الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
**République Algérienne Démocratique et Populaire**
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique**
جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
**Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed**
---
معهد الصيانة والأمن الصناعي

**Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle**

**Département de Sécurité Industrielle et Environnement**

# MÉMOIRE

Pour obtention du diplôme de Master

**Filière :** Sécurité Industrielle

**Spécialité :** Sécurité Industrielle et Environnement

## Evaluation du risque sanitaire et potentiel de valorisation agricole des boues stabilisées selon les normes algériennes

Présenté et soutenu publiquement par :

**Riazi Marroua & Mecemma Maroua Amina**

Devant le jury composé de :

| Nom et Prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|---|---|---|---|
| | | IMSI | **Président** |
| **Aoumeur nabila** | MCA | IMSI | **Encadrant** |
| | | IMSI | **Examinateur** |
| **Lounis Zoubida** | PR | IMSI | **Co-Encadreur** |

**Année 2025/2026**

# *Remerciements*

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Ces années d'études nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses ont nécessité de longues heures de travail et de persévérance.

Avant tout, nous remercions **ALLAH** ﷻ le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et la force d'entamer et de terminer ce mémoire.

Nous remercions également **nos parents** qui nous ont guidés tout au long de notre vie. Ils nous ont encouragés et soutenus afin que nous puissions en arriver là aujourd'hui, à la veille de la fin de nos études universitaires.

Au terme de ce projet de fin d'études, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, **Dr AOUMEUR Nabila** (Maître de conférences Classe A). Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans son aide précieuse. Nous la remercions vivement pour la qualité du savoir qu'elle nous a transmis, sa générosité, sa patience et sa grande disponibilité tout au long de notre préparation.

Un remerciement spécial à **Monsieur GERUNE Moustapha**, responsable de la station STEP de Bouzdjar, pour nous avoir accueillis au sein de son établissement et pour l'encadrement de qualité qu'il nous a offert durant notre stage pratique, ainsi qu'à toute l'équipe de la station pour leur aide et leur précieuse collaboration.

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble des **membres du jury** qui nous font l'honneur de juger et d'évaluer notre travail. Leurs remarques et la pertinence de leurs jugements nous encouragent à apprendre davantage.

Un remerciement du cœur à nous-mêmes, pour la solidité de notre équipe. À toi, mon binôme, merci pour ton engagement, ta patience et ta confiance. Cette aventure n'aurait pas été la même sans toi.

Nous remercions, enfin, **toute personne** qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

# *Dédicace*

الـــحَمْدُ لـلـــهِ الَّـذِي بِـنِـعْـمَـتـهِ تَـتِـمُّ
الـصَّـالِـــحَـات وَبِـفَـضْـلِـهِ تَـتَـنَـزَّل اَلْـخَـيْـرَاتُ
وَ الْـبَـرَكَـاتُ وَبِـتَـوْفِـيـقِـهِ تَـتَـحَـقَّـق اَلْـمَـقَـاصِـدُ
وَ الْـغَـايَـاتُ

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail en exprimant une profonde gratitude à tous mes proches, particulièrement :*

*À ma très chère mère et à mon très cher père, pour leur amour, leur tendresse, leurs encouragements, leur confiance, leur soutien constant et leurs prières qui m'ont accompagné dans les moments difficiles.*

*A mes chers frères et Mes chères sœurs.*

*A toute ma famille .*

*À ma petite nièce Hafsa et à mes petits neveux Abou Baker et Ghaith.*

*À ma binôme, avec mes sincères remerciements et ma reconnaissance pour son soutien et son aide.*

*À mes chers amis.*

*À tous mes enseignants, depuis le primaire jusqu'aux études supérieures.*

*MAROUA AMN*

# *Dédicaces*

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿وَآخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾

**إلى أبي رحمه الله**

إلى روحٍ آمنت بي قبل أن أؤمن بنفسي، وإلى قلبٍ غاب عن الدنيا وبقي أثره يرافقني في كل خطوة.....

**إلى أمي الحبيبة**

سرّ قوتي ومنبع عطائي، التي كان دعاؤها سندي في كل لحظة عسيرة

**إلى أخواتي**

.إلى أخي الذي حمل المسؤولية بصمت وكان لي خير سند، وإلى أخواتي الغاليات شريكات الفرح والذكريات

.إلى **عمي الكريم** الذي كانت كلماته بذرة الثقة في نفسي، وإلى **صديقة الطفولة** التي حفظت أجمل ذكرياتي

إلى **صديقات الجامعة** اللواتي كنّ أكثر من رفيقات درب، وإلى **بنات عائلتي** الحبيبات الذي جمعنا الدم والمحبة

إلى هؤلاء جميعاً أُهدي هذا العمل المتواضع، امتناناً لا تكفيه الكلمات

***مروى***

**الملخص:**

تتناول هذه الأطروحة تقييم المخاطر الصحية وإمكانية استخدام الحمأة الناتجة عن محطة معالجة مياه الصرف الصحي في بوزدجار (عين تموشنت)، التابعة للمكتب الوطني للصرف الصحي، في الزراعة. يهدف البحث بشكل أساسي إلى تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لهذه الحمأة، وذلك لتحديد مدى توافقها مع المعايير الجزائرية الحالية، وإمكانية استخدامها في الزراعة. تُظهر الدراسات التي أُجريت أن نسبة المواد العضوية المتطايرة العالقة تبلغ 60.20% من المادة الجافة، مما يدل على غنى عضوي مفيد للتربة الجافة، وأن مستويات المعادن النزرة أقل بكثير من الحدود التنظيمية. مع ذلك، فإن الحمل الطفيلي، الذي بلغ 14 بيضة دودة طفيلية لكل 5 غرامات من المادة الجافة، يتجاوز بكثير الحد المسموح به وفقًا للمعيارين NA 1100 وNA 116، مما يجعل أي استخدام مباشر غير ممكن. يقترح التقرير معالجة إضافية للصرف الصحي - كالتكليس أو التجفيف الحراري أو التسميد - كخطوة أولية نحو استخدام آمن ومستدام.

**Abstract:**

This thesis examines the health risk assessment and the potential for agricultural use of sludge generated by the Bouzedjar wastewater treatment plant (Aïn-Témouchent), managed by the National Sanitation Office (ONA). The main objective is to define the physicochemical and microbiological properties of this sludge to determine its compliance with current Algerian standards and its potential for agricultural spreading. The studies conducted show a proportion of suspended volatile matter of 60.20% of dry matter, indicating an organic richness beneficial for arid soils, and levels of trace metals well below regulatory thresholds. However, the parasite load, with 14 helminth eggs per 5 g of dry matter, considerably exceeds the threshold established by standards NA 1100 and NA 116, making any direct use impossible. The report suggests an additional sanitization treatment -liming, thermal drying or composting , as a preliminary step to safe and sustainable spreading.

**Résumé :**

Ce memoire examine l'évaluation des risques sanitaires et la possibilité de valorisation agricole des boues générées par la station d'épuration de Bouzedjar (Aïn-Témouchent), administrée par l'Office National de l'Assainissement (ONA). Le but principal est de définir les propriétés physico-chimiques et microbiologiques de ces boues pour déterminer leur conformité aux normes algériennes actuelles et leur potentiel pour un épandage agricole. Les études effectuées montrent une proportion de matières volatiles en suspension de 60,20 % de MS, indiquant une richesse organique bénéfique pour les sols arides, et des niveaux d'éléments traces métalliques bien en dessous des seuils réglementaires. Toutefois, la charge parasitaire, avec 14 œufs d'helminthes pour 5 g de MS, excède considérablement le seuil établi par les normes NA 1100 et NA 116, rendant impossible toute valorisation directe. Le mémoire suggère un traitement d'hygiénisation additionnel - chaulage, séchage thermique ou compostage, comme étape préalable à un épandage sûr et durable.

# • LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Station d'épuration avec des bassins de décantation où se forment ces boues minérales denses..... 9
Figure I.2 : Filtre à bande de la STEP..... 15
Figure I.3 : Lit de séchage de la STEP..... 16
Figure I.4 : Schéma du traitement général des boues..... 18
Figure II.1 : Les quantités de précipitations à Aïn Témouchent..... 29
Figure II.2 : La vitesse du vent..... 30
Figure II.3 : Localisation de la STEP (Google Maps)..... 31
Figure II.4 : Schéma du protocole expérimental de la station d'épuration (STEP)..... 37
Figure II.5 : Laboratoire de la STEP..... 39
Figure II.6 : Détermination (MVSn%) dans les boues..... 40
Figure II.7 : Détermination (MES/MLSS) dans les boues..... 40
Figure II.9 : Détermination (MVS%) dans les boues..... 41
Figure II.10 : Déterminer (MS%) dans les boues..... 41
Figure II.11 : Exemple d'un compresseur d'air..... 45
Figure II.12 : Exemple des circuits électriques de la STEP..... 45
Figure II.13 : Exemple de risque de noyade dans la STEP..... 46
Figure II.14 : Exemple d'une source de mauvaise odeur..... 48
Figure II.15 : Pollution des déchets..... 48
Figure II.16 : Les 9 principes de prévention..... 49
Figure II.17 : Alarme du step..... 50
Figure II.18 : Bouée de sauvetage du step..... 50
Figure II.19 : Les extincteurs du step..... 51
Figure II.20 : Exemple des masques filtrants disponibles dans la step..... 52
Figure II.21 : Quantité de déchets et sables collectés dans la station de Bouzedjar dans les unités de la station..... 54
Figure II.22 : Pourcentage de taux de conformité à la réglementation de la STEP de Bouzedjar par année..... 55

# • LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Composition en éléments utiles des boues d'épuration..... 12
Tableau I.2 : Exemple de performance en déshydratation des boues..... 17
Tableau I.3 : Performance de déshydratation des boues par filtres à bande..... 17
Tableau III.1 : Résultats des analyses du bassin biologique et caractérisation des boues..... 60
Tableau III.2 : Résultats des analyses physico-chimiques et teneurs en métaux lourds des boues séchées..... 61
Tableau III.3 : Résultats des analyses microbiologiques et comparaison aux seuils de sécurité..... 63

# • LISTE DES ABREVIATIONS

- **ADEME** : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.
- **AES** : Aspects Environnementaux Significatifs.
- **AFSSE** : Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale.
- **AMORCE** : Association nationale des collectivités et entreprises pour la gestion des déchets et de l'énergie.
- **ANSES** : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
- **AQUAREF** : Laboratoire National de Référence pour la Surveillance des Milieux Aquatiques.
- **By-pass** : Contournement, dérivation des eaux usées sans traitement complet.
- **CE** : Conductivité électrique.
- **CFR** : Code of Federal Regulations, Code de réglementation fédérale américaine.
- **CH4** : Méthane.
- **CNFME** : Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau.
- **CO2** : Dioxyde de carbone.
- **CN** : Rapport carbone/azote.
- **DBO** : Demande Biochimique en Oxygène.
- **DCO** : Demande Chimique en Oxygène.
- **DFE** : Direction de la Formation et de l'Environnement.
- **DPI** : Dispositifs de Protection Individuelle.
- **E.P.I.C** : Établissement Public à caractère Industriel et Commercial.
- **EDF** : Électricité De France.
- **EH** : Équivalent habitant.
- **ETM** : Éléments Traces Métalliques.
- **ETAS** : Atomisation électrothermique.
- **FNE** : France Nature Environnement.
- **FP2E** : Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau.
- **GLS** : Génie des Liquides et des Solides.
- **HS** : Sulfure d'hydrogène.
- **HF** : Acide fluorhydrique.
- **HNO3** : Acide nitrique.
- **HPA** : Hydrocarbures polycycliques aromatiques.
- **ICP-OES** : Spectrométrie d'émission atomique par plasma couplé par induction.
- **IEC** : Commission électrotechnique internationale.
- **IM** : Indice de Mohlman.
- **INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.
- **ISO** : Organisation Internationale de Normalisation.
- **IVS** : Institut de Veille Sanitaire.
- **JORADP** : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.
- **K2O** : Oxyde de potassium.
- **MBR** : Réacteur à membrane biologique.
- **MES** : Matières en suspension.
- **MLMS** : Matières en suspension dans la liqueur mixte.
- **MLSS** : Matières en suspension dans la liqueur mixte.
- **MLVSS** : Matières volatiles en suspension dans la liqueur mixte.
- **MS** : Matière sèche.
- **MVS** : Matières volatiles en suspension.
- **MVLMS** : Matières volatiles dans la liqueur mixte en suspension.
- **N** : Azote.
- **NA** : Norme algérienne.

- **NCBI** : Centre National d'Information sur la Biotechnologie.
- **NF** : Norme française.
- **NH3** : Ammoniac.
- **NPP** : Nombre le plus probable.
- **OMS** : Organisation mondiale de la Santé.
- **ONA** : Office National de l'Assainissement.
- **P** : Phosphore.
- **P2O5** : Pentoxyde de phosphore.
- **PCB** : Polychlorobiphényles.
- **Ph** : Potentiel hydrogène.
- **PMC** : PubMed Central.
- **SAA** : Spectrométrie d'absorption atomique.
- **SAR** : Rapport d'adsorption du sodium.
- **SME** : Système de management environnemental.
- **SR** : Station de relevage.
- **STEP** : Station d'épuration des eaux usées.
- **T90** : Série de normes françaises d'analyse de l'eau.
- **USEPA** : Agence américaine de protection de l'environnement.
- **V30** : Volume de boue sédimentée après 30 minutes de décantation.

# SOMMAIRE

**LISTE DES FIGURES** ..... xi
**LISTE DES TABLEAUX** ..... xii
**LISTE DES ABRÉVIATIONS** ..... xiii
**INTRODUCTION GÉNÉRALE** ..... 1
**CHAPITRE I : Cadre général et notions théoriques** ..... 3
Introduction ..... 4
**I.1.** Sources des eaux usées ..... 4
**I.1.1.** Eaux usées domestiques ..... 4
**I.1.2.** Eaux résiduelles industrielles ..... 5
**I.1.3.** Eaux sanitaires agricoles ..... 5
**I.1.4.** Eaux de pluie et de drainage ..... 6
**I.2.** Définition des boues ..... 7
**I.3.** Origine des boues (STEP) ..... 7
**I.3.1.** Boues de prétraitement (boues primaires) ..... 8
**I.3.2.** Boues de l'épuration biologique (boues secondaires) ..... 8
**I.3.3.** Boues de traitement physico-chimique (boues tertiaires) ..... 8
**I.3.4.** Boues de fermentation (boues de digestion) ..... 9
**I.4.** Composition et caractéristiques des boues ..... 9
**I.4.1.** Types de boues (primaires, secondaires, stabilisées) ..... 10
**I.4.1.1.** Les boues primaires ..... 10
**I.4.1.2.** Les boues secondaires (biologiques) ..... 10
**I.4.1.3.** Les boues stabilisées ..... 11
**I.4.2.** Traitement et stabilisation des boues ..... 11
**I.4.2.1.** Techniques de séparation physico-chimiques ..... 11
**I.4.2.2.** L'épaississement ..... 13
**I.4.2.3.** Déshydratation ..... 14
**I.4.3.** Méthodes de réduction des nuisances olfactives par stabilisation ..... 17
**I.4.3.1.** Digestion anaérobie ..... 17
**I.4.3.2.** Digestion aérobie ..... 17
**I.4.3.3.** Stabilisation chimique ..... 17
**I.4.3.4.** Stabilisation thermique ..... 17
**I.4.3.5.** Élimination finale des boues ..... 18
**I.4.3.5.1.** Valorisation agricole des boues ..... 18
**I.4.3.5.2.** Mise en décharge ..... 18
**I.4.3.5.3.** Incinération ..... 19
**I.5.** Risques sanitaires liés aux boues ..... 19
**I.5.1.** Définition du risque ..... 19
**I.5.2.** Définition du risque sanitaire ..... 19
**I.5.2.1.** Risque sanitaire de la mise en décharge ..... 20
**I.5.2.2.** Risque sanitaire de l'épandage ..... 20
**I.5.2.3.** Risque sanitaire lié à l'incinération des boues ..... 20
**I.5.2.4.** Risques sanitaires liés aux agents pathogènes dans les boues ..... 21
**I.5.2.5.** Risque de contamination humaine ..... 21

**I.5.2.6.** Survie des micro-organismes dans l'environnement .....22
**I.5.2.7.** Contamination de l'environnement .....22
**I.6.** Notion de valorisation agricole .....22
**I.6.1.** Épandage agricole .....22
**I.6.2.** La réhabilitation des terrains .....23
**I.6.3.** Autres voies de valorisation .....23
Références .....24
**CHAPITRE II : Présentation de la station d'épuration et méthodes d'analyses** .....24
Introduction .....25
**II.1.** Description générale de la zone d'étude .....25
**II.1.1.** Présentation de l'Office National de l'Assainissement (ONA) .....25
**II.1.1.1.** Activités de l'ONA .....25
**II.1.1.2.** Développement durable au niveau de l'ONA .....25
**II.1.1.3.** Motivation de l'intégration du SME .....26
**II.1.2.** Description de la Wilaya d'Aïn-Témouchent .....27
**II.1.2.1.** Situation géographique .....27
**II.1.2.2.** Climat à Aïn-Témouchent .....28
**II.1.2.3.** Précipitations à Aïn-Témouchent .....29
**II.1.2.4.** Vent à Aïn-Témouchent .....30
**II.1.2.5.** Secteur agriculture .....30
**II.1.3.** Description de la station d'épuration de Bouzedjar (Aïn-Témouchent) .....28
**II.1.3.1.** Localisation géométrique de la station .....29
**II.1.3.2.** Fiche technique et données .....29
**II.2.** Caractéristiques des boues étudiées .....31
**II.2.1.** Type de boues .....31
**II.2.2.** Mode de stabilisation .....32
**II.3.** Conditions de stockage des boues .....33
**II.3.1.** Environnement contrôlé .....33
**II.4.** Méthodes d'analyse .....37
**II.4.1.** Méthodes d'analyse gravimétrique .....37
**II.4.1.1.** Lieu de réalisation .....39
**II.4.1.2.** Liste de matériel présent dans le laboratoire de la station .....39
**II.4.2.** Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) .....40
**II.4.2.1.** Lieu de réalisation .....40
**II.4.2.2.** La méthode SAA .....41
**II.4.2.3.** Principe .....41
**II.4.2.4.** Protocole opératoire standard .....42
**II.5.** Identification des risques professionnels à la STEP .....43
**II.5.1.** Risque mécanique .....43
**II.5.2.** Risque électrique .....43
**II.5.3.** Risque de noyade .....43
**II.5.4.** Risques chimiques .....44
**II.5.5.** Risque incendie et explosion .....45
**II.5.6.** Risque associé au gaz .....46
**II.5.7.** Risque d'odeurs ou de nuisances olfactives .....47

