purifier ces eaux avant leur rejet dans le milieu naturel, afin de réduire la pollution, protéger l'environnement et assurer la santé publique.(Radio Algérienne. 2023, 23 novembre).

2.Localisation et zone d'influence:

STEP de Filfila est située dans la commune de Filfila, à l'est de la wilaya de Skikda, en Algérie. Elle a été conçue pour traiter les eaux usées de plusieurs zones, notamment Filfila-Centre, le pôle urbain de Bouzaâroura, la cité Salah Chebel, la cité Larbi Ben M'hidi, ainsi que les zones touristiques de Filfila et de Skikda. Ce projet, lancé en 2019, a nécessité une enveloppe financière d'environ trois milliards de dinars algériens et dispose d'une capacité de traitement de 220 000 mètres cubes par jour. (La Sentinelle. 2023, 4 juin.)



Figure 1 : situation de la step de filfila (google earth)

3. Processus de traitement des eaux usées:

- Le fonctionnement de la station repose sur une série d'étapes de traitement successives:
- Prétraitement : élimination des déchets grossiers par dégrillage, dessablage et dégraissage.
- Traitement primaire: décantation dans des bassins pour séparer les matières en suspension.

Chapitre 1 : la station d'épuration de Filfila : fonctionnement, enjeux et perspectives

-Traitement secondaire: dégradation biologique de la matière organique grâce à des bactéries aérobies.

Traitement tertiaire: filtration et désinfection (chloration, UV) pour éliminer les nutriments résiduels et agents pathogènes.(Jean-François Liénard 2007).

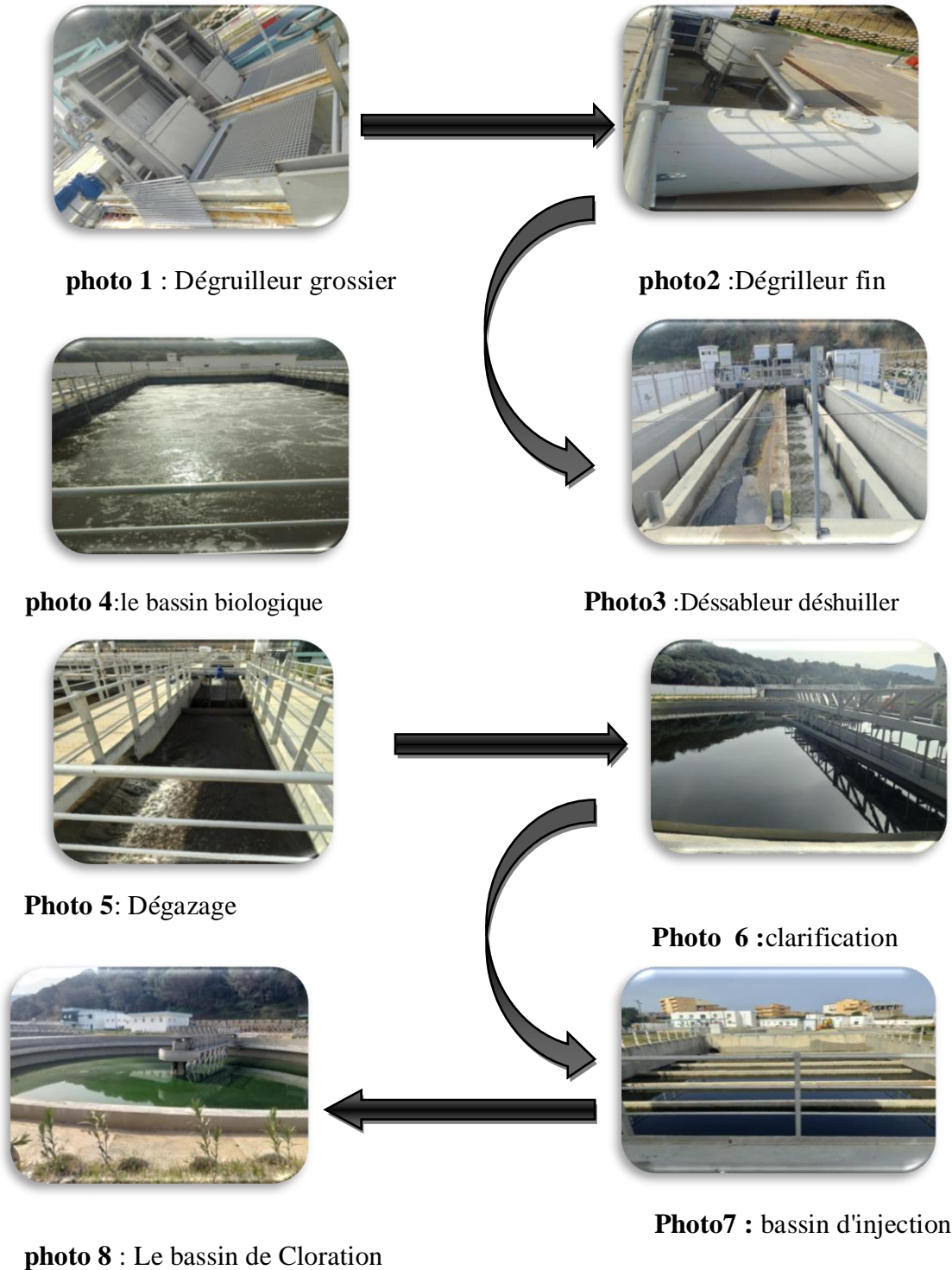


Figure 2 : Les étapes de traitement des eaux usées au niveau de la step de filfila

4 -Gestion et valorisation des boues

Les boues générées sont soumises à des procédés de stabilisation (digestion anaérobie ou aérobie) afin de réduire leur volume et leur dangerosité. Elles sont ensuite déshydratées, puis valorisées sous forme de compost ou utilisées dans la production de biogaz, participant ainsi à l'économie circulaire et à la transition énergétique. (Solagro, 2001).

5. Impact environnemental et sanitaire:

La station permet de réduire significativement la pollution des eaux douces et marines, protège les nappes phréatiques et diminue les risques sanitaires liés à l'eau. Elle favorise également la réutilisation des eaux traitées, notamment pour l'irrigation, offrant une alternative durable dans un contexte de stress hydrique croissant.(ADEME (Agence de la Transition Écologique) , 2020.)

6. Perspectives d'amélioration

Plusieurs pistes sont envisagées pour optimiser la performance de la station :

- Extension de la capacité pour faire face à la croissance démographique.
- Intégration de techniques de traitement avancé (nanofiltration, osmose inverse).
- Optimisation énergétique via la valorisation du biogaz.
- Mise en place d'un système de contrôle et de surveillance en temps réel des paramètres de fonctionnement.(IFTS,2019)

7. L'importance et l'objectif de l'épuration:

L'épuration des eaux résiduaires est devenue une nécessité pour les raisons sanitaires ,des raisons économiques et législatives et même pour préserver l'environnement. Pourraison,l'homme a créé des procédés d'épuration dont le but essentiel est l'élimination des matièresorganique en solution et sous formes colloïdes et la réduction ou l'élimination de la chargemicrobienne et en particulier les micros organismes pathogène. (Encyclopédie de l'Environnement, 2018).



Figure 3 : la station d'épuration de la commun de filfila

8. Les risques liés aux stations d'épuration:

Les stations d'épuration présentent plusieurs risques :

1. Risques sanitaires

Les eaux usées contiennent des agents pathogènes (bactéries, virus, parasites) pouvant provoquer des maladies pour les travailleurs, surtout lors du contact avec les boues ou l'inhalation d'aérosols. (Encyclopédie de l'Environnement, 2018)

2. Risques environnementaux

En cas de dysfonctionnement, il peut y avoir rejet d'eaux insuffisamment traitées, entraînant la pollution des rivières et nappes phréatiques. (ADEME, 2020)

3. Risques chimiques

L'utilisation de produits comme le chlore ou l'ozone peut provoquer des brûlures, intoxications ou incendies. (AFNOR, 2018)

4. Risques liés aux gaz

La production de biogaz (méthane, H₂S) peut causer des explosions ou des intoxications en cas de mauvaise gestion. (Solagro, 2001)

5. Risques techniques

Des pannes d'équipements peuvent entraîner des dysfonctionnements et des rejets non conformes. (IFTS, 2019)

9. Mesures de prévention

1. Protection du personnel

Utilisation d'EPI (gants, masques), hygiène stricte et vaccinations adaptées. (Encyclopédie de l'Environnement, 2018)

2. Surveillance environnementale

Contrôles réguliers de la qualité de l'eau et maintenance des équipements. (ADEME, 2020)

