ا لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الـوطـنـيـة العليا للـتـكـنـولـوجـيـات المـتـقـدمـة
Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées

Département de Génie des Procédés
Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Filière :
Génie des Procédés

Spécialité :
Traitement des eaux

Thème**:**

Valorisation des rejets des STEP

Réalisé par :

DOUIDA Assila

Les membres de Jury :

Mme HANAFIA Amira	MCB/ENSTA	Présidente
Mme SMAIL Fatima	MAA/ENSTA	Examinatrice
Mme LEBIK Hafida	MRA/UDES	Promotrice
Mme ZEMMOURI Hassiba	Prof/ENSTA	Co-Promotrice

Alger, le 25/06/2024

Année universitaire 2023/2024

ملخص

تمثل إدارة مياه الصرف الصحي وحمأة مياه الصرف الصحي تحديًا كبيرًا للمجتمعات الحديثة، لا سيما في الجزائر. تستكشف هذه الأطروحة الجوانب المختلفة لهذه الإدارة، مع التركيز على ثلاثة مجالات رئيسية: توصيف ومعالجة حمأة مياه الصرف الصحي، وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، والإطار التنظيمي الجزائري. في هذا العمل، نقوم بتحليل أنواع الحمأة وطرق معالجتها لتقليل حجمها وتأثيرها البيئي، والتطبيقات المختلفة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، مع تسليط الضوء على مزاياها والتحديات التقنية والصحية، والمعايير واللوائح في الجزائر، وتحديد المبادرات الحالية واقتراح تحسينات لإدارة أكثر فعالية واستدامة. والهدف من ذلك هو توفير فهم شامل وحديث للممارسات واللوائح، مع اقتراح طرق لتحسين إدارة موارد المياه والحمأة في الجزائر.

الكلمات الرئيسية: إدارة مياه الصرف، حمأة التنقية، إعادة استخدام مياه الصرف، الإطار التنظيمي، معالجة الحمأة

Résumé

La gestion des eaux usées et des boues d'épuration est un défi majeur pour les sociétés modernes, notamment en Algérie. Ce mémoire explore les différentes facettes de cette gestion, en se concentrant sur trois axes principaux : la caractérisation et le traitement des boues d'épuration, la réutilisation des eaux usées épurées, et le cadre réglementaire algérien. Dans ce travail nous analysons les types de boues et les méthodes de traitement pour réduire leur volume et leur impact environnemental, les diverses applications de la réutilisation des eaux usées épurées, soulignant ses avantages et les défis techniques et sanitaires, ainsi que les normes et réglementations en Algérie, identifiant les initiatives actuelles et proposant des améliorations pour une gestion plus efficace et durable. Et ce, dans le but d'offrir une compréhension globale et actualisée des pratiques et réglementations, tout en suggérant des pistes pour optimiser la gestion des ressources en eau et des boues en Algérie.

Mots clés : *gestion des eaux usées, boues d'épuration, réutilisation des eaux usées, cadre réglementaire, traitement des boues.*

.

Abstract

The management of wastewater and sewage sludge is a major challenge for modern societies, particularly in Algeria. This dissertation explores the various facets of this management, focusing on three main areas: the characterization and treatment of sewage sludge, the reuse of treated wastewater, and the Algerian regulatory framework. In this work we analyse sludge types and treatment methods to reduce their volume and environmental impact, the various applications of reuse of treated wastewater, highlighting its technical and health benefits and challenges, as well as standards and regulations in Algeria, identifying current initiatives and proposing improvements for more efficient and sustainable management. The aim is to provide a comprehensive and up-to-date understanding of practices and regulations, while suggesting ways to optimize water and sludge resource management in Algeria.

Keywords: *wastewater management, sludge treatment, wastewater reuse, regulatory framework.*

Remerciement

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier l'unité de développement des équipements solaires (U.D.E.S) pour m'avoir accueilli tout au long de mon stage.

J'exprime ma sincère reconnaissance à ma chère promotrice, Mme LEBIK Hafida, maître chercheur à l'unité de développement des équipements solaires (UDES) de Bou-Ismail. Merci de m'avoir accompagné, encadré, orienté, aidé et conseillé tout au long de ce travail.

Je remercie également tous les ingénieurs et chercheurs du laboratoire d'épuration et de valorisation des eaux de rejets « EVER », en particulier Mme S. MAHIDINE, pour son aide précieuse et pour m'avoir offert toutes les conditions de travail nécessaires.

Enfin, je voudrais remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer mon travail.