**II.6.** Contrôle des résultats et actions préventives .....48
**II.6.1.** Prévention des risques constatés dans la station de Bouzedjar .....50
**II.6.1.1.** La prévention du Risque Mécanique.....50
**II.6.1.2.** La prévention du Risque électrique .....51
**II.6.1.3.** Prévention contre le risque de noyade.....51
**II.6.1.4.** Prévention du risque chimique .....51
**II.6.1.5.** La prévention du Risque d'incendie et d'explosion.....52
**II.6.1.6.** Prévention des risques liés au gaz et nuisances olfactives .....53
**II.6.1.7.** Prévention du risque de pollution .....53
**II.6.2.** Surveillance et évaluation.....54
**II.6.2.1.** Le temps de contournement.....54
**II.6.2.2.** La dépense énergétique .....54
**II.6.2.3.** La gestion des déchets.....55
**II.6.2.4.** Gestion des écarts de conformité .....55
**II.6.2.5.** Contrôle des enregistrements.....55
**II.6.2.6.** Vérification du système de gestion .....56
Références .....56
**CHAPITRE III : Évaluation sanitaire et conformité réglementaire des boues en agriculture** ....57
Introduction .....57
**III.1.** Présentation générale des résultats analytiques des boues étudiées.....57
**III.1.1.** Caractérisation technique et potentiel agronomique des boues.....57
**III.1.2.** Suivi de la biomasse et paramètres de décantabilité.....57
**III.1.3.** Richesse en matière organique et intérêt pour les sols.....58
**III.2.** Évaluation de la contamination chimique et des Éléments Traces Métalliques (ETM) .....59
**III.2.1.** Analyse des Éléments Traces Métalliques (ETM) et micropolluants.....59
**III.3.** Évaluation du risque microbiologique et sanitaire .....60
**III.3.1.** Analyse de la charge pathogène résiduelle .....61
**III.3.2.** Interprétation des résultats .....61
**III.4.** Confrontation au cadre réglementaire et normatif algérien.....62
**III.4.1.** Analyse des textes législatifs et applicabilité des normes nationales .....62
**III.4.2.** Les normes ISO relatives .....63
**III.4.3.** Niveau de risque.....65
**III.5.** Potentiel de valorisation agricole des boues.....70
**III.6.** Recommandations générales .....71
Références .....72
**CONCLUSION GÉNÉRALE** .....73
**ANNEXES**

# Introduction générale

L'essor démographique et l'urbanisation accélérée qui caractérisent les dernières décennies ont engendré une augmentation substantielle des volumes d'eaux usées générées à l'échelle mondiale. En réponse à cette pression environnementale croissante, le développement des stations d'épuration des eaux usées (STEP) s'est imposé comme une nécessité incontournable pour la préservation des ressources hydriques et la protection des écosystèmes aquatiques. Si ces infrastructures jouent un rôle central dans l'assainissement urbain et industriel, leur fonctionnement produit inévitablement un sous-produit dont la gestion demeure l'un des défis environnementaux les plus complexes de notre époque : les boues d'épuration.

Les boues d'épuration sont des résidus issus du traitement biologique, physique et chimique des eaux usées. Leur composition est par nature hétérogène, associant des fractions organiques et minérales, des microorganismes , dont certains sont potentiellement pathogènes , ainsi que des contaminants chimiques tels que les métaux lourds et les micropolluants organiques. Cette tension entre risque et ressource constitue précisément le cœur de la problématique posée par la gestion des boues d'épuration.

La valorisation agricole des boues d'épuration représente, dans ce cadre, une piste sérieusement envisagée, à condition toutefois qu'elle soit encadrée par une évaluation rigoureuse des risques sanitaires et environnementaux associés.

L'intérêt scientifique de ce travail est multiple. Sur le plan analytique, il contribue à enrichir les données disponibles sur la qualité et la dangerosité des boues produites dans les STEP algériennes, un domaine encore insuffisamment documenté dans la littérature

nationale. Sur le plan environnemental, il interroge les conditions dans lesquelles un épandage agricole des boues pourrait être pratiqué sans compromettre l'intégrité des sols, des nappes phréatiques et de la chaîne alimentaire. Sur le plan pratique, enfin, il propose un cadre d'évaluation structuré, susceptible d'orienter les décideurs, les gestionnaires de STEP et les acteurs du secteur agricole dans leurs choix en matière de filière d'élimination ou de valorisation des boues.

Le présent mémoire s'articule autour de deux chapitres principaux, précédés d'un cadre théorique et suivis d'une synthèse conclusive assortie de recommandations.

Le premier chapitre pose les fondements conceptuels et théoriques nécessaires à la compréhension du sujet. Il aborde les généralités sur les boues d'épuration, leur origine au sein des filières de traitement des eaux usées, leur classification selon leur nature et leur degré de stabilisation, ainsi que les principaux procédés de traitement et de stabilisation auxquels elles sont soumises.

Le second chapitre constitue par une présentation de la station d'épuration étudiée et des caractéristiques spécifiques des boues qui en sont issues type, mode de stabilisation et conditions de stockage. Il regroupe ensuite l'ensemble des résultats d'analyses physico-chimiques et biologiques réalisées, richesse en matière organique, L'ensemble de ces données est ensuite confronté au cadre réglementaire et normatif algérien, incluant les normes ISO applicables, afin d'établir un niveau de risque objectivé. Le chapitre se conclut par une évaluation du potentiel de valorisation agricole des boues et par un ensemble de recommandations sanitaires, environnementales et techniques.

Une conclusion générale viendra synthétiser les principaux enseignements de ce travail, en réponse à la problématique posée, et ouvrira des perspectives de recherche et d'action pour une gestion plus durable des boues d'épuration dans le contexte algérien.

# Chapitre I : Cadre général Et notions théoriques

## Chapitre I : Cadre général et notions théoriques

# I. Introduction

Le traitement des eaux usées urbaines et industrielles est une nécessité environnementale qui génère, de manière inévitable, des quantités importantes de boues résiduaires. Ces boues constituent le concentré de pollution organique et minérale extrait de l'eau lors des différentes étapes de l'épuration. [1]

Cependant, au-delà de leur statut de déchet, ces boues représentent une ressource potentielle, notamment pour le secteur agricole en raison de leur richesse en éléments fertilisants. Leur utilisation dans ce domaine nécessite toutefois une évaluation sanitaire rigoureuse, afin de garantir que leur application sur les sols respecte les normes de sécurité et ne présente aucun risque pour l'environnement ou la santé humaine. Ainsi, la gestion des boues en station d'épuration devient un enjeu majeur, conciliant assainissement efficace et valorisation durable. [2]

## I.1. Sources des eaux usées

Les eaux résiduaires sont issues de diverses activités domestiques, industrielles, commerciales ou agricoles, du ruissellement de surface (eau de ruissellement) et de toute intrusion ou infiltration d'égout. Il est pratique de classer les eaux usées en quatre catégories : les eaux usées domestiques (provenant des foyers), les eaux usées municipales (issues des collectivités), les eaux usées agricoles et les eaux usées industrielles. On désigner parfois les eaux usées par des termes techniques qui indiquent leur source (eaux grises, eaux-vannes, eaux noires, eau blanche de papeterie, eaux blanches de laiterie, …etc.). [3]

### I.1.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques provenant de l'usage de l'eau (souvent potable) par les individus pour répondre à tous leurs besoins domestiques.

Lorsque les logements sont situés dans une zone d'assainissement collectif, les eaux usées domestiques sont dirigées vers les égouts. [4]

Les origines des eaux usées englobent les tâches domestiques ou familiales suivantes :

- **Eaux grises :** ce sont des eaux légèrement polluées en substances nocives ou à risque sanitaire élevé, comme celles provenant des activités domestiques, issues du lavage des plats, des lessives, des lavages de mains, ou des bains et douches.