3. Sécurité chimique

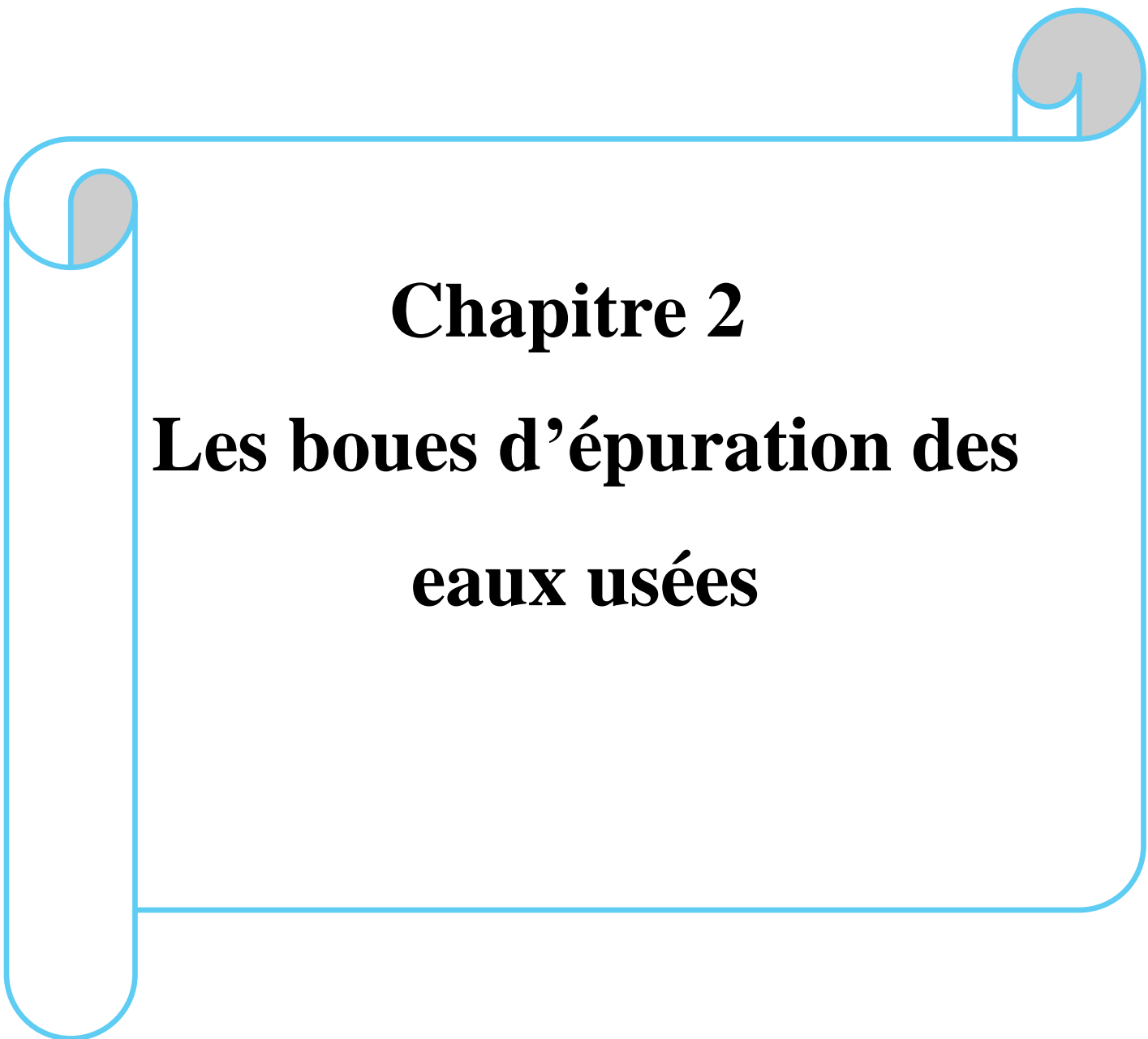
Stockage sécurisé, signalisation claire et formation du personnel. (AFNOR, 2018)

4. Gestion des gaz

Capteurs de gaz, bonne ventilation et valorisation du biogaz. (Solagro, 2001)

5. Maintenance technique

Entretien préventif, automatisation des systèmes et plans d'urgence. (IFTS, 2019)



Chapitre 2

Les boues d'épuration des eaux usées

1. Introduction

Le traitement des eaux usées génère des sous-produits appelés boues d'épuration. Ces boues, riches en matière organique et éléments minéraux, peuvent constituer une ressource intéressante lorsqu'elles sont valorisées dans l'agriculture ou dans la production d'énergie. Plusieurs études ont démontré les bénéfices agronomiques de leur utilisation (Chaussod & Germon, 1977 ; Sebbaa, 1995 ; Derardja, 2003). Leur utilisation permet non seulement d'améliorer la fertilité des sols, mais également de réduire la dépendance aux engrais chimiques, tout en limitant les impacts environnementaux associés à leur élimination.

2. Définition des boues

Les boues d'épuration représentent les résidus solides, semi-solides ou liquides issus des processus de traitement des eaux usées. Elles contiennent principalement des matières organiques (issues des déchets humains et alimentaires), des bactéries (vivantes ou mortes), des minéraux, et divers polluants chimiques. Selon Shepu (2015), on distingue deux grandes catégories : boues primaires (décantation primaire) et boues secondaires (clarificateurs après traitement biologique).



Figure 4 : Les boues résiduelles de la step de Filfila

3. Différents types de boues

2.1 Boues primaires

Issues d'un traitement mécanique (décantation simple), ces boues sont très humides (90–95 %) et riches en matières minérales. Leur forte teneur en matières organiques (65–70 %) les rend putrescibles, avec une odeur souvent fétide (Duchêne, 1990).

2.2 Boues secondaires

Ces boues résultent du traitement biologique en cultures libres (boues activées) ou fixées (disques biologiques). Elles sont constituées majoritairement de biomasse microbienne.

2.3 Boues physico-chimiques

Obtenues par adjonction de réactifs chimiques, elles permettent la floculation des particules colloïdales, mais posent des problèmes liés aux métaux lourds.

2.4 Boues mixtes

Mélange de boues primaires et secondaires, couramment générées dans les stations modernes.

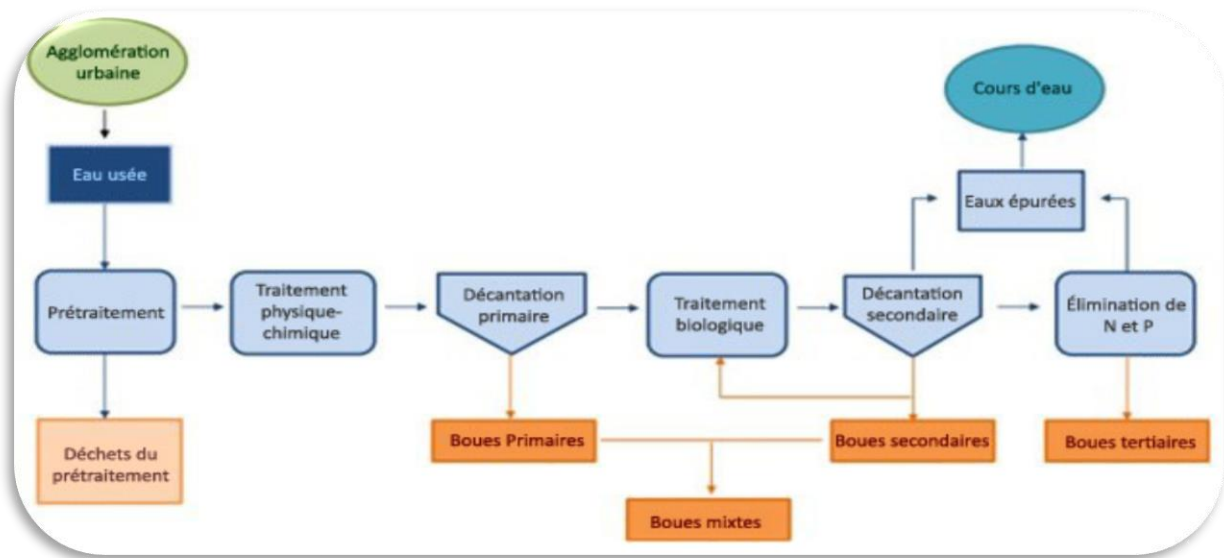


Figure 5: Schema sur different type des boues

4. Composition des boues résiduares

La composition dépend de l'origine des eaux, de la saison, et des procédés utilisés.

Tableaux n 01 : Composition des boues résiduares

Composant	Description
Matière organique	30 à 80 % ; contient lipides, protéines, polysaccharides, lignine.
Éléments fertilisants	Azote, phosphore, calcium, magnésium, soufre, oligoéléments.
Contaminants chimiques	Métaux lourds (Pb, Cd, Hg), solvants, déchets industriels.
Micro-organismes	Bactéries, protozoaires, métazoaires, certains pathogènes.

5. Objectifs traitement des boues

Les traitements visent à :

Réduire le volume des boues.

Stabiliser la matière organique pour éviter les fermentations et les odeurs.

Éliminer ou réduire les pathogènes.

Valoriser les boues (compost, fertilisant, énergie).

Protéger la santé publique et l'environnement (Ladjel & Abbou, 2016).

Une gestion adéquate des boues contribue à une économie circulaire en favorisant le recyclage des nutriments et la réduction des déchets.