Sommaire

Remerciement I
Sommaire II
Listes de figures IV
Listes des tableaux IV
Introduction générale 1
Chapitre I : Valorisation des boues d'épuration 2
1. Introduction 2
2. Généralités sur les boues 2
2.1 Définition des boues 2
2.2 Types de boues 2
2.2.1 Boues primaires 2
2.2.2 Boues physico-chimiques 2
2.2.3 Boues biologiques 3
2.2.4 Boues mixtes 3
2.3 Caractéristiques des boues 3
2.3.1 Caractéristiques physiques 3
2.3.2 Caractéristiques chimiques 3
2.4 Traitement des boues 4
2.4.1 Epaississement 4
2.4.2 Stabilisation 5
2.4.3 Conditionnement 5
2.4.4 Déshydratation 5
3. Valorisation des boues 6
3.1 Valorisation énergétique 6
3.2 Valorisation thermique 6
3.3 Valorisation agricole des boues 6
Chapitre II : Valorisation des eaux usées épurées 8
1. Introduction 8
2. Définition de la réutilisation des eaux usées épurées 8
3. Domaines de réutilisation des eaux usées épurées 8

3.1 Réutilisation pour l'eau potable 8
3.2 Réutilisation en aquaculture et pisciculture 8
3.3 Réutilisation en zone urbaine 9
3.4 Réutilisation industrielle 9
3.5 Recharge de nappes 9
3.6 Réutilisation agricole 10
4. Conclusion 10
Chapitre III : Situation Algérienne et cadre réglementaire 11
1. Introduction 11
2. Situation Algérienne 11
2.1 Les eaux usées épurées 11
2.2 Les boues 15
3. Cadre réglementaire 15
3.1 L'utilisation des boues d'épuration 15
3.2 Gestion des eaux usées épurées 15
4. Conclusion 17
CONCLUSION GENERALE 18
Références bibliographiques 19

Listes de figures

FIGURE 1:LES ETAPES DE TRAITEMENT DES BOUES ---------- 5
FIGURE 2: L'EPANDAGE DES BOUES ---------- 6
FIGURE 3 : ASPECTS DE REUTILISATION DES EU DANS LES DIFFERENTES REGIONS DU MONDE* ---------- 10

Listes des tableaux

Tableau 1:Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles……12

Tableau 2:: Normes de réutilisation des eaux usées épurées ……...16

Introduction générale

La gestion des eaux usées et des boues d'épuration constitue un défi majeur pour les sociétés modernes, confrontées à une urbanisation croissante et à une demande en ressources naturelles de plus en plus pressante. L'épuration des eaux usées, indispensable pour la protection de l'environnement et de la santé publique, génère des boues dont l'élimination et la valorisation posent de nombreux enjeux techniques, économiques et écologiques.

Ce master se propose d'étudier de manière théorique les différentes facettes de la gestion des boues d'épuration et des eaux usées épurées, en mettant particulièrement l'accent sur le contexte algérien. Il s'articule autour de trois chapitres principaux :

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble sur les boues d'épuration. Il définit les différents types de boues, leurs caractéristiques spécifiques et les méthodes de traitement couramment utilisées. Il explore également les options d'élimination et de valorisation, notamment énergétique, thermique et agricole, offrant une perspective sur les avantages et les défis de chaque méthode.

Le second chapitre se concentre sur les domaines de réutilisation des eaux usées épurées. Après avoir défini la notion de réutilisation des eaux, il examine les diverses applications possibles, telles que l'eau potable, l'aquaculture, la pisciculture, les usages urbains et industriels, ainsi que la recharge des nappes phréatiques et l'irrigation agricole. Ce chapitre met en lumière les bénéfices potentiels de la réutilisation des eaux usées.

Enfin, **le troisième chapitre** aborde les normes et réglementations en vigueur en Algérie concernant la réutilisation des eaux usées épurées et l'utilisation des boues. Il examine la situation actuelle en Algérie, les normes algériennes spécifiques, et les stratégies de gestion adoptées pour assurer une réutilisation sécurisée et durable.

Ce travail vise à fournir une compréhension théorique complète et actualisée des pratiques et réglementations relatives aux boues d'épuration et aux eaux usées épurées, tout en proposant des pistes d'amélioration pour une gestion plus efficace et durable dans le contexte algérien.

Chapitre I : Valorisation des boues d'épuration

1. Introduction

Les boues issues du traitement des eaux usées posent un important défi environnemental. Encore connues sous le nom de biosolides, elles contiennent un mélange complexe d'eau et de matières solides. Bien les gérer est crucial pour minimiser leur impact environnemental et exploiter leur potentiel de valorisation. Il est important de comprendre les différentes sortes de boues, leurs propriétés physiques et chimiques, ainsi que les méthodes de traitement disponibles, afin de pouvoir les valoriser en production énergétique, en agriculture ou autres.

2. Généralités sur les boues

2.1 Définition des boues

D'après la norme Algérienne 17731 de 2010, les boues sont définies comme les résidus sédimentaires provenant des installations de traitement des eaux usées urbaines (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.2020).

Ces boues, également connues sous le nom de biosolides, constituent les principaux déchets générés par une station d'épuration. Elles se composent d'un mélange d'eau et de matières solides résultant du traitement des eaux usées dans diverses installations de traitement, qu'elles soient naturelles ou artificielles.