- **Eaux-vannes ou eaux noires :** elles renferment des substances polluantes ou plus complexes à traiter, comme les matières fécales, des produits de beauté, ou divers sous-produits industriels mélangés à l'eau ; dans les eaux noires (ainsi désignées si récupérées par les toilettes à chasse d'eau), se trouvent les excréments humains (en) (matières fécales, urine, sang et autres fluides corporels) souvent mêlés à du papier toilette usagé ou des lingettes humides. [5]

Liquides excédentaires produits localement (boissons, huiles alimentaires, pesticides, huiles pour moteur, peinture, produits nettoyants, etc.). [5]

### I.1.2 Eaux résiduelles industrielles :

Tous les déversements issus d'une utilisation de l'eau autre que résidentielle sont désignés comme des rejets industriels. Cette définition concerne les émissions des établissements, mais également les émissions des activités artisanales ou commerciales : laverie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

Les déchets industriels peuvent donc emprunter trois méthodes de traitement :

- Soit ils sont directement évacués dans le réseau domestique ;
- Soit ils sont traités au préalable puis expulsés dans le système domestique ;
- Soit ils sont complètement traités sur site et relâchés dans l'environnement.

Ce dernier cas ne nous concerne pas dans le contexte de la réutilisation des eaux usées traitées.

En cas de rejet dans les réseaux domestiques, qu'il y ait ou non prétraitement, les effluents industriels peuvent considérablement changer la composition des eaux usées. Cette alteration est intimement connectée à l'industrie concernée et peut revêtir d'innombrables formes. [4]

### I.1.3 Eaux sanitaires agricoles :

Ce sont des eaux contaminées par des produits employés dans le secteur agricole. Dans un cadre d'agriculture intensive et productive, l'agriculteur est amené à recourir à différents produits d'origine industrielle ou agricole, dont certains comportent ou peuvent comporter des dangers pour l'environnement et en particulier pour la qualité des eaux. Cela concerne principalement :

Des engrais (produits minéraux commerciaux ou fumier provenant ou non de l'exploitation) ;

- Des pesticides (herbicides, fongicides, insecticides). [6]

Ces eaux proviennent donc de :

- Des contributions directes liées aux interventions sur les milieux aquatiques et semi-aquatiques comme le désherbage des plans d'eau, des zones inondables (faucardage chimique) et des fossés, ainsi que la lutte contre les moustiques dans les plans d'eau et les zones inondables (étangs et marais).
- Des contributions indirectes provoquées notamment par le drainage de surface, aux eaux de nettoyage des équipements de traitement, aux restes dans des emballages mal rincés ou éliminés, aux eaux usées des usines de production et d'emballage. [6]

### I.1.4. Eaux de pluie et de drainage :

Les eaux usées en écoulement comprennent les eaux de pluie, les eaux de nettoyage et les eaux de drainage. Ces eaux sont contaminées par les substances qu'elles transportent provenant des trottoirs et des routes (huiles, mazouts, graisses, sables…etc.). Elles renferment aussi du zinc, du plomb et du cuivre.

Les pluies peuvent également représenter une source majeure de pollution des rivières, surtout durant les tempêtes. L'eau de pluie absorbe des contaminants lors de son contact avec l'air (pollutions industrielles). Ensuite, en s'écoulant, elle transporte des dépôts accumulés sur les toits et les rues urbaines (huiles usées, résidus de carburant, restes de pneus et métaux lourds…).

Les eaux pluviales qui coulent sur les surfaces non perméables, généralement en milieu urbain, sont recueillies par un réseau qui peut être identique à celui qui recueille les eaux usées ou non.

On identifie :

- **Les réseaux unitaires :** un unique collecteur gère le transport des eaux usées ainsi que des eaux pluviales. La qualité et le débit des eaux entrants à la station d'épuration varient considérablement. Pour empêcher qu'un flux excédant ses capacités ne parvienne à la station d'épuration, des dispositifs de dérivation (cuves et trop-pleins d'orage) sont disséminés à travers les réseaux.

- **Les systèmes séparatifs :** deux réseaux sont établis, l'un pour recueillir les eaux usées, l'autre pour les eaux pluviales. En théorie, seules les eaux usées sont envoyées à la station d'épuration pour leur traitement, ce qui signifie que les eaux pluviales sont directement rejetées sans traitement. La station devrait donc recevoir uniquement un effluent brut dont la qualité est relativement constante et le débit, assez précis. [7]

## I.2. Définition des boues

La boue résiduelle fait référence au mélange de solides et d'eau qui est extrait d'un décanteur ou qui s'accumule au fond des installations d'élevage. Dans le traitement des eaux usées, cela concerne le dépôt de boue semi-solide restant après la suppression de la majeure partie des liquides présents dans les eaux usées. Elles peuvent être gérées dans une fosse septique mais sont souvent non exploitables. Les boues résiduelles sont principalement des boues de traitement. [8]

L'application agricole pour débarrasser les boues est la méthode principale de recyclage. La valorisation énergétique inclut diverses technologies qui transforment la composante organique des boues en énergie. La valorisation énergétique peut représenter une option d'élimination additionnelle ou alternative à la valorisation des matières agricoles. Le recyclage des boues sur place à la station d'épuration contribue à optimiser le bilan écologique en diminuant le transport des boues et en produisant de l'énergie (chaleur, électricité) utilisée directement sur le site.[8]



**Figure** I.1 : station d'épuration avec des bassins de décantation où se forment ces boues minérales denses.

## I.3. Origine des boues (STEP)

Les boues d'épuration sont des sous-produits issus du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Elles se composent de matières organiques non dégradées, de substances minérales, de micro-organismes (principalement des bactéries issues de la biomasse épuratrice) et d'une forte proportion d'eau (environ 99 %). [8]

Selon le stade de traitement où elles sont extraites, on distingue quatre types de boues :

### I.3.1. Boues de prétraitement (boues primaires)

Les boues primaires résultent d'un traitement physique par simple décantation des matières en suspension (MES) organiques et minérales. Cette étape permet de retenir jusqu'à 70 % de MES. Le volume de ces boues tend à diminuer avec la modernisation des procédés de traitement.

### I.3.2. Boues de l'épuration biologique (boues secondaires)

Les boues biologiques résultent d'un traitement bactérien (procédé dit à « boues activées ») reposant sur une oxygénation intense du milieu, assurée par des aérateurs ou des surpresseurs. Ces boues sont essentiellement constituées de micro-organismes aérobies qui se nourrissent et dégradent la matière organique présente dans les eaux usées.

### I.3.3. Boues de traitement physico-chimique (boue tertiaire)

Les boues de traitement physico-chimique résultent de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales présentes dans les eaux usées. Ce processus est facilité par l'ajout de réactifs chimiques, tels que des coagulants (sels de fer ou d'aluminium) et des floculants, suivis d'une étape de séparation par sédimentation ou flottation.

Ce procédé est particulièrement efficace, permettant de retenir jusqu'à 90 % des matières en suspension (MES) qui se concentrent alors dans les boues. Ces dernières se caractérisent par une forte teneur en sels minéraux issus de l'eau brute et des résidus de réactifs chimiques utilisés. Ce type de traitement est fréquemment mis en œuvre dans les stations d'épuration soumises à de fortes variations de charge, notamment dans les zones touristiques, ou pour l'élimination spécifique du phosphore.[8]

### I.3.4. Boues de fermentation (boue de digestion) :

La digestion a lieu dans un digesteur à enveloppe fermée. L'isolation est généralement obtenue avec des doubles parois, l'espace intermédiaire est vide ou rempli d'isolant (laine de verre, matériau intumescent). Des murs composites sont également réalisés sur de grandes structures. L'ensemencement avec des boues digérées provenant d'une autre unité facilite le démarrage du digesteur. Il s'agit d'un brassage intensif, d'un brassage mécanique ou par insufflation du gaz de digestion. Ce mélange augmente les chances de rencontres entre les micro-organismes et le matériau à dégrader.[9]

Il homogénéise également la température. Quant à l'approvisionnement en boues fraîches, il doit être le plus régulier possible, et l'eau surnageante doit être puisée et ramenée à la station régulièrement. La température doit varier assez peu, les valeurs optimales étant voisines de 37°C (digestion mésophile) ou de 55°C (digestion thermophile). Dans ce dernier cas, la dégradation des matières est parfois plus rapide mais irrégulière : le bilan énergétique est moins favorable et le procédé plus sensible aux variations de charge. Les meilleurs résultats sont atteints lorsque la température est régulée. La durée de séjour des boues ne doit pas être inférieure à 10 ou 12 jours avec les installations équipées parfaitement, et à 25 ou 30 jours dans le cas contraire pour respecter un taux de dilution inférieur au taux de croissance des micro-organismes. Mais de façon générale, ce temps varie selon la température et aussi selon le pourcentage de matières volatiles contenues dans les boues. [9]