6. Phases du traitement

6.1 Épaississement

Première étape visant à concentrer les boues en réduisant leur teneur en eau. Elle permet une concentration variant entre 15 et 100 g/L (Sahnoun, 2019). On distingue les procédés **statiques** (gravité) et **dynamiques** (mécaniques).

6.2 Déshydratation

Elle consiste à évacuer l'eau libre à l'aide de technologies telles que :

Filtres presse (15–35 % de siccité),

Centrifugeuses (15–40 %),

Filtres à pression (jusqu'à 55 %),

Lits de séchage (Sadowski, 2002).

6.3 Stabilisation

Processus biologique ou chimique visant à inhiber la fermentation :

Méthanisation (anaérobie),

Compostage (aérobie),

Chaulage (traitement alcalin).

6.4 Conditionnement

Étape préparatoire à la déshydratation : elle facilite la floculation et modifie la structure colloïdale des boues, améliorant ainsi leur déshydratabilité.

6.5 Séchage

Recherché pour atteindre une siccité > 60 %, il réduit les coûts de transport et les nuisances olfactives. Il permet aussi la valorisation thermique (incinération ou gazéification à 800–900 °C).

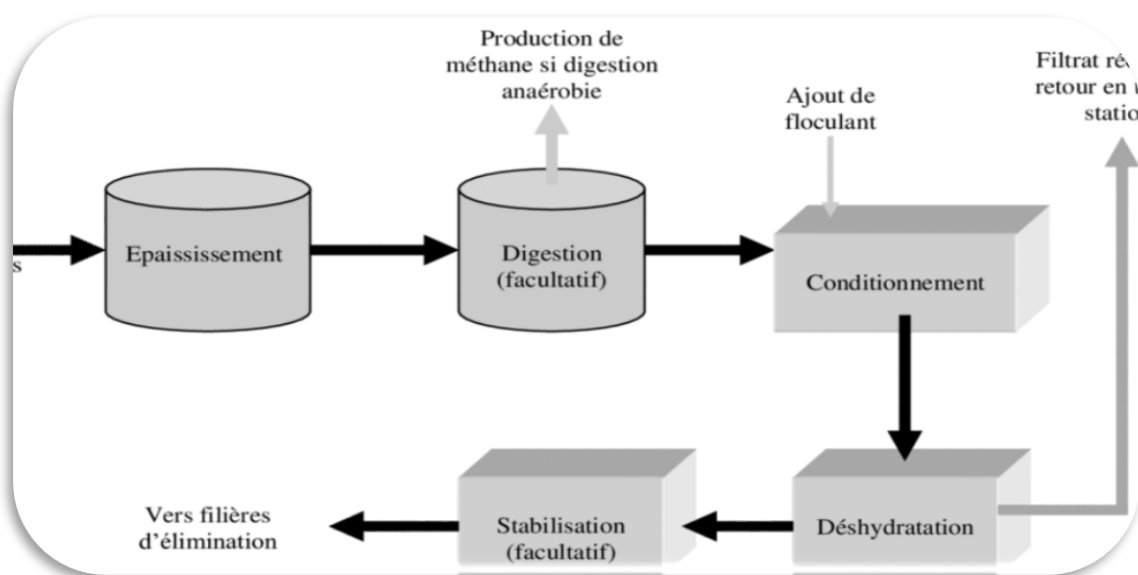


Figure 6 : Schéma sur phase de traitement

7. Valorisation des boues

7.1 Valorisation agricole

Les boues sont utilisées comme amendement organique pour :

Améliorer la structure du sol et sa capacité de rétention en eau.

Fournir des nutriments (azote, phosphore), même si leur assimilation est partielle (30–50 % la première année) (Degremont, 1978).

Réduire le recours aux engrais chimiques.

Toutefois, les risques liés à la **présence de métaux lourds** (Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Hg) doivent être strictement contrôlés, car ils proviennent souvent d'activités industrielles (traitement de surfaces, galvanisation).

7.2 Valorisation énergétique

Par digestion anaérobie, les boues peuvent produire du **biogaz** (méthane), utilisé pour la cogénération d'électricité et de chaleur, ou comme carburant.

7.3 Autres voies

Compostage pour espaces verts,

Cimenteries (coprocessing),

Valorisation thermique via incinération.

L'optimisation des filières de valorisation dépend du contexte économique, des coûts énergétiques, de la réglementation environnementale et des contraintes sanitaires.



Partie expérimentales



Chapitre 3

Matériels et méthodes

1. Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité agronomique des boues issues de la station d'épuration de Filfila (Skikda), en tant qu'amendement organique du sol. Plus spécifiquement, il s'agit d'analyser leur impact potentiel sur les propriétés physico-chimiques et biologiques d'un sol agricole ainsi que sur la croissance de l'espèce végétale *Lens culinaris* (lentille), choisie comme bioindicateur.

2. Origine et préparation des matériaux

2.1. Boues d'épuration

Les échantillons de boues ont été prélevés sur les lits de séchage de la station d'épuration des eaux usées urbaines (STEP) de Filfila, située dans la wilaya de Skikda. Une visite de terrain a permis de suivre le procédé de traitement des eaux et d'échanger avec les techniciens responsables de la gestion des boues.

2.2. Sol agricole

Le sol utilisé dans cette expérimentation a été prélevé dans une parcelle agricole proche de la localité de Filfila. Ce sol a été choisi pour sa représentativité dans l'agriculture locale et son accessibilité pour les essais.

2.3. Espèce végétale testée

L'espèce *Lens culinaris* (lentille) a été sélectionnée en raison de sa sensibilité aux variations de la qualité du substrat et de sa pertinence dans les essais de phytotoxicité. Cette légumineuse est fréquemment utilisée dans les études de bioindication (Kabir et al., 2011).

3. Préparation des substrats expérimentaux

3.1. Tamisage

Les échantillons de sol et de boues ont été séchés à l'air libre, broyés manuellement à l'aide d'un mortier en céramique, puis tamisés à l'aide d'un tamis de maille 2 mm. Ce processus permet d'uniformiser la granulométrie et d'éliminer les corps étrangers.

3.2. Constitution des substrats

Cinq mélanges sol/boue ont été préparés, selon les proportions décrites dans le **Tableau 2**.

Tableau 02 : Proportions des substrats sol-boue

Substrat	Sol %	Boue %
Vase n°1	100	0
Vase n°2	75	25
Vase n°3	50	50
Vase n°4	25	75
Vase n°5	0	100

Chaque traitement a été répété deux fois afin de garantir la reproductibilité des résultats. Le substrat a été réparti en deux couches successives : une couche inférieure (sol seul) et une couche supérieure (mélange selon la proportion).

3.3. Irrigation

Deux modalités d'irrigation ont été appliquées :

- **Modalité 1** : 10 mL d'eau du robinet ;
- **Modalité 2** : 10 mL d'eau traitée issue de la STEP de Filfila.

Chaque vase a été irrigué quotidiennement avec un volume constant de 10 mL/jour, ce qui permet de réduire l'effet de variabilité hydrique sur la croissance végétale.

4. Méthodes d'analyse

4.1. Analyses physico-chimiques des boues

Les boues d'épuration ont été soumises à une série d'analyses pour évaluer leurs propriétés physico-chimiques et leur valeur fertilisante potentielle.

4.1.1. pH

Le pH a été mesuré en suspension dans l'eau déminéralisée à un ratio 1:2,5, à l'aide d'un pH-mètre calibré (NF ISO 10390, 2005).



Figure 7: pH mètre

4.1.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été déterminée à partir d'un extrait aqueux (1:5 m/V), ce qui permet d'évaluer la concentration en sels solubles (AFNOR, 1994).



Figure 8 : conductivité mètre

4.1.3. Humidité

Le taux d'humidité a été mesuré par séchage à 105 °C jusqu'à obtention d'un poids constant (NF EN 12880, 2001).

4.1.4. Détermination la température :

La mesure de la température conformément aux normes ISO (telles que l'ISO 7726 ,3148 et 17025) requiert l'utilisation d'un instrument de mesure étalonné et certifié, l'application d'un protocole métrologique rigoureux incluant la stabilisation thermique, le positionnement précis du capteur et le maintien de conditions environnementales contrôlées, ainsi qu'une traçabilité complète et documentée de l'ensemble des données de mesure.

4.1.5. Détermination les matières en suspension (MES) :

La méthode gravimétrique consiste à filtrer un volume connu d'eau sur un filtre en fibre de verre préalablement séché et pesé ,puis à sécher le filtre à 105° C. La masse des matières en suspension (MES) est déterminée par différence de masse avant et après filtration, et exprimée en mg/L. (NF T 90-105).

4.1.6. -Demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La détermination de la DBO5 consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à température constante de 20°C pendant un temps limité, par convention à 5 jours et à l'obscurité à l'aide d'un système de mesure OxiTop et un DBO-mètre. Ce système est pratique, rapide et donne des résultats représentatifs.