2.2 Types de boues

2.2.1 Boues primaires

Ils se forment par la décantation des eaux usées, récoltant ainsi un mélange riche en matières minérales telles que les microsables et la terre, et contiennent des matières organiques sont obtenues dans les décanteurs digesteurs (LADJEL &ABBOU, 2014)

2.2.2 Boues physico-chimiques

Elles sont formées par un traitement biologique secondaire. Cela se produit après le premier traitement. Il permet d'éliminer les matières organiques qui ne peuvent être éliminées en amont. Ces boues sont donc majoritairement constituées de matières organiques et contiennent un faible pourcentage de matières inorganiques (LADJEL&ABBOU, 2014).

2.2.3 Boues biologiques

C'est un mélange entre les boues produites lors du traitement primaire par décantation et du traitement biologique secondaire, c'est-à-dire entre les boues primaires et psycho-chimiques (LADJEL &ABBOU , 2014).

2.2.4 Boues mixtes

Elles sont obtenues par décantation. Ces boues font suite à un traitement avec un réactif. Ces boues sont issues des filières du nucléaire et de la chimie.

2.3 Caractéristiques des boues

2.3.1 Caractéristiques physiques

2.3.1.1 La viscosité

Les boues ne sont pas des fluides newtoniens, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement, cette viscosité permet de définir leurs propriétés d'écoulement importantes pour le transport(SEDKI A, 1995).

2.3.1.2 La siccité

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

- Boues liquide : siccité de 0-10%.

- Boues pâteuses : siccité de 10 -25%.

- Boues solides : siccité de 25 -85%.

- Boues sèches : siccité supérieure à 85% (LADJEL et ABBOU, 2014).

2.3.2 Caractéristiques chimiques

2.3.2.1 Matières en suspension

Ces particules, organiques ou minérales, qui restent non dissoutes dans la pollution, représentent une portion significative de sa composition. Elles sont un indicateur crucial du niveau de pollution d'un effluent urbain ou industriel (Duguet et al., 2006).

2.3.2.2 Matières minérales

Le terme "extrait sec" désigne ce qui reste après l'évaporation complète de l'eau, incluant à la fois les matières en suspension et les substances solubles comme les chlorures et les

phosphates. Ce processus peut être accéléré en présence d'une quantité élevée de matières organiques qui consomment de l'oxygène (Duguet et al., 2006).

2.3.2.3 Matières volatiles sèches

C'est la part de la matière sèche pouvant facilement être biodégradable. Ainsi, plus ce taux de MVS est élevé, et plus la capacité à produire du biogaz est importante. Elles sont déterminées par calcination à 525 °C pendant 2 heures. La différence de poids entre les matières sèches à 105 °C et celles à 525 °C donne la perte au feu, qui correspond à la teneur en matières volatiles sèches dans l'eau, exprimée en mg/l (Duguet et al., 2006).

2.4 Traitement des boues

L'objectif principal du traitement des boues dans une station d'épuration est de réduire leur volume afin de limiter les quantités à stocker, tout en les stabilisants pour améliorer leurs caractéristiques physiques, telles que leur capacité à être empilées, et pour arrêter le processus de biodégradation qui s'y produit.

2.4.1 Epaississement

L'épaississement est la première étape pour réduire le volume des boues tout en augmentant leur concentration pour permettre la déshydratation. Avec clarification, peut obtenir un surnageant avec moins de matières en suspension, et l'épaississant est considéré comme un décanteur, qui augmente la teneur en matières en suspension des boues sous l'action de la gravité (Cardot, 2010).

Il existe deux principales catégories de procédés d'épaississement : gravitaire et dynamique.

2.4.1.1 Epaississement statique gravitaire

Le processus se déroule par décantation dans une cuve cylindrique à fond conique, où la gravité seule intervient. La boue épaissie est évacuée par la partie inférieure de la cuve.

L'eau surnageante est collectée et renvoyée en amont de la station. Les boues ainsi obtenues sont épaissies avec un facteur de concentration de 2 à 8 fois, ce qui correspond généralement à une siccité maximale de 3 à 3,5 % (Cerra et al., 2014).

2.4.1.2 Epaississement dynamique

Les procédés d'épaississement dynamique ou mécanique regroupent plusieurs techniques :

- La flottation et la centrifugation, couramment employées dans les installations de taille moyenne à grande ;

- L'égouttage, principalement utilisé dans les petites stations d'épuration, souvent avec des boues biologiques issues d'une aération prolongée.

2.4.2 Stabilisation

La stabilisation aérobie des boues vise à réduire la quantité de matières organiques dans la masse globale des matières de près de 60%. Cette réduction est réalisée par l'aération des boues sans ajout de substrat carboné, favorisant ainsi l'auto-synthèse de la masse cellulaire et la dégradation de la matière organique.

2.4.3 Conditionnement

Les matières organiques constituant la boue secondaire sont hydrophiles et retiennent une grande quantité d'eau même après des étapes simples de décantation ou d'épaississement. Par conséquent, un conditionnement préalable des boues est essentiel pour rendre l'opération de déshydratation économiquement viable et plus efficace.