Un digesteur doit normalement être équipé de dispositifs de contrôle du débit de gaz, de la teneur des gaz en gaz carbonique (25 à 35% de $CO_2$). Les boues fraîches restent dans le digesteur pour la fermentation. Après le malaxage avec le gaz digéré et chauffage, les boues restent environ 50 jours et libèrent une partie de l'eau. Sous la fermentation anaérobie qui a lieu dans la boue, une partie de la matière organique est décomposée en minéraux et en gaz. Cette digestion produit donc un mélange gazeux (biogaz $CH_4$ + $CO_2$ : jusqu'à 70% de méthane peut être obtenu), un mélange combustible qui peut être récupéré dans la cloche du compteur de gaz au-dessus du digesteur et raccordé à un compteur de gaz de stockage ou la pression est une quelques barres. Une partie du gaz (après élimination du $CO_2$ par épuration) est utilisée pour chauffer et mélanger le digesteur. Le complément est sur-pressé à l'usine d'épuration et peut être livré à une usine à gaz voisine (la station d'épuration de Dijon fournit plus de 1500 m3 /j de gaz à l'usine EDF). D'autres éléments peuvent être présents en faible proportion : CO, $N_2$, $O_2$, hydrocarbures et $H_2S$. Avec cette technique, on peut obtenir une

production de 200 à 400 $m^3$ de gaz par m3 de digesteur et par an. L'excédent de gaz peut conduire à une production d'énergie électromécanique. [9]

## I.4. Composition et caractéristiques des boues

La composition précise des boues dépend étroitement de l'origine des eaux usées, de la saisonnalité et du type de traitement appliqué au sein de la station d'épuration. Les boues constituent une ressource complexe formée de divers composants, notamment de la matière organique, des éléments nutritifs (Azote **N** et Phosphore **P**), des éléments traces métalliques (**ETM**), des composés organiques traces et des agents pathogènes. [10]

Le tableau I.1 ci-dessous présente les teneurs en éléments fertilisants ainsi que le pourcentage de matière organique contenue dans les boues selon leur état physique et leur mode de traitement.

**Tableau I.1 :** Composition en éléments utiles des boues d'épuration. [11]

| | **Boues Liquide** | **Boues pâteuses** | **Boues Chaulée** | **Boues compost** |
|---|---|---|---|---|
| **Teneur en matières minérales %MS** | 30 à 35 | 30 à 50 | 30 à 50 | 50 à 70 |
| **PH** | 6.5 à 7 | 7 à 8 | 6 à 8 | 9 à 12 |
| **Rapport Carbone / azote (C /N)** | 4 à 5 | 5 à 6 | 4 à 6 | 8 à 11 |
| **Phosphore Kg $P_2O_5$ /T brute** | 2 à 3 | 6 à 9 | 50 à 70 | 6 à 10 |
| **Potassium (Kg $K_2O$ /T brute)** | 0.9 | 0.8 | 5 | 1 |

### I.4.1 Types de boues (primaires, secondaires, stabilisées)

#### I.4.1.1 Les boues primaires

Elles sont obtenues par simple décantation physique des matières insolubles présentes dans les eaux usées. Ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décan table. Elles sont notamment produites par les industries de la cellulose, ainsi que par les unités de traitement des métaux et des minerais. On les retrouve également dans les industries agroalimentaires générant des rejets riches en débris fibreux. [11]

#### I.4.1.2 Les boues secondaires (biologiques)

Ces boues sont issues d'un traitement biologique réalisé en bassin aéré (procédé aérobie) ou en cuve anaérobie. Elles proviennent généralement des industries chimiques, pharmaceutiques, textiles et agroalimentaires (laiteries, boissons, textiles, etc.), ainsi que de toute activité rejetant une pollution organique biodégradable.

Constituées essentiellement de biomasse bactérienne, elles se caractérisent par une forte teneur en matières organiques et une faible concentration en matières sèches. [12]

#### I.4.1.3 Les boues stabilisées

Les boues stabilisées correspondent aux boues dont la fraction organique facilement biodégradable a été éliminée ou transformée. Cette stabilisation vise à limiter les fermentations ultérieures, à réduire les nuisances olfactives, à améliorer la déshydratabilité et à diminuer les risques sanitaires liés à la présence de micro-organismes pathogènes. [13]

### I.4.2 Traitement et stabilisation des boues

Le traitement des boues englobe de multiples procédés qu'il est important de choisir pour atteindre la sécheresse nécessaire en fonction de l'utilisation finale des boues. (GLS.

Memotecn°21,2006). Les méthodes de gestion des boues se basent sur les trois principales lignes directrices suivantes :

• Réduire le volume à évacuer en retirant l'eau.

• Réduire les désagréments olfactifs et pathogènes en stabilisant, voire en assainissant les boues.

• Améliorer la texture de la boue pour faciliter le transport, la manutention et le stockage. [14]

#### I.4.2.1 Techniques de séparation physico-chimiques :

C'est une technique qui utilise des procédés strictement physiques, en s'appuyant sur un réactif, sans diminution de la masse de matière sèche.

#### I.4.2.2 L'épaississement :

Première phase du traitement des boues, permet de rehausser l'attention pour le bon fonctionnement des installations en aval.

Il peut être fixe (gravitaire) ou en mouvement (table d'égouttage, flottation, centrifugation). [14]

- **Épaississement statique gravitaire :**

  Ce procédé est particulièrement adapté aux boues minérales hydrophobes, ainsi qu'aux boues hydrophiles minérales ou faiblement fermentescibles. Il permet de concentrer les boues provenant du décanteur ou du clarificateur par simple action de la gravité. Cette méthode permet d'atteindre une concentration d'environ **20 g/l**, préparant ainsi les boues à une digestion, une déshydratation ultérieure ou un stockage en vue de leur valorisation [14].

- **Épaississement dynamique sur une table (ou tambour) de déshydratation :**

Ce procédé est généralement mis en œuvre dans les stations d'épuration de petite à moyenne capacité. Sous l'action de polymères spécifiques, les boues sont d'abord floculées, puis acheminées sur une bande filtrante fonctionnant en continu. L'eau interstitielle est alors éliminée par simple gravité à travers la toile. Cette dernière est lavée en permanence pour éviter tout colmatage du système. Une variante de cette technologie consiste à remplacer la table par un tambour filtrant rotatif à basse vitesse [14].

### I.4.2.3 Déshydratation :

La déshydratation représente la seconde phase de diminution du volume des boues. Elle s'effectue sur des boues concentrées, stabilisées ou non, dans le but d'une élimination plus ou moins accentuée de leur humidité résiduelle, afin de les rendre soit transportables (siccité entre 16 et 30 %) ou solides (siccité dépassant 30 %).[15]

- **Centrifugeuse à décantation :**

La décantation centrifuge est un processus de séparation sous une accélération pouvant aller jusqu'à 2000 à 3000 fois celle de la gravité, dans ces circonstances, la vitesse de sédimentation, et donc la durée de sédimentation des particules a largement augmenté, ce qui permet d'atteindre un état pâteux avec une durée de séjour de plusieurs dizaines de seulement secondes. [14]

- **Filtre en bande :**

Les filtres à bandes sont classés en pression basse, moyenne et haute. Selon la pression exercée, allant de 1.5 à 5 bars. La pâte initialement traitée, après un passage dans une zone de drainage pour éliminer la majeure partie des eaux interstitielles, se trouve coincée entre deux

membranes filtrantes qui sont en mouvement à une vitesse située entre 1 et 10 m/min parmi plusieurs rouleaux dont l'agencement et la taille décroissante augmente progressivement la pression des pressages qui garantit la sécheresse ultime pâtisserie. Les toiles sont régulièrement lavées à l'eau claire sous haute pression de 7 à 8 barres.[14]



**Figure I.2 :** Filtre à bande de la STEP. [14]

- **Filtres à plateaux :**

Le fonctionnement discontinu s'inscrit dans un cycle de filtration que l'on peut décomposer en 4 phases :

- **Une phase de remplissage,** pendant laquelle la pompe injecte un grand débit. C'est au cours de cette phase que le maximum de filtrat est extrait (3/4 de la quantité globale).

- **Une phase de compression** correspondant à une augmentation exponentielle de la résistance spécifique du gâteau par tassement et diminution de la porosité, la pression est maintenue constante, le débit filtre diminue rapidement avec le temps.

- **Une phase de décatissage** : la pompe est arrêtée et la pressée terminée.