4.1.7. -Demande chimique en oxygène (DCO) :

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) dans une solution portée à ébullition, à reflux pendant 2 heures à l'aide d'un bloc

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

chauffant (photo 12) en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs d'oxydation (photo 13) et d'ions Hg_2^+ permettant de complexer les ions chlorures (Norme NF T 90-10, équivalente ISO 6060)

4.1.8. Métaux lourds

Les métaux traces (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr) ont été dosés après minéralisation acide selon la norme NF EN ISO 11885. Le fer et le chrome ont été quantifiés par colorimétrie, mesurer les métaux lourds selon le type d'échantillon (eau, sol, aliment, matériau).

4.1.9. Matière sèche (MS) :

La teneur en matière sèche et en eau dans les boues, est obtenue par séchage d'un échantillon dans une étuve à 105°C jusqu'à stabilisation du poids selon la norme NF EN 12880. Cette procédure permet d'une part de quantifier la teneur en eau libre dans l'échantillon et d'autre part d'exprimer les résultats en fonction de la masse sèche.

4.1.10. Détermination NTK NH_4^+ NO_2^- NO_3^- PT :

NTK : on transforme l'azote de l'échantillon en ammoniac par digestion à l'acide, puis on distille cet ammoniac et on le dose par titrage pour connaître la quantité totale d'azote.(ANFOR).

NH_4^+ : Dossage par formation du complexe indophénolique, mesure à 660nm (NF T90-015).

NO_2^- : Dossage par réaction de diazotation suivie d'un couplage azoïque, lecture à 540nm (NF T90-023).

NO_3^- : Réduction catalytique en NO_2^- sur colonne cu-cd, puis dosage colorimétrique des nitrites (NF T90-011).

Phosphore total (PT) : Digestion préalable, formation du complexe phosphomolybdique réduit en bleu, lecture à 880nm (NF T90-023).



Chapitre 4

Résultats

et discussion

1.Introduction

Ce chapitre présente une analyse approfondie des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées issues de la station d'épuration de la commune de Filfila, ainsi que l'évaluation des boues générées. Une expérimentation agronomique a également été menée afin d'évaluer la toxicité potentielle de ces boues et leur aptitude à être valorisées en tant qu'amendement organique des sols.

2. Séparation des boues et de l'eau

La séparation des phases solide et liquide constitue une étape cruciale dans le traitement des boues résiduaire. Deux techniques principales sont utilisées : la filtration et la centrifugation (McGraw-Hill, 2013). La filtration repose sur l'utilisation de supports poreux permettant la rétention des matières solides (filtre-press, filtre à bande), tandis que la centrifugation exploite la force centrifuge pour dissocier les composants solides et liquides.



Figure 9 : La technique de filtration



Figure 10: La technique de centrifugation

Figures 9 & 10: Schémas illustratifs des techniques de centrifugation et de filtration.

3. Caractérisation des eaux d'entrée et de sortie

3.1 Paramètres physiques

3.1.1. pH

Le pH des eaux brutes (7,5) et traitées (7,4) demeure neutre, favorable à la croissance végétale (FAO, 2015). Ces valeurs confirment la neutralité du traitement et sa compatibilité avec les normes agricoles (AFNOR, 2018)

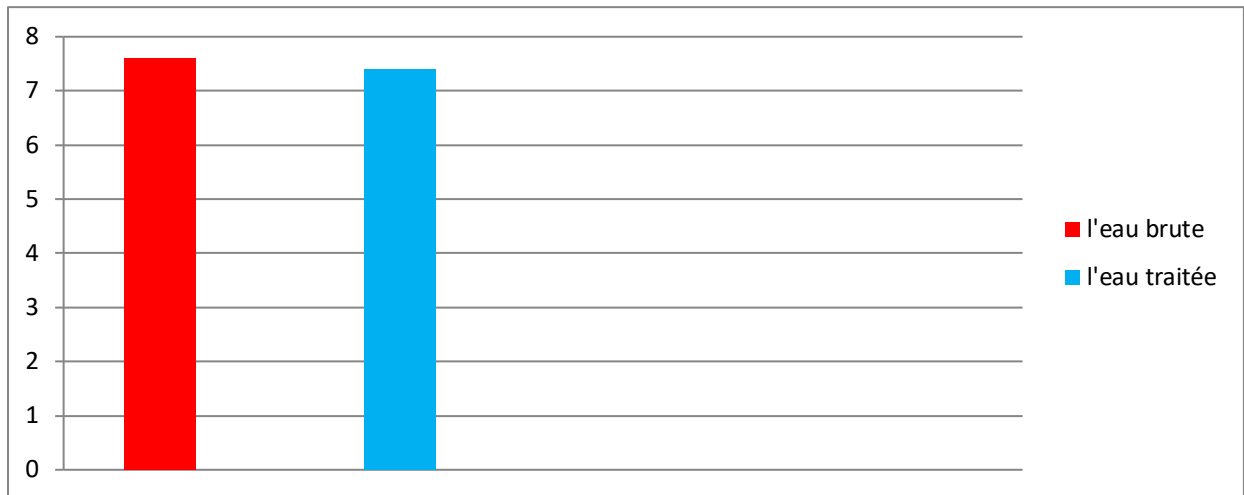


Figure 11 : Variation du pH avant et après traitement.

3.1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique a diminué de 1384 à 1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, traduisant une réduction des sels dissous de 17,6 %, en accord avec les performances observées dans d'autres STEP algériennes (DJOUDI, 2021 ; BOUKLI HACENE, 2020).

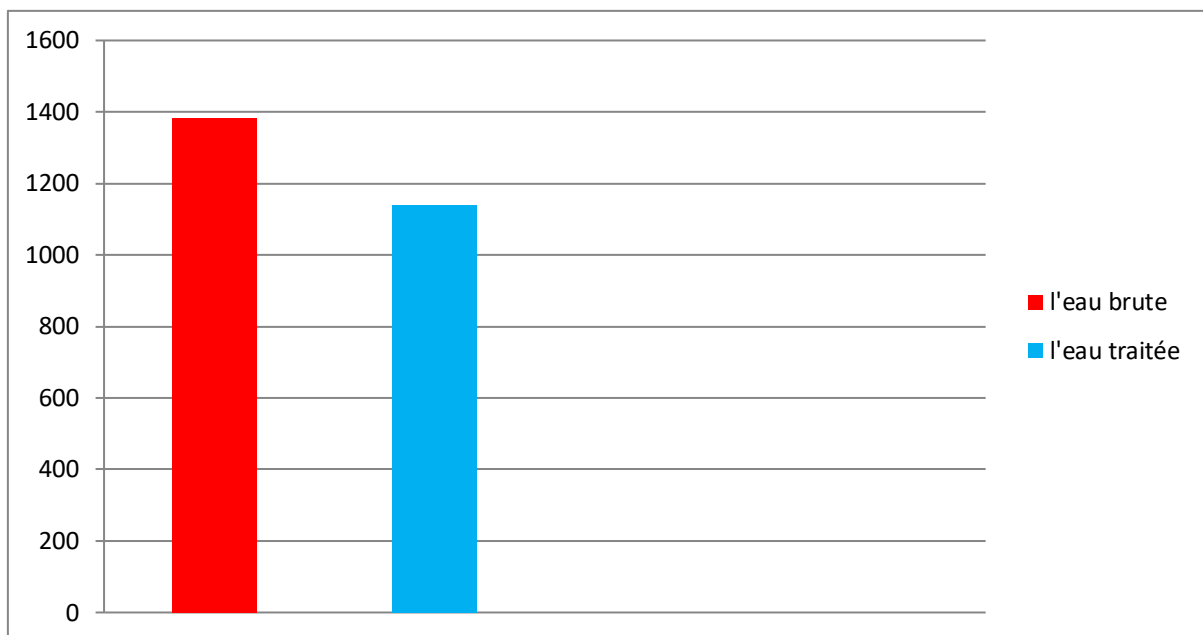


Figure 12 : Conductivité des eaux brutes et traitées.

3.1.3. Température

La température moyenne a légèrement chuté de 17,9 °C à 17,2 °C, une variation compatible avec les seuils de fonctionnement optimal des bactéries mésophiles (Bouha, 2020).