Ce conditionnement vise principalement à réduire la stabilité colloïdale des particules, à faciliter la libération de l'eau ou à diminuer l'énergie de liaison entre l'eau et les particules pendant l'étape de déshydratation. Cela entraîne une modification des caractéristiques des boues.

Les techniques les plus couramment utilisées pour ce conditionnement sont le conditionnement thermique et le conditionnement chimique (Ghebremichael & Hultman, 2004).

2.4.4 Déshydratation

Les procédés de déshydratation visent à transformer la boue de son état liquide en une consistance plus ou moins solide, répondant aux exigences spécifiques de sa destination finale (Koller, 2004).

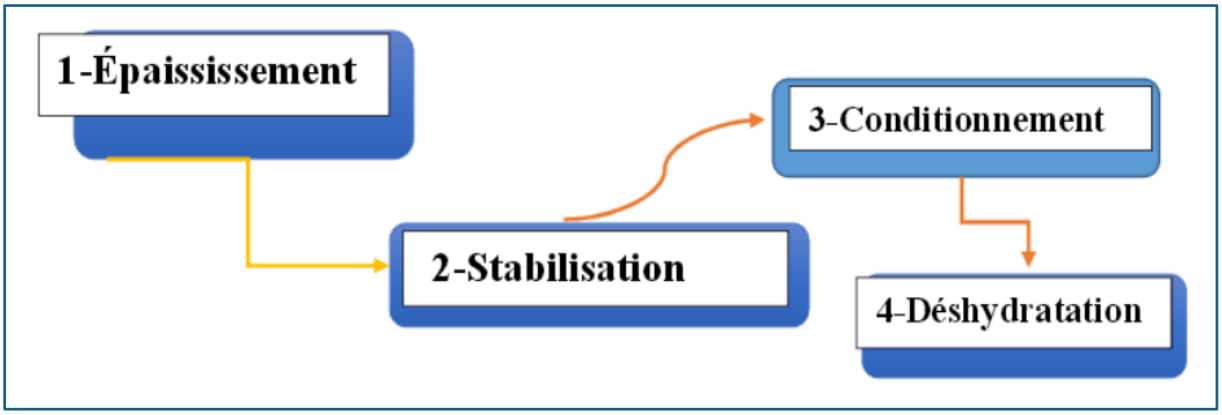


Figure 1:Les étapes de traitement des boues

3. Valorisation des boues

Toutes les opérations de traitement thermique, physicochimique et biologique sont mises en œuvre pour réduire l'impact des boues sur l'environnement, par :

3.1 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique passe par la méthanisation, qui est basée sur la dégradation de la matière organique des boues produites par des micro-organismes, en l'absence d'oxygène, qui aboutit à la production de bio méthane (LADJEL&ABBOU , 2014).

3.2 Valorisation thermique

La valorisation thermique se fait à travers l'incinération. C'est l'oxydation de matière organique. Lors de l'incinération, la matière organique est chauffée à plus de 600°C, ce qui provoque sa combustion. Cette combustion produit des matières volatiles et des matières minérales résiduelles (LADJEL&ABBOU , 2014)

3.3 Valorisation agricole des boues

Les boues utilisées en agriculture peuvent être liquides, pâteuses ou solides, et elles peuvent subir un chaulage ou un compostage.

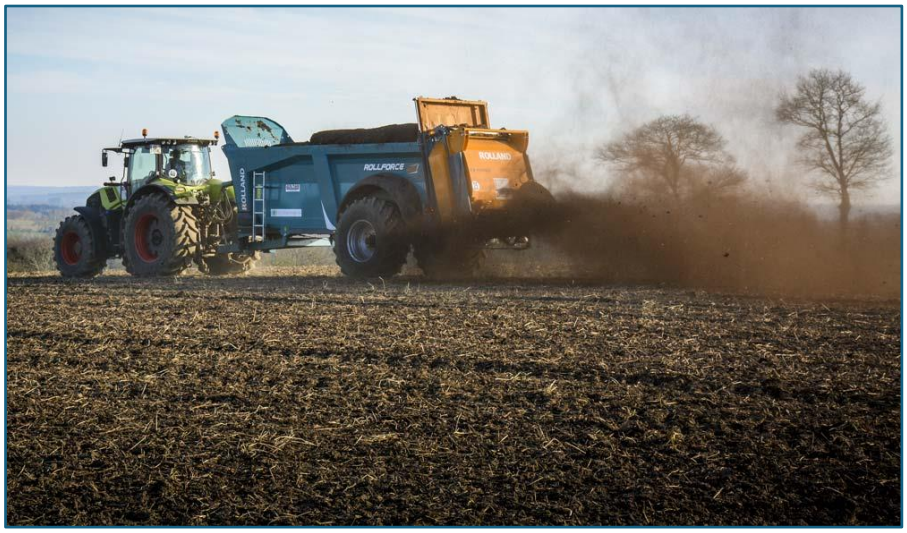


Figure 2: L'épandage des boues

Le processus de compostage est similaire à celui de l'humification naturelle des résidus organiques en substances humiques dans les sols. Il accélère la transformation biologique aérobie de la matière organique impliquant la formation de substances humiques et engendrant un produit stable : le compost. Le compostage est le résultat direct de l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie (Albrecht, 2007).