Le vérin dégage la première chambre de filtration libérant le premier gâteau sous son propre poids. En outre, une phase de lavage à l'eau sous haute pression est lancée toutes les 10 à 30 pressées afin de maintenir la capacité de filtration. [14]



**Figure I.3.** Lit de séchage de la STEP.

Les performances moyennes de déshydratation par décanteur centrifuge pour diverses filières sont synthétisées dans le **Tableau I.2.**

**Tableau I.2:** Exemple de performance en déshydratation des boues.

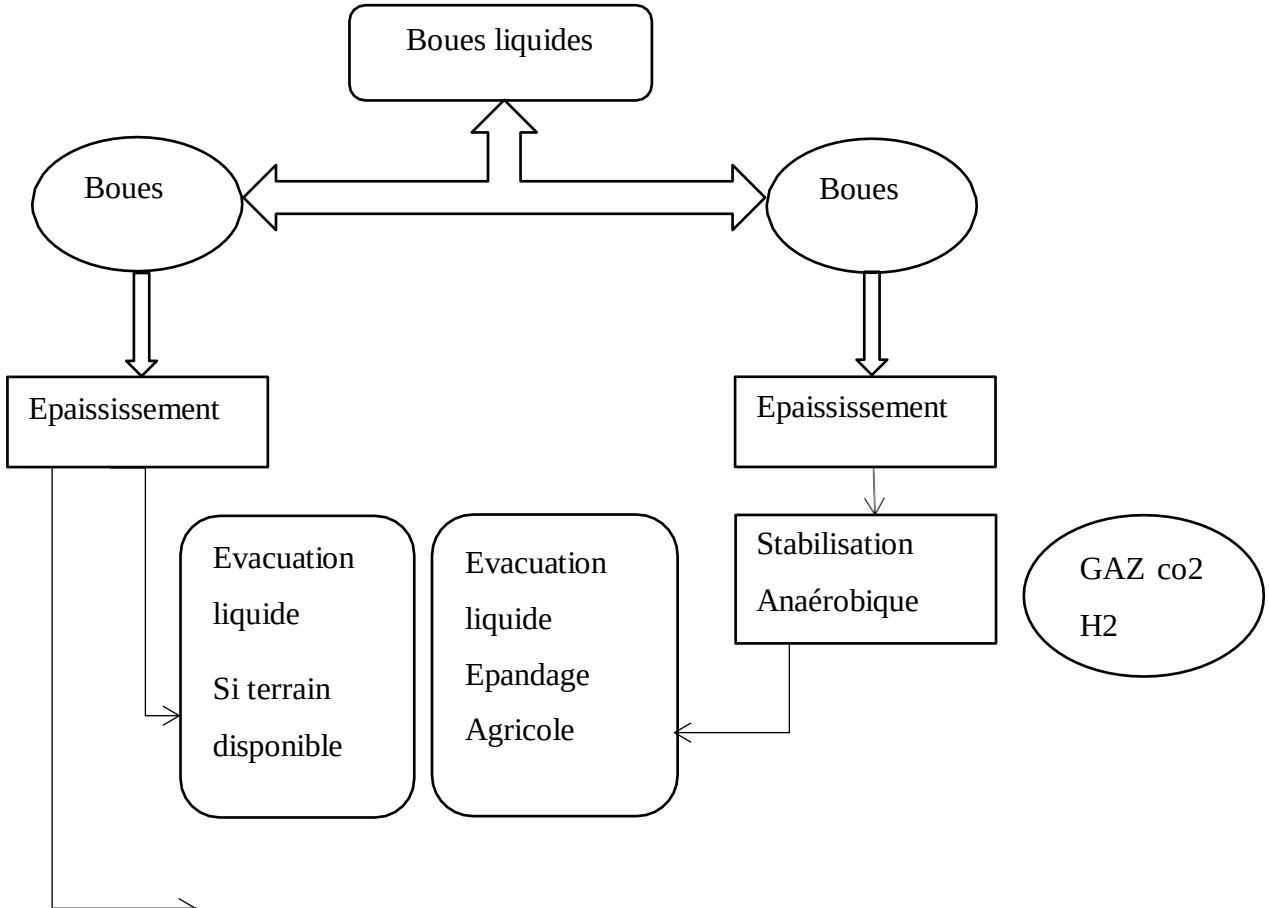
| Type de déshydratation | Origine des boues | Type des boues | Siccité Gâteau (%) | Conditionnement |
|---|---|---|---|---|
| **Décantation Centrifuge** | brasserie | Biologiques (digérées) | 18 à 22 | Polymère cationique 10 à 12 kg/t MS |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Conserverie | Primaires | 11 à 15 | Polymère cationique 8 à 10 kg/t MS |
| | Distillerie | Primaires | 20 à 25 | Non |
| | chimie | Primaires + biologiques | 25 à 30 | Polymère cationique 2 kg/t MS |

**Tableau I.3:** Performance de déshydratation des boues par filtres à bandes.

| **Filtre à bandes** | **Eaux urbaines** | **Biologiques** | **14 à 17** | **Polymère 6kg/t MS** |
|---|---|---|---|---|
| | Métallurgie | Primaires | 45 à 60 | Polymère anionique 2 kg/t MS |
| | Tannerie | Primaires | 45 à 60 | Polymère cationique |

Les différentes étapes du traitement des boues sont synthétisées dans le schéma de la **Figure I.4**.



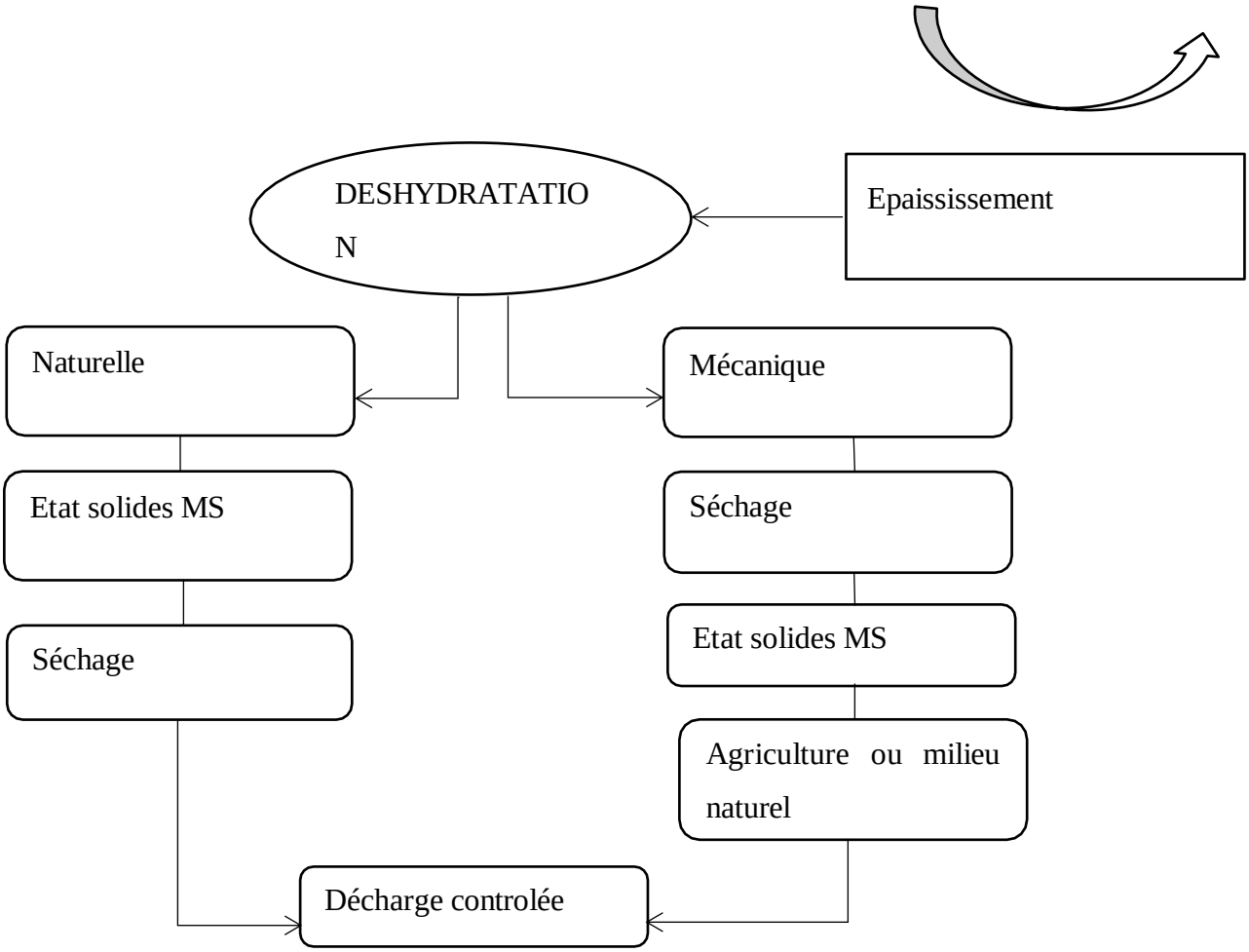



**Figure I.4** : Schéma de traitement général des boues.

## I.4.3. Méthodes de réduction des nuisances olfactives par stabilisation

Les méthodes de stabilisation viseront principalement à ralentir ou même cesser les fermentations putrides responsables des odeurs désagréables.