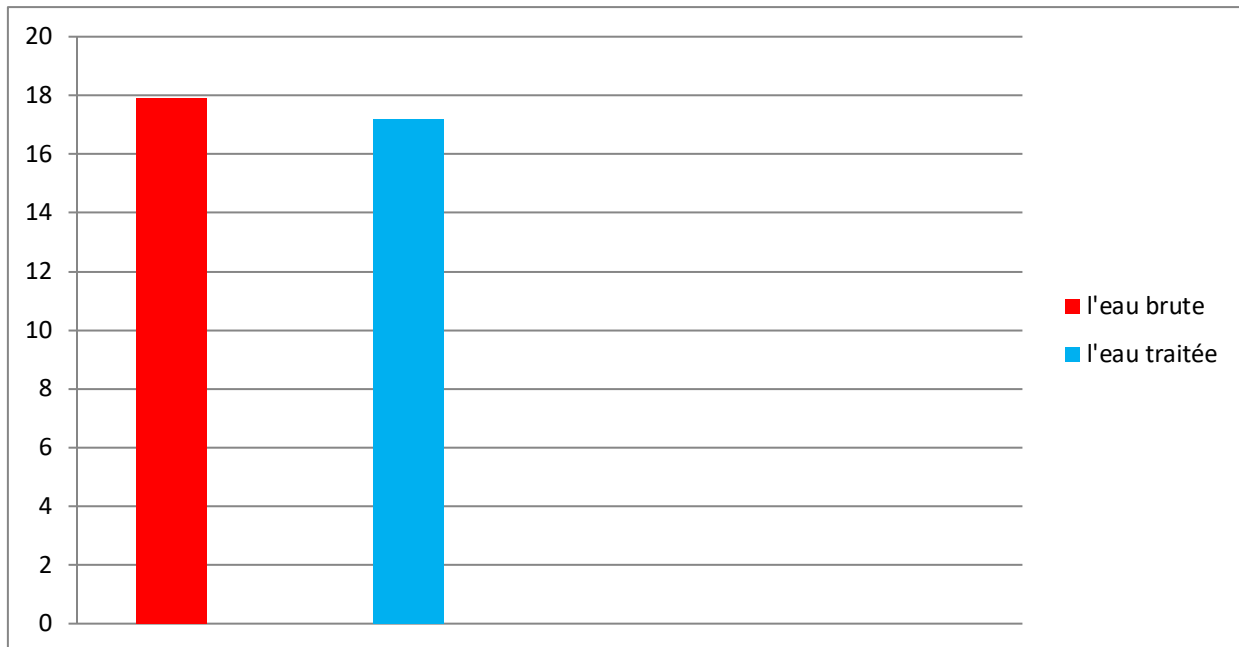


Figure 13 : Température des eaux d'entrée et de sortie.

3.2. Matières en suspension (MES)

Les MES sont passées de 134 à 4 mg/L après traitement, traduisant un rendement d'élimination supérieur à 97 % (Rodier, 2009 ; Metcalf & Eddy, 2003).

Tableau 03 : Concentration des MES avant et après traitement.

	Poids initial (mg)	Poids final (mg)	VI (ml)	MES (mg/L)
Eaux brutes	73,7	87,1	100	13,4
Eaux traitées	73	73,4	100	0,4

3.3 Paramètres chimiques

3.3.1. Demande biologique en oxygène (DBO)

La DBO a été réduite de 278 à 6 mg/L (>97 %), indiquant une excellente biodégradabilité (Metcalf & Eddy, 2003).

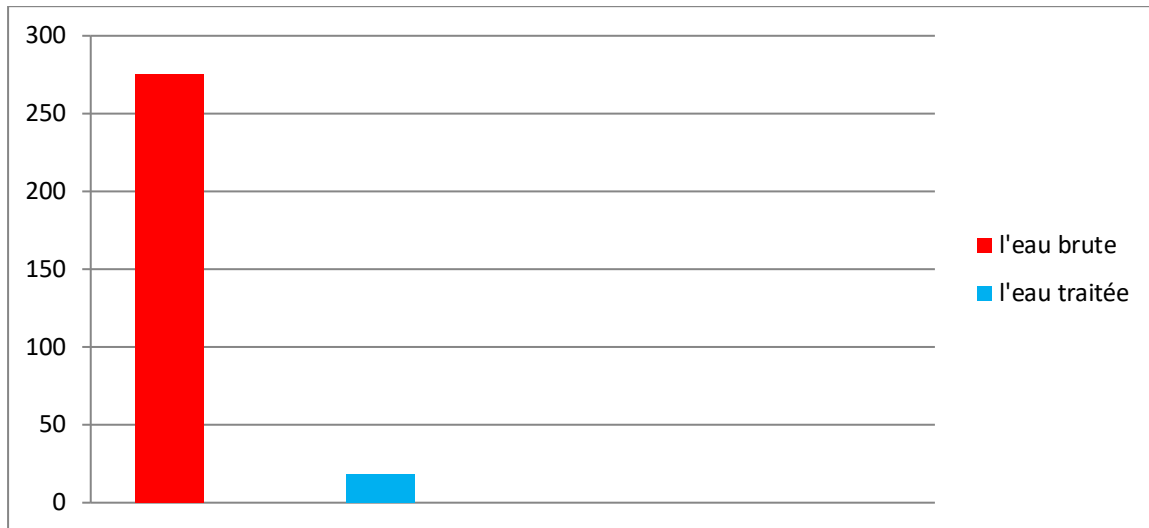


Figure 14 : DBO des eaux brutes et traitées.

3.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO a été réduite de 659 à 29 mg/L, soit une diminution de plus de 95 %, conforme aux normes françaises (≤ 70 mg/L) (SIAAP, 2023).

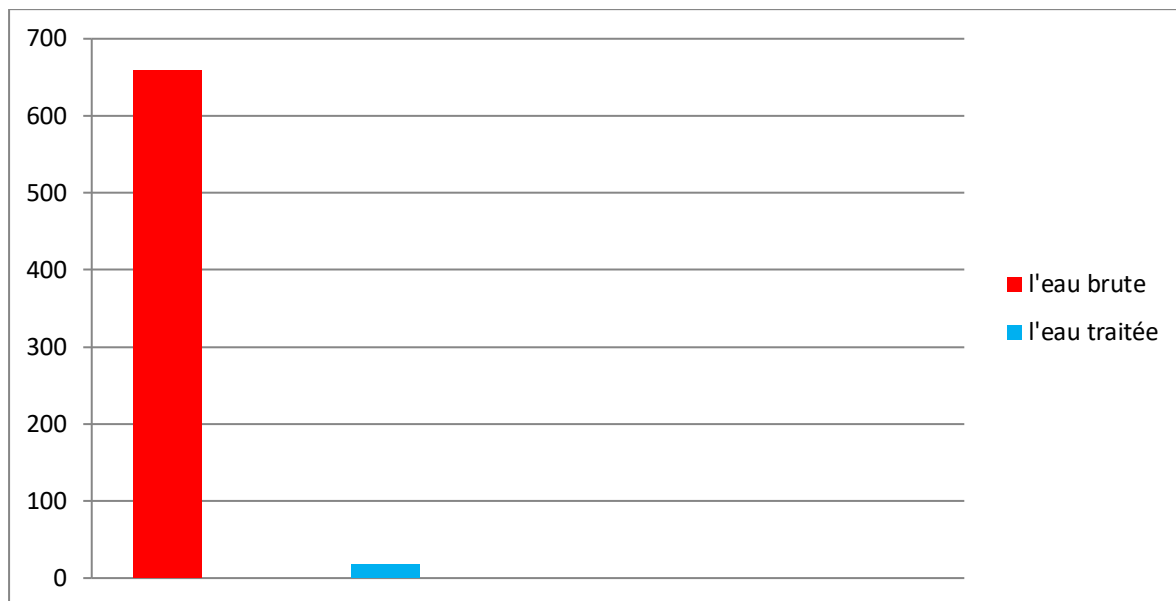


Figure 15 : DCO des eaux brutes et traitées.

3.4 Autres paramètres chimiques :

Tableau 04 : Résumé des paramètres azotés et phosphorés.

	NTK	NH ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Pt
Eaux Brutes	13,49	5,13	0,9	1,32	2,21
Eaux Traitées	2,67	0,8	0,07	3,03	0,65

- **NTK** : réduction de 13,49 à 2,67 mg/L (≈ 80 %)

Chapitre 4 : Résultats et discussion

- NH_4^+ : de 5,13 à 0,80 mg/L (Metcalf & Eddy, 2014)
- NO_2^- : de 0,90 à 0,07 mg/L (Rodier, 2016)
- NO_3^- : augmentation modérée, indicatrice d'une nitrification complète
- **Phosphore total (Pt)** : de 2,21 à 0,65 mg/L (OMS, 2017)

4. Métaux lourds

Tableau 05 : Concentrations en métaux lourds (mg/L).

Zn	Pb	Cu	Fer	Cr 6+
1,20 (mg/L)	0,005 (mg/L)	1,50 (mg/L)	4,79 (mg/L)	0,26 (mg/L)

Les métaux analysés (Zn, Pb, Cu, Fe, Cr^{6+}) ont montré des teneurs faibles à modérées, largement en dessous des seuils critiques (AFNOR, 2002), ce qui indique une pollution limitée et maîtrisée.

5. Expérimentation agronomique

– Test de germination sur lentilles :

ce expérience c'est pour tester la toxicité des boues et évaluer leur aptitude comme engrais pour l'amélioration des sols, en plus de comparer l'agriculture avec l'eau normal et l'eau traitée par la STEP de Filfila.



Figure 16 : Les pots de lentilles

6. comparaison des hauteurs selon la quantité de boue :

- Le graphique à gauche représente la hauteur de lentillees arrosées par l'eau normal en fonction de la quantité de boue.
- Le graphique à droite représente la hauteur de lentillees arrosées par l'eau traitées en fonction de la quantité de boue.