4. Conclusion

En conclusion, il est clair que la gestion des boues représente un défi crucial pour les installations de traitement des eaux usées. Les diverses méthodes de traitement telles que l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation jouent un rôle essentiel dans la réduction du volume des boues et la minimisation de leur impact sur l'environnement. De plus, une approche intégrée et bien planifiée de la gestion des boues est donc essentielle non seulement pour préserver l'environnement, mais aussi pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

Chapitre II : Valorisation des eaux usées épurées

1. Introduction

La réutilisation des eaux usées épurées est devenue une pratique cruciale dans la gestion durable des ressources en eau à l'échelle mondiale. Face à la pression croissante sur les ressources hydriques due à l'urbanisation rapide et aux changements climatiques, cette approche offre une solution innovante en transformant les eaux usées en une ressource précieuse. Ce chapitre traite des différentes méthodes et applications de la réutilisation des eaux usées épurées, en examinant les défis techniques, environnementaux et socio-économiques associés à cette pratique émergente.

2. Définition de la réutilisation des eaux usées épurées

La valorisation des eaux usées épurées concerne leur réutilisation. Elle est définie comme étant le nouvel usage des « eaux de deuxième main » pour un objectif différent de leur usage initial, grâce à des actions volontaires. Cette réutilisation peut être réalisée de deux manières : directe ou indirecte.

- Réutilisation directe : Cela implique l'utilisation immédiate des eaux usées, après traitement, sans qu'elles soient diluées dans le milieu naturel.
- Réutilisation indirecte : Cela consiste en l'utilisation des eaux usées sous forme diluée, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel.

3. Domaines de réutilisation des eaux usées épurées

3.1 Réutilisation pour l'eau potable

La réutilisation directe de l'eau potable implique l'acheminement immédiat de l'eau recyclée vers un système d'approvisionnement en eau potable. Ce processus est qualifié de direct lorsque l'eau ne repasse pas par le milieu naturel ; les eaux traitées sont acheminées directement de la station d'épuration à l'usine de traitement de l'eau potable via un système de type "*toilet-to-tap water* ". Le premier exemple au monde de cette pratique, initiée en 1968, se trouve à Windhoek, en Namibie. Cependant, ce procédé, qui ne bénéficie pas du traitement supplémentaire offert par le milieu naturel, est déconseillé. Il ne doit être mis en œuvre que lorsqu'aucune autre solution n'est envisageable (BOUZIDI, 2020)**.**

3.2 Réutilisation en aquaculture et pisciculture

L'utilisation des eaux usées dans les étangs piscicoles remonte aux débuts de l'aquaculture. Ce procédé nécessite un traitement minimal essentiel, incluant des méthodes telles que le lagunage, l'épuration classique, la pré-dilution et la dilution simultanée. De plus, il est crucial

de sélectionner exclusivement les eaux usées domestiques et rurales pour éviter la contamination par des métaux lourds et autres substances toxiques provenant des rejets industriels (Schmidt, 1981)**.**

3.3 Réutilisation en zone urbaine

Les possibilités d'utilisation des eaux épurées en milieu urbain sont vastes et diverses, avec de nombreux exemples à travers le monde. Ces applications incluent :

- L'irrigation de parcs, terrains de sport, terrains de golf, aires de jeux, bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance.

- L'utilisation des eaux provenant des sanitaires d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments.

- Le nettoyage des voiries, des réservoirs anti-incendie, etc.

La réutilisation des eaux épurées en milieu urbain nécessite la mise en place d'un réseau double, permettant de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Ce réseau peut être mis en place à l'échelle de la ville entière ou à l'échelle de chaque habitation (BOUZIDI, 2020)**.**

3.4 Réutilisation industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées épurées présente un intérêt notable dans le secteur de l'énergie, notamment dans les systèmes de refroidissement, qu'ils soient ouverts ou fermés. D'autres applications potentielles englobent les processus de nettoyage dans les laveries industrielles, les stations de lavage de voitures, ainsi que dans divers secteurs tels que la production de papier, d'acier, de textiles, d'électronique et de semi-conducteurs. Chaque industrie requiert une qualité d'eau spécifique, car sa composition chimique peut influencer ses processus de fabrication. Les principales préoccupations concernent les phénomènes d'entartrage, de corrosion, la prolifération de bactéries, la formation de mousse et le risque d'inhalation d'aérosols par les travailleurs. Bien qu'il n'y ait pas de problèmes sanitaires spécifiques à l'industrie, les contaminants rencontrés sont similaires à ceux retrouvés dans d'autres usages (BOUZIDI, 2020).

3.5 Recharge de nappes

Ce type de réutilisation se pratique principalement dans des régions arides confrontées à des problèmes d'assèchement des nappes phréatiques, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer. La motivation principale pour la recharge des nappes phréatiques

réside dans la dégradation de leur qualité environnementale et/ou la diminution de leurs réserves en eau (ATTAB, 2011).