Différents types de stabilisation des boues existent : stabilisation aérobie ou anaérobie (digestion), stabilisation chimique et stabilisation par chaleur. [14]

### I.4.3.1 Digestion anaérobie

La décomposition de la matière organique se réalise par oxydation biologique. Ce processus implique d'oxygéner la boue pendant une durée prolongée, durant laquelle les microorganismes aérobies, en phase de respiration endogène, décomposent les matières organiques. La température a un impact majeur sur la digestion aérobie. [15]

### I.4.3.2 digestion anaérobie

La digestion anaérobie est un processus biologique qui s'effectue par fermentation méthanique des boues dans des digesteurs sans oxygène. Ce processus transforme les substances organiques présentes dans la boue en dioxyde de carbone et en méthane. Ce processus s'effectue dans un réacteur hermétique, afin de générer l'anaérobiose et de pouvoir capturer le gaz émis. [15]

### I.4.3.3 Stabilisation chimique

La stabilisation chimique des boues s'obtient par l'ajout de chaux qui, en élevant le pH, inhibe les fermentations. Elle est souvent employée en supplément sur les boues déshydratées par filtration à bande ou centrifugation. [14]

### I.4.3.4 Stabilisation thermique

La stabilisation thermique des boues peut s'effectuer :

- Par pasteurisation des boues liquides à 70° C pendant 30 minutes. L'élimination des germes nuisibles se fait grâce à ce procédé, à l'exception de certaines espèces (sous forme de spores).
- Par un séchage thermique partiel ou incubation à une température de 80 à 100 °C.
- Par autoclave (cuisson à 180-220 °C) entraînant une destruction complète des germes. Ce procédé est employé pour rendre plus aisée la déshydratation mécanique des boues et ne vise pas une stabilisation. [14]

### I.4.3.5 Élimination finale des boues

Les facteurs techniques, économiques et environnementaux influencent la sélection du mode d'élimination des boues, en tenant compte des exigences de la réglementation actuelle.
Il existe 3 filières d'élimination des boues : [15]

#### ❖ I.4.3.5.1 Valorisation agricole des boues

Pour une utilisation en agriculture, les boues doivent être stabilisées, concentrées et, dans certains cas, séchées ou compostées. [16]

- **Valorisation agricole des boues liquides :**

Elle a également l'avantage de mettre en valeur les éléments de la boue utiles à l'agriculture, notamment l'azote, le phosphore et les matières organiques. Un apport potentiel de chaux pour stabiliser ou conditionner les boues peut être évalué, et les terres agricoles accessibles se trouvent à proximité : un rayon de deux à trois

kilomètres est généralement jugé favorable. La plupart des petites collectivités se retrouve dans cette situation et il est donc logique que ce secteur soit le plus sollicité. L'agriculture requiert des boues stabilisées, homogènes et concentrées, et ne peut étendre celles-ci que durant les périodes permises par l'état des cultures, du sol et éventuellement de son planning de travaux. [16]

- **Valorisation agricole des boues solides ou pâteuses :**

Lorsque les terrains agricoles accessibles pour l'épandage des boues sont plus éloignés que précédemment, lorsque les risques de présence d'éléments indésirables pour l'agriculture (métaux lourds, etc.) sont considérables ou par coutume régionale apparemment subjective. [16]

### ❖ I.4.3.5.2 Mise en décharge

Cela implique d'enterrer les boues fréquemment associées aux déchets domestiques en respectant les conditions suivantes : emplacement étanche, compression des déchets, collecte et traitement des liquides de décharge (lixiviats), etc.

Pour prévenir toute gêne liée au stockage, il est nécessaire d'extraire les matières organiques fermentescibles des boues.

En outre, afin de limiter la génération de lixiviats et de prévenir une saturation rapide de la décharge, seules les boues peu humides (avec une humidité maximale de 70 %) sont généralement acceptées. Étant donné que la mise en décharge est facturée par tonne, il est toujours préférable de diminuer l'humidité afin de réduire les frais d'élimination.

L'élimination en décharge contrôlée de la boue requiert des procédures préliminaires de stabilisation et de déshydratation avancée.

Cette approche va lentement devenir moins attrayante pour des motifs économiques : la restriction de l'enfouissement aux seuls déchets ultimes (non recyclables) dès 2002 imposera, pour les boues, une incinération préalable afin de déposer uniquement des résidus. Le coût total de cette filière va donc connaître une hausse significative. [16]

### ❖ I.4.3.5.3 Incinération

La méthode d'incinération est couramment employée par les grandes usines de traitement des eaux usées urbaines (absence d'espace pour le compostage ou l'enfouissement). [15]

Pour être incinérées, les boues doivent être fraiches : déshydratées mais non stabilisées. [16]

L'incinération des boues présente l'intérêt d'une réduction significative de la quantité de déchets, en supprimant entièrement l'eau interstitielle et en détruisant les substances

organiques par le biais de la combustion. Cependant, cette méthode a l'inconvénient de produire un résidu (les cendres) où sont concentrés les métaux lourds, nécessitant ainsi un emballement particulier, voire un traitement d'inertage, pour l'acceptation dans un site d'enfouissement.

Les substances organiques présentes dans les boues ont un pouvoir calorifique inférieur de 3500 à 5000 kcal/kg de matière organique pour des boues fraîches et digérées. Ceci représente donc une source de chaleur pouvant être récupérée. L'incinération assure l'élimination de tous les agents pathogènes. [15]

Pour les stations de petite taille, la co-incinération avec les déchets domestiques offre des solutions bénéfiques. [17]

## I.5. Risques sanitaires liés aux boues

### I.5.1. Définition du risque

Le risque est défini comme un danger éventuel lié à une situation ou une activité, ainsi que comme la possibilité d'un événement futur incertain pouvant provoquer des dommages.
[18]

### I.5.2. Définition du risque sanitaires

Le risque sanitaire correspond à la probabilité que survienne un événement nuisible à la santé d'un individu ou d'un groupe d'individus. Son identification et son analyse sont des éléments de détermination de la politique de santé publique. Plusieurs critères sont retenus : le degré de gravité, le fait d'être attendu ou fortuit, d'être accepté ou subi. On parle de risque individuel lorsque c'est la personne elle-même qui a une conduite à risque (addictions) et d e risque collectif lorsqu'un nombre important de personnes est concerné par la menace (épidémies, pandémies, altérations environnementales). [19]

#### I.5.2.1 Risque sanitaire de la mise en décharge

La compréhension de l'exposition (inhalation de substances volatiles ou gazeuses émises par la décharge ou consommation d'eau souterraine ou de surface polluée par percolation des "jus" de décharge) et des dangers sanitaires liés à la mise en décharge est actuellement limitée. Cependant, bien que les plaintes concernant les décharges soient variées (notamment en raison d'irritations, . . .), il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de déterminer la part des déchets dans ces situations et, par conséquent, l'impact des boues enfouies. À ce propos, le rapport sur le Stockage des déchets et la santé publique, piloté par l'Institut de veille sanitaire

(IVS) et élaboré en collaboration avec l'Agence française de sécurité environnementale (AFSSE), établit :

Cette étude montre que la situation générale du risque associé au stockage des déchets ménagers en France ne semble pas inquiétante, en tenant compte des analyses des effets des expositions prolongées. Cependant, des progrès restent à réaliser, notamment concernant l'impact sanitaire à court terme souvent lié aux émissions de certaines décharges de déchets non régulées.

En effet, des problèmes liés à l'entreposage de déchets dans de telles circonstances peuvent impacter la vie des habitants (nuisances olfactives et/ou émissions d'hydrogène sulfuré pouvant provoquer des effets irritants sur les muqueuses). De plus, les informations sur les effets reprotoxiques (toxicité pour la reproduction) doivent être développées davantage. [20]

### I.5.2.2 Risque sanitaire de l'épandage

Depuis plus de 30 ans, en France, des boues de traitement des eaux usées municipales sont épandues sur des terres agricoles. Aucun incident affectant la santé publique n'a été signalé jusqu'à présent.

- Il est aussi important de noter que les boues urbaines constituent moins de 2% des déchets utilisés en agriculture (les excréments d'animaux en font 94%).

Il est crucial de noter que les dangers de contamination liés à la consommation de produits d'origine animale (épandage sur les prairies via l'animal par ingestion directe) sont présents, particulièrement pour les substances qui ont tendance à s'accumuler dans les lipides animaux (graisse, lait), comme les PCB et les HPA. Nous n'aborderons pas ici les nuisances de voisinage liées à l'épandage de boues. [20]

### I.5.2.3 Risque sanitaire lié à l'incinération des boues

Les gènes pathogènes sont éliminés par la chaleur et ne constituent donc pas un danger pour la population. Les dangers sanitaires associés à la voie respiratoire des populations semblent minimes, d'après les spécialistes ("L'incinération des déchets et la santé publique", Société Française de Santé Publique, 11/1999). Cependant, on peut toutefois exprimer des doutes sur les conséquences à long terme, surtout en ce qui concerne les métaux et les dioxines.

Les dangers sanitaires apparaissent étroitement associés à la technologie employée pour brûler les boues urbaines. Prenons, par exemple, les technologies actuelles de fours à lit fluidisé qui permettent de minimiser considérablement le risque d'émissions de dioxines ou de furanes ayant un impact principalement sur la population via la chaîne alimentaire.

Aujourd'hui, FNE (France Nature et Environnement) favorise la filière de l'épandage en raison des exigences en matières organiques des sols et souligne que les amendements de type potassium, par exemple, fréquemment disponibles dans le commerce, contiennent des métaux lourds.