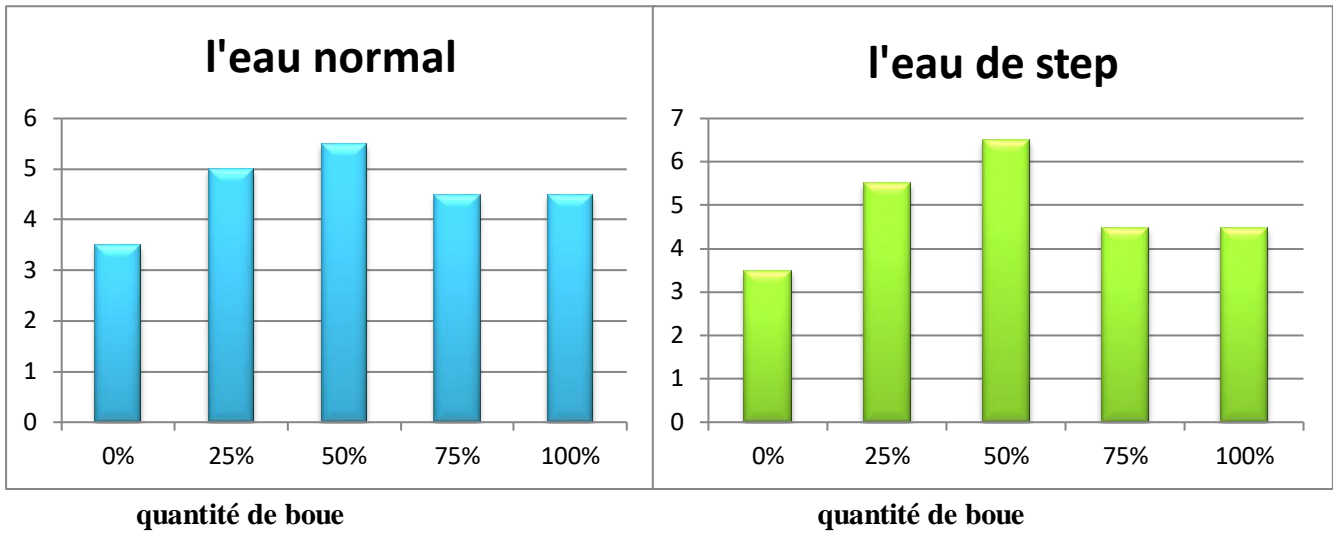


Figure 17 : Évolution de la croissance des lentilles selon l'irrigation à l'eau brute et à l'eau traitée 7 jours

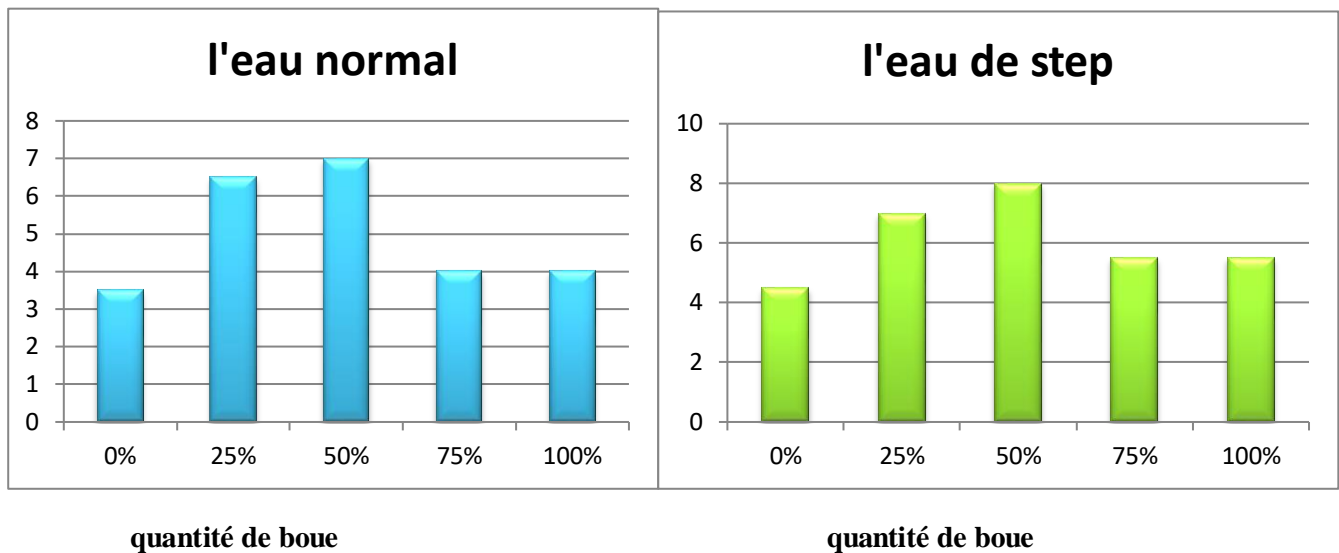


Figure 18 : Évolution de la croissance des lentilles selon l'irrigation à l'eau brute et à l'eau traitée après 14 jours

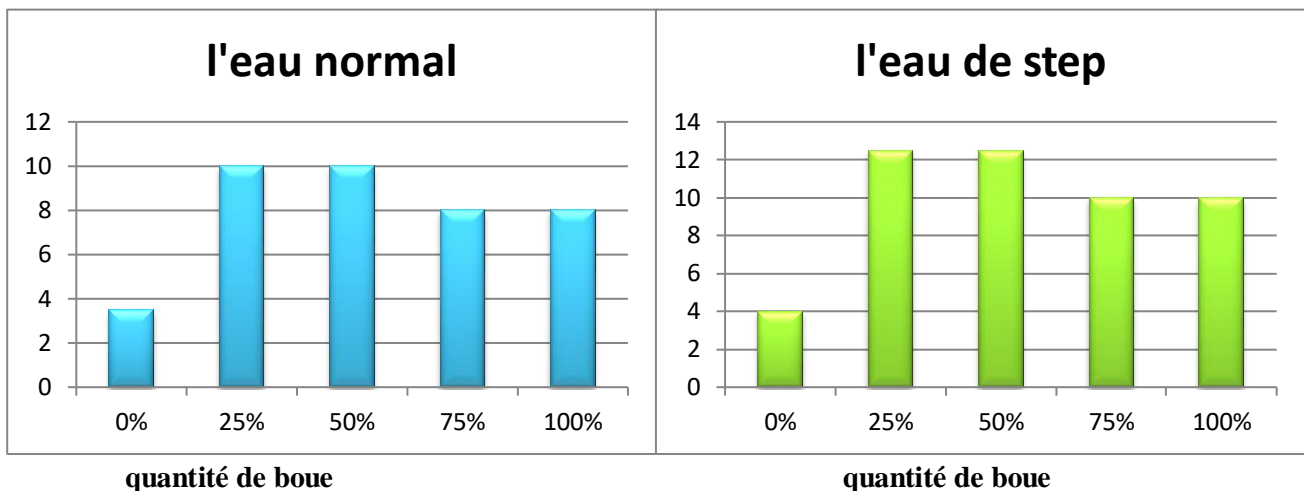


Figure 19 : Évolution de la croissance des lentilles selon l'irrigation à l'eau brute et à l'eau traitée après 21 jours

7. Analyse des courbes :

Première série :

- **L'eau normale** : La hauteur augmente jusqu'à 50 % de boue, puis diminue largement à 0 % de boue.
- **L'eau traité** : La hauteur augmente progressivement jusqu'à 25 % et 50% de boue, croissance moyenne à 75% et à 100 % puis un ralentissement de hauteur à 0 % de boue.

Deuxième série :

- **L'eau normale** : une légère augmentation à 50% et 25% avec une stabilité de croissance dans 75%, 100% et 0 % de boue.
- **L'eau traité** : Une hauteur bien élevée à 50% moyenne à 25% , faible à 0 % .

Troisième série :

- **L'eau normale** : augmentation maximale de 10 cm à 25% et 50% de boue et lent à 75% et 100 % , se retirer à 0% boue.
- **L'eau traité** : augmentation significative de la hauteur de 12,5 cm à 50 % et à 25% , lent à 75 % et se retirer à 0% et à 100 % .



Figure 20 : les pots de lentilles de l'eau normale



Figure 21 : les pots de lentilles de l'eau traité

8. Discussion des résultats :

1. L'effet de l'eau traitée sur la croissance de lentille :

L'eau traitée provenant de la STEP de Filfila présente de meilleures performances à des proportions de 25 % et 50 % de boues par rapport à l'eau normale dans les trois séries testées. Cela démontre l'efficacité remarquable du traitement des eaux usées, tant en termes de réduction des polluants que de stabilisation des boues. Ainsi, cette eau traitée constitue une alternative prometteuse pour l'irrigation et l'agriculture, comme le confirment plusieurs études précédentes (Aidi et al., 2018; Tarchouna et al., 2010).

2. L'effet de boue sur la croissance de lentille :

Les résultats montrent que les boues issues de la STEP de Filfila n'ont présenté aucun effet inhibiteur sur la croissance de la plante de lentille. Une croissance optimale a été observée avec des teneurs en boues de 25 % et 50 %, démontrant leur efficacité dans l'amélioration du sol. Toutefois, la quantité de boues nécessaire pour obtenir les meilleurs résultats doit être prise en compte. Les analyses physico-chimiques effectuées sur les boues et l'eau, ainsi que les résultats agronomiques des différents mélanges, confirment leur innocuité pour les plantes et leur rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité des sols (Chen et al., 2021; Lu et al., 2012).