3.6 Réutilisation agricole

L'utilisation agricole des eaux traitées pour économiser les ressources hydriques a été parmi les premières approches adoptées dans les projets de réutilisation des eaux usées traitées. Cette pratique est principalement observée dans les régions agricoles des pays où les ressources en eau sont limitées, notamment dans le bassin méditerranéen et le Sud des États-Unis. Les projets les plus importants de réutilisation des eaux ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des États-Unis, ainsi que dans le bassin méditerranéen, en Australie, en Afrique du Sud, et dans les zones semi-arides d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud (ATTAB, 2011).

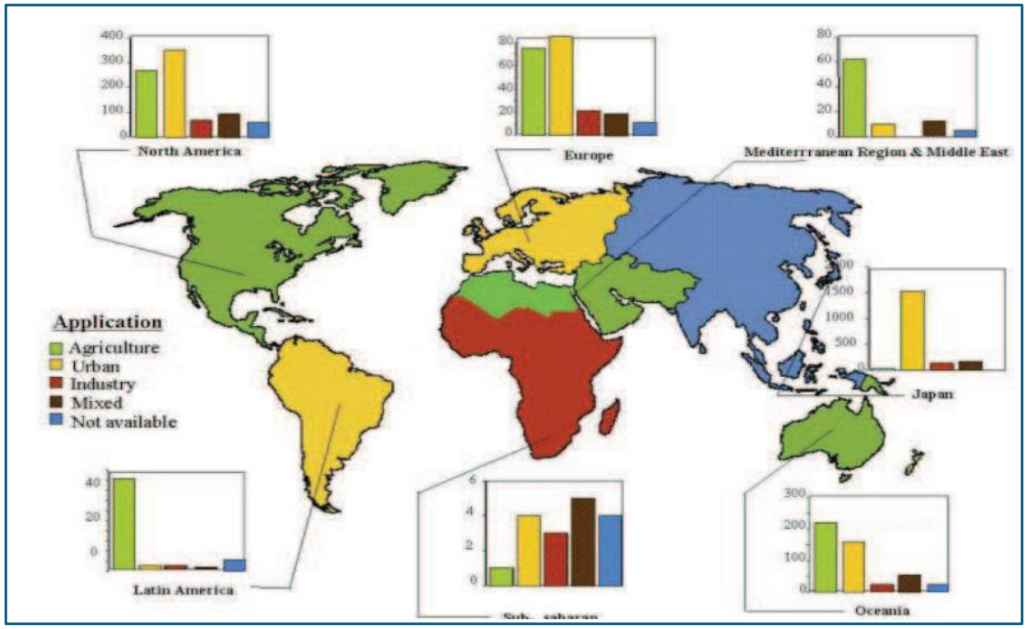


Figure 3 : *Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde**

**Source :(*ATTAB, 2011)

4. Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées représente une solution prometteuse pour répondre aux défis croissants liés à la disponibilité en eau dans un contexte de changement climatique et de pressions démographiques. Toutefois, son adoption généralisée nécessite non seulement des avancées technologiques continues mais aussi une gestion efficace des risques sanitaires et environnementaux. Avec une planification soignée et une régulation adéquate, la réutilisation des eaux usées épurées peut jouer un rôle essentiel dans la conservation des ressources en eau et dans la promotion de pratiques durables à l'échelle mondiale.

Chapitre III : Situation Algérienne et cadre réglementaire

1. Introduction

La gestion des eaux usées et des boues d'épuration est un enjeu crucial pour tout pays, en particulier pour l'Algérie, où les ressources en eau sont limitées et précieuses. Ce chapitre se penche sur la situation actuelle en Algérie concernant le traitement des eaux usées et la gestion des boues, tout en examinant le cadre réglementaire en place pour encadrer ces pratiques. L'objectif est de comprendre les défis et les opportunités liés à l'utilisation des eaux usées épurées et des boues d'épuration, tout en évaluant les réglementations qui régissent ces domaines afin de proposer des améliorations potentielles.

2. Situation Algérienne

2.1 Les eaux usées épurées

En Algérie, 60 % des eaux usées traitées sont rejetées soit loin des zones d'irrigation et des barrages, soit en mer, rendant leur réutilisation pour l'irrigation peu rentable. Ainsi, seulement 240 millions de m³ sont potentiellement utilisables pour l'irrigation en raison de l'emplacement des points de rejet (Hartani, 2004).

Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 53 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m^3 /an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (Bouchaala et al., 2017). La politique actuelle du pays vise à atteindre 1000 millions de m^3 d'eau usée épurée réutilisée à l'horizon 2030.