Figure 22 : les plantes de lentille de l'eau normal



Figure 23 : les plantes de lentille de l'eau traitée



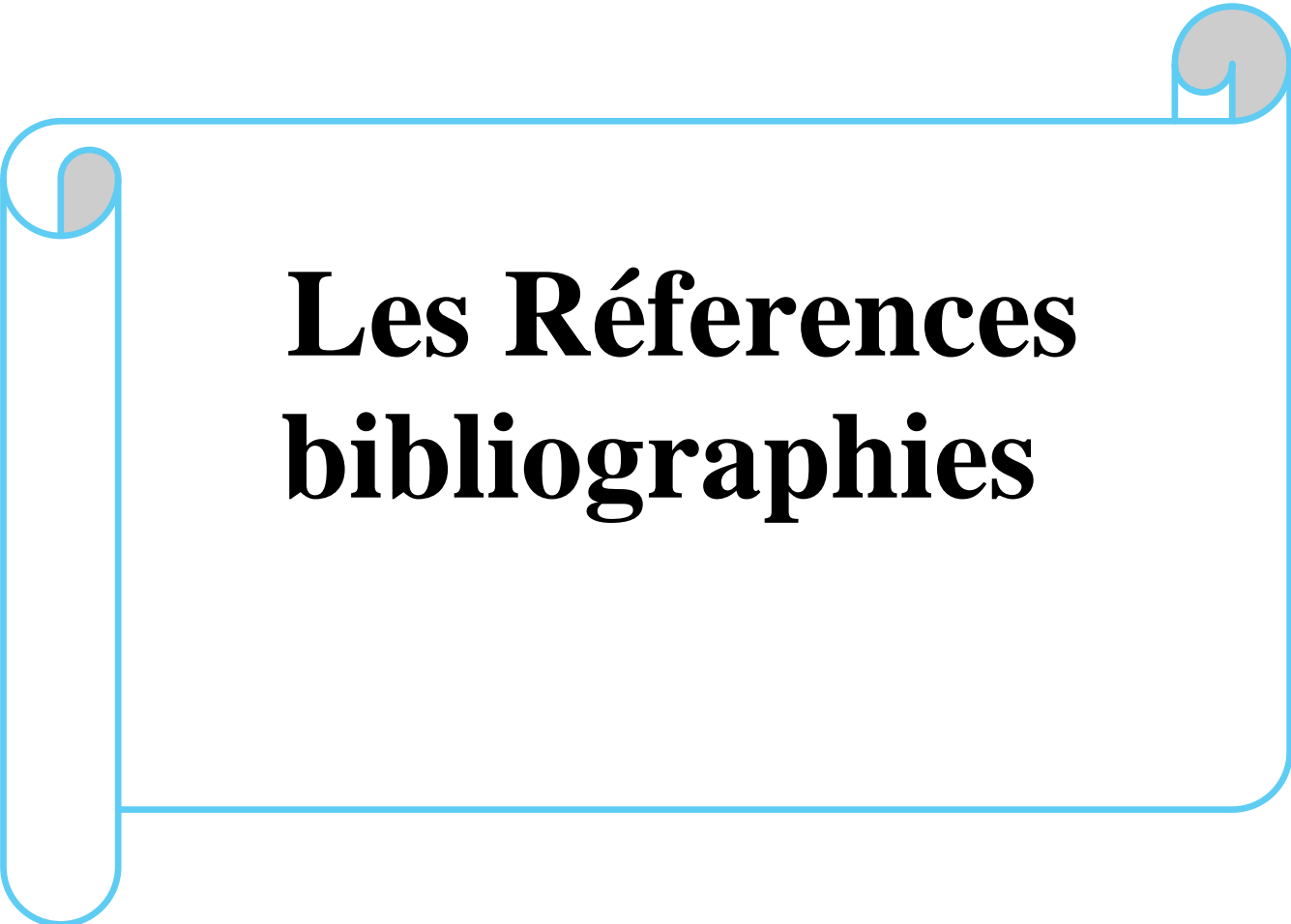
**Conclusion
générale**

Conclusion générale

L'étude de la valorisation des boues de la station d'épuration de Filfila a permis de mettre en lumière une solution innovante à double impact : environnemental et agricole. Les boues, longtemps considérées comme un résidu à éliminer, révèlent en réalité un fort potentiel agronomique grâce à leur richesse en matière organique, en nutriments essentiels et leur capacité à améliorer la structure des sols. Cette approche s'inscrit pleinement dans une logique d'économie circulaire où le déchet devient ressource (Amrane & Boudiaf, 2019).

Les résultats pratiques obtenus confirment ce potentiel : les boues issues de la STEP de Filfila n'ont montré aucun effet inhibiteur sur la croissance des lentilles. Une croissance optimale a été observée avec des teneurs en boues de 25 % et 50 %, soulignant leur efficacité dans l'amélioration du sol. Les analyses physico-chimiques et agronomiques attestent de leur innocuité pour les plantes et de leur contribution significative à l'amélioration des propriétés édaphiques. De plus, l'utilisation de l'eau traitée de la STEP pour l'irrigation a montré de meilleures performances de croissance comparativement à l'eau normale.

Cependant, pour passer d'une expérimentation à une pratique à grande échelle, il est impératif de renforcer le cadre réglementaire, d'assurer un suivi environnemental rigoureux, et de sensibiliser les parties prenantes, notamment les agriculteurs. La valorisation des boues de Filfila ne doit pas être perçue uniquement comme une opportunité technique, mais comme un projet territorial intégré, alliant innovation, sécurité sanitaire et durabilité (Ministère des Ressources en Eau, 2022).



Les Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Adda, A., & Chenina, F. (2015). *Étude de la composition des boues issues du traitement des eaux usées*. Revue des Sciences de l'Eau.
- ADEME. (2020). La réutilisation des eaux usées traitées : une solution face au stress hydrique. Agence de la Transition Écologique. <https://bibliothèque.ademe.fr>
- AFNOR. (1994). Qualité des sols – Recueil de normes françaises. Paris : AFNOR.
- AFNOR. (1996). Détermination du carbone organique total – Méthode par oxydation humide. Paris : AFNOR.
- AFNOR. (2002). Norme NF U44-041 : Produits résiduels organiques – Boues d'épuration – Critères d'utilisation en agriculture. Association Française de Normalisation.
- AFNOR. (2018). Traitement des eaux usées – Normes et bonnes pratiques. Association Française de Normalisation. <https://www.afnor.org>
- AFNOR. (2018). Traitement des eaux usées – Normes et pratiques. Association Française de Normalisation.
- Aidi, H., et al. (2018). "Use of treated wastewater in irrigation: effect on soil and crop." *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3416-3425.
- Amrane, A. & Boudiaf, M. (2019). Impacts agroenvironnementaux de la valorisation des
- Anne, P. (1945). Sur la détermination de la matière organique des sols. *Annales Agronomiques*, 15, 161-168.
- Benhassine, Y. (2021). Évaluation de la performance d'une STEP en Algérie. Univ. de Blida.
- boues d'épuration. *Revue des Sciences Agronomiques*, vol. 16(2), pp. 33–50.
- boues en agriculture. Édition officielle, Alger.
- Bouha, M. (2020). Impact de la température sur les traitements biologiques. Univ. de Constantine.
- Chaussod, R., & Germon, J. C. (1977). Valorisation des boues en agriculture. INRA.
- Clarke, B. O., & Smith, S. R. (2011). Review of 'emerging' organic contaminants in biosolids and assessment of international research priorities for the agricultural use of biosolids. *Environment International*, 37(1), 226–247. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.06.004>
- Debba, H. (1998). Les boues d'épuration : aspects physico-chimiques et valorisation. Thèse.
- Degremont. (1978). Mémento technique de l'eau. Paris : Degremont.
- Chen, Y., et al. (2021). "Application of sewage sludge in agriculture: Benefits and environmental risks." *Environmental Science and Ecotechnology*, 5, 100077.
- Drouineau, G. (1942). Dosage du calcaire actif dans les sols. *Annales Agronomiques*, 12(1), 41–50.
- Duchêne, P. (1990). Traitement des eaux usées et gestion des boues. Editions Tec & Doc.

les references bibliographies

- Encyclopédie de l'Environnement. (2018). L'épuration des eaux usées : enjeux et procédés. Université Grenoble Alpes. <https://www.encyclopedie-environnement.org>
- EPA (2020). Nutrient Removal in Wastewater Treatment Plants. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- European Commission. (2020). *Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe*. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
- Fiche technique d'analyse – STEP FERJLA, Laboratoire SONEDE GAB / Sfax (29/01/2025)
- Fytily, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
- IFTS (Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives). (2019). Technologies innovantes pour l'optimisation des stations d'épuration. IFTS Publications. <https://www.ifts-sls.com>
- Kabir, M. H., Iqbal, M. T., & Islam, M. S. (2011). Use of lentil (*Lens culinaris*) as a sensitive plant to assess soil phytotoxicity. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 563–567.
- Khelifi, O. (2020). Valorisation agricole des boues en milieu semi-aride : cas de Filfila.
- La librairie ADEME
- La Sentinelle. (2023, 4 juin). La station d'épuration de Filfila : une infrastructure stratégique pour la région de Skikda. <https://www.lasentinelle.dz>
- La STEP de la ville SBA: Résultats et discussion - wikiMemoires
- Ladjel, F., & Abbou, S. (2016). Gestion durable des déchets organiques. *Revue Environnement & Développement*.
- Liénard, J.-F. (2007). *Traitement des eaux usées domestiques : principes, technologies et dimensionnement*. Éditions Tec & Doc, Lavoisier.
- Lu, Q., He, Z. L., & Stoffella, P. J. (2012). Land application of biosolids in the USA: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/201462>
- Lu, Q., He, Z.L., & Stoffella, P.J. (2012). "Land application of biosolids in the USA: A review." *Applied and Environmental Soil Science*, 2012, Article ID 201462.
- Malakootian, M., Nasiry, Z., & Shahmoradi, B. (2018). Evaluation of heavy metal concentrations in sewage sludge of wastewater treatment plants in Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(3), 118. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7299-6>
- Mémoire de Master, Université de Constantine 1.
- Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5^e édition). McGraw-Hill Education.
- Metcalf & Eddy, 2014. "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery".
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering*.
- Ministère des Ressources en Eau. (2022). Guide technique national pour l'utilisation des

les references bibliographies

- NF ISO 10390. (2005). Qualité du sol – Détermination du pH. Organisation internationale de normalisation.
- Norme française : demande chimique en oxygène (DCO) ≤ 70 mg/L (≥ 95 % de réduction recommandée). Données de performance générales pour les stations municipales.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau potable – Critères sanitaires et environnementaux. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- OMS. (2017). Directives pour l'utilisation sans danger des eaux usées, des excreta et des eaux usées traitées en agriculture. Organisation mondiale de la santé.
- Radio Algérienne. (2023, 23 novembre). La station d'épuration de Filfila : un rempart contre la pollution. <https://www.radioalgerie.dz>
- Rodier, J. (2016). L'analyse de l'eau – Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (10^e édition). Dunod.
- Rodier, J. et al. (2016). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (10^e éd.). Dunod.
- Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H., & Rodi, L. (2016). 17-L'analyse de l'eau – Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (10^e édition). Dunod.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9^e éd.). Paris : Dunod.
- Rodríguez-Canché, L. G., Hernández-Melchor, D. J., & Jiménez-Cisneros, B. (2010). Hygienization of municipal sewage sludge by composting with different carbon sources. *Waste Management & Research*, 28(1), 80–90. <https://doi.org/10.1177/0734242X09341220>
- Sadowski, A. (2002). Techniques de déshydratation des boues. Traitement des eaux.
- SIAAP (2023). Rapport annuel de la station de Seine-Grésillons. Service public de l'assainissement francilien.
- Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>
- Solagro. (2001). La valorisation énergétique des boues issues du traitement des eaux usées. Solagro Éditions. <https://www.solagro.org>
- Station d'épuration de La GrandeMotte (Occitanie)
- Station d'épuration SeineGrésillons (ÎledeFrance)
- Tarchouna, L., et al. (2010). "Effects of municipal treated wastewater irrigation on soil properties and production of lettuce (*Lactuca sativa* L.)." *Journal of Environmental Protection*, 1(3), 251-260.
- Zhang, X., Sun, H., & Yu, Q. (2016). Organic carbon to nitrogen ratios and nutrient dynamics in soil amended with sludge. *Waste Management*, 49, 61–68.

les references bibliographies

- Zhang, Y., Schilling, K. E., & Hill, R. L. (2017). Biosolids application improves soil health indicators on agricultural land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.015>



Annexes

1.Étapes de la filtration :

Préparation du filtre : Lavage, séchage à 105 °C, puis pesée (M_0). 2. mise en place de la filtration : Installation du filtre, homogénéisation de l'échantillon, filtration d'un volume connu (V). 3. Rinçage et lavage : Rinçage du flacon avec 10 mL d'eau distillée, puis ajout sur le filtre. 4. Séchage et pesée final : Séchage du filtre, refroidissement, puis pesée finale (M_1).

2.Méthode de centrifugation :

Étapes de la centrifugation (résumé) : 1. Prélever un volume d'eau (50, 60 ou 100 mL). 2. Centrifuger l'échantillon pour séparer les particules solides. 3. Retirer le surnageant (le liquide clair en surface) par siphonnage sans perturber le dépôt. 4. Laisser environ 10 mm de liquide au-dessus du dépôt solide.

3 .Calcul des MES (mg/L) :

La concentration en MES est donnée par la formule : $MES = (M1 - M0)/V \times 1000$ où : • M_0 : Masse initiale du filtre (mg) • M_1 : Masse finale du filtre avec résidus (mg) • V : Volume d'eau filtrée (mL) Ce protocole permet d'obtenir la teneur en MES dans l'échantillon d'eau analysée.

4.Principe analytique d'une mesure de volume de décantation (V30) :

• Décantation d'un litre de boues activées après 30 minutes • Dans un bêcher cylindrique de 1 L • Volume de décantation après 30 minutes : V30 (mL) Sinon, il faut diluer avec l'eau traitée.

5 .Évaluation de la décantation des boues, liée aux MES par l'indice de boues (IB) :

• < 100 : décantation supérieure • <150 : bonne décantation • <200 : mauvaise décantation • < 250 : décantation extrêmement difficile

6.Les métaux lourds : Attaque acide :

On prend 1 g d'échantillon séché et on ajoute 10 mL HCl concentré sur la résistance jusqu'à sec. Reprendre avec 10 mL HCl, chauffer jusqu'à ce qu'il reste 3 mL de solution. On ajoute 10 mL de HNO₃, chauffer, s'il se dégage des vapeurs nitreuses, reprendre avec 10 mL de HNO₃ jusqu'à obtenir 5 mL de solution. Ajouter 2 à 3 mL de HClO₄, chauffer jusqu'à apparition de fumées blanches. Laisser refroidir. Ajouter 50 mL. d'eau distillée. •Pereuset vide =82, 1647g •pereuset plein =1, 0040g •Masse d'échantillon = 1g

Liste de Figure

Nom	Titre	Page
Figure 1	situation de la step de filfila (google earth)	8
Figure2	Les étapes de traitement des eaux usées au niveau de la step de filfila	9
Figure3	la station d'épuration de la commun de filfila	10
Figure4	Les boues résiduelles de la step de Filfila	13
Figure5	Schema sur different type des boues	14
Figure6	Schéma sur phase de traitement	15
Figure 7	pH mètre	20
Figure 8	conductivité mètre	21
Figure9	La technique de filtration	24
Figure 10	La technique de centrifugarion	24
Figure 11	Variation du pH avant et après traitement	25
Figure 12	Conductivité des eaux brutes et traitées	25
Figure 13	Température des eaux d'entrée et de sortie	26
Figure 14	DBO des eaux brutes et traitées	27
Figure 15	DCO des eaux brutes et traitées	27
Figure 16	Les pots de lentilles	29
Figure 17	croissance et l'hauteur de lentilles arrosé avec l'eau normal et traité après 7 jours	30
Figure 18	croissance et l'hauteur de lentilles arrosé avec l'eau normal et traité après 14 jours	30
Figure 19	croissance et l'hauteur de lentilles arrosé avec l'eau normal et traité après 21 jours	30
Figure 20	Les pots de lentille de l'eau normal	31
Figure 21	Les pots de lentille de l'eau traité	31
Fugure 22	Les plants de lentille de l'eau normal	32
Figure 23	Les plants de lentille de l'eau traité	32

Liste des tableaux

Nom	Titre	Page
Tableau n 01	Composition des boues résiduaire	14
Tableau n 02	Proportions des substrats sol-boue	20
Tableau n 03	Concentration des MES avant et après traitement.	26
Tableau n 04	Résumé des paramètres azotés et phosphorés.	27
Tableau n 05	Concentrations en métaux lourds (mg/L).	28

Liste des abréviations

- Step : station de traitement des eaux usées
- MES : Matières en Suspension
- DBO5 : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
- DCO : Demande Chimique en Oxygène
- MO : Matière Organique
- pH : Potentiel Hydrogène
- CE : Conductivité Électrique
- Ni : Nickel
- NO₂⁻ : Nitrites
- NO₃⁻ : Nitrates
- MVES : Matières Volatiles en Suspension
- Cu : Cuivre
- Cr⁶⁺ : Chrome hexavalent
- N : Azote
- P : Phosphore
- NTK : Azote Total Kjeldahl
- NH₄⁺ : Ammonium
- Cr : Chrome (total)
- Hg : Mercure
- Zn : Zinc
- Pb : Plomb
- _Fe : Fer