Tableau 3:Statistiques sur la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles

Désignation	Capacité(Eq/h)	Débit nominal	Volume mensuel épuré	Volume mensuel réutilisé (m3)	Domaine agricole (ha)	Type de culture	Utilisateur (concessionnaire)
Station d'épuration à boues activées de Boumerdes	75000	15000	484480	62282.4	Flici :49	Pépinière d'oliver , oranger et vignes	Flici
				62282.4	Rahmoun :76		Rahmoun
Station de lagunage aéré d'Ouargla	260102	56997	991950	99195	16.5	4000 palmiers dattiers et 100 oliviers	Autorisation DRE
Station de lagunage aéré de Kouinine (El Oued)	239134	44335	567600	33600	15	Arbres	ONA
Station d'épuration à boues activées de Telemcen	150000	30000	510300	484785	Plaine de hennaya	Arboriculture	ONID
Station d'épuration à boues activées de Guelma	200000	32000	550560	550560	Guelma bouchegouf 6980	Les cultures maraichères et les vergers	ONID réutilisation indirecte apport à oued seybousse
Station d'épuration à boues activées de Bordj Bou Arreridj	150000	30000	324720	324720	Dhaissa 150	Céréales	/
Station d'épuration à	100000	30000	182460	182460	200	Arboriculture	Réutilisation indirecte apport à oued Medierda

boues activées de Souk Ahras							
Station d'épuration à boues activées de mascara	48000	13000	276240	276240	400	oliviers	Association agriculteurs réutilisation indirecte
Station de lagunage aéré de Ghriss	32500	5800	34950	34950	420		
Station de lagunage aéré de Bouhanifia	20000	3900	STEP à l'arrêt		475		
Station de lagunage aéré de Hacine	20000	3200	24630	24630	390		
Station de lagunage naturel d'OUED TARIA	21000	2520	19440	19440	196		
Station de lagunage naturel de hachem	15000	1800	38400	/	220		
Station de lagunage naturel de sehaouria	12600	1513	STEP à l'arrêt		143		
Station de lagunage naturel de tizi	12000	1440	26490	26490	200		
Station de lagunage naturel	19000	2280	35100	35100	175		

de mohammadia est							
Station d'épuration à boues activées de ain el hadjar	30000	4800	101670	22150	58	Arboriculture céréales	Autorisation DRE
Total des 17 STEP	153436	278585	4168990	2238885	11076		

2.2 Les boues

L'absence de réglementation concernant la valorisation agricole des boues a entraîné l'enfouissement de près de 60 % des boues résiduaires provenant des stations d'épuration urbaines et le stockage de 15 % d'entre elles. Selon les données de l'ONA, seulement 25 % des 250 000 tonnes de boues produites en 2012 ont été utilisées à des fins agricoles (Hamamouche, F., & Hartani, T.2022).

3. Cadre réglementaire

3.1 L'utilisation des boues d'épuration

En Algérie, la réglementation concernant l'utilisation des boues d'épuration est régie par la législation environnementale et sanitaire en vigueur. Voici quelques éléments importants de la réglementation algérienne relatifs à l'utilisation des boues (ROUIBAH, 2023):

- **Arrêté interministériel n° 49 du 28 décembre 2009** relatif aux modalités de gestion des boues d'épuration des eaux usées domestiques : Cet arrêté établit les procédures de gestion des boues d'épuration en Algérie. Il définit les critères de qualité des boues, les procédures d'échantillonnage et d'analyse, ainsi que les mesures de suivi et de contrôle à mettre en place.
- **Norme algérienne NA 1100 : 2004 - Eaux usées - Épuration - Réutilisation des boues :** Cette norme algérienne spécifie les critères de qualité des boues d'épuration destinées à la réutilisation agricole ou au réaménagement des sites en Algérie. Elle établit des limites pour les contaminants, notamment les métaux lourds et les agents pathogènes, afin de protéger la santé humaine et l'environnement.
- **Norme algérienne NA 116 : 2004 - Épandage des boues d'épuration des eaux usées domestiques :** Cette norme algérienne fournit des lignes directrices sur les pratiques d'épandage des boues d'épuration en agriculture. Elle définit les distances d'épandage par rapport aux zones habitées, les méthodes d'application, les fréquences d'épandage et les recommandations pour minimiser les impacts sur le sol et les eaux souterraines.

3.2 Gestion des eaux usées épurées

Pour gérer les eaux usées traitées, un cadre juridique a été établi afin de protéger les utilisateurs et les gestionnaires. Pour mieux préserver l'environnement aquatique, les eaux traitées doivent respecter des normes spécifiques de rejet, détaillées dans le tableau suivant. Ces normes concernent l'utilisation des eaux épurées et les risques de contamination associés

("SPECIFICATIONS DES EAUX USEES EPUREES UTILISEES A DES FINS D'IRRIGATION," 2012).

Tableau 4:: Normes de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres		**Unité**	**Concentration maximale admissible**
Physique	pH	-	$6.5 \leq pH \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = o – 3 CE 3 – 6 6 - 12 12 - 20 20 - 40	ds/m	 0.2 0.3 0.5 1.3 3
Chimique	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO_3 – N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO_3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	0,05
	Manganèse	mg/l	2.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1
	Zinc	mg/l	10

4. Conclusion

En conclusion, la gestion efficace des eaux usées épurées et des boues d'épuration représente un enjeu de développement durable majeur pour l'Algérie. Les initiatives actuelles et les réglementations en place montrent une prise de conscience croissante de l'importance de ces ressources, mais des efforts supplémentaires sont nécessaires pour optimiser leur utilisation et minimiser leur impact environnemental. Une meilleure compréhension et application du cadre réglementaire peuvent conduire à une gestion plus efficace et durable des eaux usées et des boues, contribuant ainsi à la préservation des ressources hydriques et à la protection de l'environnement en Algérie.

CONCLUSION GENERALE

La gestion des eaux usées et des boues d'épuration est une tâche complexe, particulièrement importante dans les sociétés modernes confrontées à une urbanisation rapide et à une demande croissante en ressources naturelles. Ce mémoire s'est concentré sur cette problématique en Algérie, examinant divers aspects de la gestion des boues d'épuration et des eaux usées épurées.

Le premier chapitre a présenté les types de boues, leurs caractéristiques et les méthodes de traitement disponibles. La gestion efficace des boues, par des techniques comme l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation, est essentielle pour réduire leur volume et minimiser leur impact sur l'environnement. Une approche bien coordonnée est nécessaire pour utiliser les ressources disponibles de manière durable.

Le deuxième chapitre a exploré la réutilisation des eaux usées épurées, une pratique essentielle pour la gestion durable des ressources en eau. Les applications variées, telles que l'irrigation agricole et l'usage industriel, montrent le potentiel de cette approche. Cependant, son adoption généralisée requiert des avancées technologiques et une gestion rigoureuse des risques sanitaires et environnementaux.

Le troisième chapitre a étudié le cadre réglementaire en Algérie concernant la gestion des eaux usées épurées et des boues d'épuration. Les normes actuelles et les initiatives en cours montrent une prise de conscience de l'importance de ces ressources. Néanmoins, pour une gestion optimale et durable, il est crucial de renforcer les réglementations et d'assurer leur application efficace.

Pour finir, nous concluons que pour relever les défis liés à la gestion des eaux usées et des boues d'épuration en Algérie, il est essentiel de continuer à développer des solutions innovantes et durables. Cela inclut l'amélioration des techniques de traitement, l'utilisation optimale des ressources disponibles et l'application rigoureuse des cadres réglementaires. Ces efforts contribueront à la protection de l'environnement et à la promotion d'un développement durable en Algérie.

Références bibliographiques

Albrecht, R. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique*. Université de droit, d'économie et des sciences-Aix-Marseille III. Thèse de doctorat.

Bouchaala, L., Charchar, N., & Gherib, A. (2017). Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. *Algerian Journal of Arid Environment*, *7*(1), 84–95.

BOUZIDI, Y. (2020). *Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie*. Université 8 Mai 1945 Guelma Algérie .Mémoire .

Cardot, C. (2010). Les traitements de l'eau pour l'ingénieur. *Procédés Physico-Chimiques et Biologiques. Ellipes Editions Marketing SA Paris*.

Cerra, I., Desagnat, M., Dubart, R., Juven, L., Zhou, N., & Ziani, H. (2014). Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. *Montpellier, France*.

Dudkowski, A. (2000). L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, *41*, 134–135.

Duguet, J.-P., Bernazeau, F., Cleret, D., Gaïd, A., Helmer, C., & Laplanche, A. (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. *Astee, Paris*.

Ghebremichael, K. A., & Hultman, B. (2004). Alum sludge dewatering using Moringa oleifera as a conditioner. *Water, Air, and Soil Pollution*, *158*, 153–167.

Hartani, T. (2004). La réutilisation des eaux usées en irrigation: cas de la Mitidja en Algérie. *Projet INCO-WADEMED*.

Hue, N. V. (1995). Sewage Sludge. *Soil Amendments and Environmental Quality.*, 199–247.

Koller, E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles: eau, air, déchets, sols, boues*. Dunod Paris, France.

LADJEL F, & ABBOU S. (2014). *Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie*. *Ministère des ressources en eau*.

ROUIBAH,N. (2023). La Valorisation biologique des boues (la zone industrielle BELLARA), Université des Frères Mentouri Constantine 1 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,mémoire .

ATTAB,S. (2011). « Amelioration de la qualite microbiologique des eaux epurees par boues activees de la station d'epuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre a sable local ». *UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA*,mémoire .

Schmidt, G. (1981). L'utilisation des eaux usées organiques en pisciculture.-Synthèse bibliographique. *Bulletin Français de Pisciculture*, *282*, 30–39.

SEDKI A. (1995). *Etude écotoxicologue et épidémiologique de la contamination métallique de deux chaînes trophiques terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech*. *Thèse de doctorat.*

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (2020). *Gestion des boues d'épuration : Guide pratique*. Paris, France : ADEME.

Hamamouche, F., & Hartani, T. (2022). *Reuse - Réutilisation des eaux usées en agriculture : Rapport de synthèse 'Algérie'*. Chantier COSTEA.