En résumé, plusieurs incertitudes scientifiques persistent concernant les boues des STEP, en particulier sur le risque sanitaire potentiel associé à leur mise en décharge et sur la présence de résidus polluants dans ces boues. La diminution, voire la réduction, des effluents ou des influx de micropolluants dans le système d'assainissement doit être au cœur de la problématique des boues. Le principe de la réduction à la source se présente donc comme l'approche fondamentale à adopter pour assurer la diminution des risques sanitaires liés aux diverses méthodes d'élimination des boues urbaines (épandage, incinération et mise en décharge). Les volumes de boues augmentent et cette tendance va continuer. Ceci représente l'issue de l'optimisation du traitement des eaux usées avant leur retour dans l'environnement.

D'ici la fin de 2005, dans toutes les villes de plus de 2000 habitants, toutes les eaux usées devront être traitées dans des stations d'épuration. Il est donc essentiel d'explorer davantage les connaissances sur les effets sanitaires des boues. [20]

### I.5.2.4 Risques sanitaires liés aux agents pathogènes dans les boues

Les boues de traitement renferment une large variété de micro-organismes, notamment des virus, des bactéries et des parasites, dont une partie peut être potentiellement dangereuse pour l'homme.

Ces agents pathogènes émanent des rejets d'origine humaine ou animale (eaux usées domestiques, secteurs agroalimentaires, etc.).

### I.5.2.5 Risque de contamination humaine

L'exposition aux agents infectieux peut engendrer des risques pour la santé humaine, spécialement dans les cas suivants :

• concernant la gestion des boues

• de leur conservation

• et particulièrement pendant leur application sur les terres agricoles

### I.5.2.6 Survie des micro-organismes dans l'environnement

Les agents infectieux peuvent :

• subsister durant le stockage des boues

• demeurer dans le sol après application

Cela étend le risque de contamination sur une période prolongée.

#### I.5.2.7 Contamination de l'environnement

Suite à l'épandage, les micro-organismes peuvent se propager dans :

• les terrains

• les liquides

• le milieu rural

Ce qui accroît le danger d'exposition indirecte pour l'être humain.

#### I.5.2.8 Risque malgré les traitements

Bien que certaines boues soient traitées (boues hygiénisées), le risque pour la santé demeure présent, ce qui impose :

• le respect des standards

• des règles d'épandage rigoureuses. [18]

## I.6. Notion de valorisation agricole

### I.6.1 Épandage agricole

En raison de leur caractère non toxique et des caractéristiques agronomiques qu'elles possèdent, les boues de cartonneries peuvent être appliquées en agriculture. C'est une méthode très ancienne qui exploite les propriétés biologiques des sols pour décomposer les boues et réintroduire leurs composants dans les cycles naturels. Cette méthode contribue aussi à mettre en avant les qualités fertilisantes des boues pour les cultures agricoles. Effectivement, les élevées concentrations en charges minérales (talc, kaolin, carbonate de calcium) et matières organiques (fibres) des boues primaires en font des amendements minéraux attractifs. Quand ces boues sont combinées avec des boues biologiques, elles fournissent un amendement organique essentiel en raison de la présence d'éléments nutritifs (rapport Carbone/azote oscillant entre 5 et 50). Dans ce cadre, la germination sur des sols enrichis avec des boues de cartonneries nécessite des essais afin que le taux de germination atteigne ou dépasse celui des plantes témoins, le développement du système racinaire a été plus marqué et il y avait une meilleure capacité de rétention d'eau dans le sol. Le contact des boues de papeteries avec le sol aide également à accroître sa capacité à retenir les métaux lourds.[10]

### I.6.2 La réhabilitation des terrains

Le pouvoir fertilisant des boues est également bénéfique pour restaurer les sites miniers abandonnés, les carrières inactives et les terres sablonneuses. Le fondement de cette technique

est semblable à celui de l'épandage en agriculture, mais l'objectif varie. La matière organique des boues contribue à fertiliser le sol, alors que la matière inorganique aide à conserver l'eau. De nombreuses recherches pourraient démontrer les possibilités offertes par cette méthode. Parmi celles-ci, on mentionne une étude comparative réalisée sur l'impact de l'usage des fertilisants et de l'utilisation des boues de cartonneries associées à des fertilisants pour la réhabilitation du sol d'une mine. Les résultats doivent démontrer que l'emploi des boues favorise le succès de la réhabilitation des sols. Cependant, cette technique présente des inconvénients, notamment la variabilité de la demande en boue selon les régions, les coûts de transport et le fait qu'elle ne peut pas être pratiquée toute l'année.[10]

### I.6.3 Autres voies de valorisation

Les boues provenant de cartonneries peuvent servir à la création de divers produits et matériaux présentant un potentiel économique prometteur. [10]

Ainsi, nous proposons les évaluations suivantes qui pourront faire l'objet d'une analyse ultérieure : • Agent de remplissage dans le processus de production du carton.

• Ressource essentielle dans le processus de production du papier

• Production des articles de rembourrage

• Production de ciment

• Production de panneaux en fibres de bois

• Production de pouzzolanes exploitables dans le secteur des cimenteries

• Production de blocs de bâtiment

La réintroduction des boues primaires directement dans le processus de fabrication du carton comme matériau de remplissage permet d'optimiser la stabilité et la solidité du produit final, bien que cela entraîne une augmentation de la teneur en cendres dans le carton, conduisant à des feuilles plus denses et pouvant également affecter la recyclabilité du produit ultérieurement. [21]

## Références

**[1]** ASMAHANE, B. (**2011**). *Valorisation des poussières de four à ciment dans le procédé de* solidification/stabilisation des déchets

**[2]** RODIER, J. (**2009**). *Analyse de l'eau* (9e éd.). Paris : Dunod, 1600 p

**[3]** AMADOU, H. (**2007).** *Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine*. Thèse de doctorat, Université Lounis Pasteur, 170 p

**[4]** TAUZIN, C., & JUSTE, C. **(1986**). *Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles*. Rapport du contrat n° 4084/93, Ministère de l'Environnement, 158 p

**[5]** DIGNAC, M. F., FRANCOU, C., & DERENNE, S. (**2005**). *Pyrolytic study of compost and waste organic matter*.

**[6]** KOLLER, E. (**2009**). *Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, sols, boues*. 2e éd., Paris : Dunod, 569 p

**[7]** précis SEDKI, A. (**1995**). *Étude éco-toxicologique de la contamination*. Thèse de Doctorat d'État, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc, 140 p

**[8]** https://www.aquaportail.com/definition-6737-boue-residuaire.html « Boue résiduaire : définition et explications », AquaPortail.

**[9]** https://www.actuenvironnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/origine-nature-boues.php4 « Origine et nature des boues », Actu-Environnement.

**[10]** AMIR S, « Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse, 312p. », Toulouse,( **2005**).

**[11]** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (**2001**). *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture*. Paris : ADEME Éditions, 59 p.

**[12]** MURILLO, M. (**2004**). *Étude sur le traitement des boues.* Document scientifique.

**[13]** https://www.suezwaterhandbook.fr/Procedes-et-technologies/Traitement-des-boues-liquides/stabilisation-des-boues-liquides?utm_source=perplexity

**[14]** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). (**2001**). Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Paris : ADEME Éditions, 59 p.

**[15]** SATIN, M., & Selmi, B. (**2006**). *Analyse et traitement des boues résiduaires.*

**[16]** Centre d'Appui et de Ressource Télématique des Élus Locaux. *Guide technique sur la gestion des déchets*

**[17]** DUSKOWSKi, A. (**2000**). *Étude sur les procédés de traitement des boues.*

**[18]** Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS). *Document technique.*

**[19]** ENS Lyon. *Glossaire : Risque sanitaire*. Consulté sur : https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/risque-sanitaire

**[20]** UMINATE. (**2004**, juin). *Rapport technique.*

**[21]** ZERHOUNI, A. (**2010**, septembre). *Exigence partielle de la maîtrise en ingénierie*. Université du Québec.

# Chapitre II : Présentation de la station d'épuration et méthodes d'analyses

# II.1 Description générale de la zone d'étude

## II.1.1 Présentation de l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA)

Placé sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement, l'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national à caractère industriel et commercial (E.P.I.C), créé par décret exécutif n° : 01-102 du 21 Avril 2001.

### II.1.1.1 Activités de l'ONA

Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique national de l'assainissement, l'Office National de l'Assainissement est chargé sur le territoire national, de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction des ouvrages et des infrastructures d'assainissement. Ainsi, il assure:

- La protection et la sauvegarde des ressources et environnement hydrique.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.

L'ONA assure également pour le compte de l'Etat, la maîtrise d'ouvrage et d'œuvre déléguée concernant les projets d'études, de réalisation de réhabilitation, de diagnostics des stations d'épuration, des réseaux d'assainissement et de collecte de l'eau pluviale ainsi que des stations de relevage [1]

### II.1.1.2 Développement durable au niveau de l'ONA

L'ONA s'est engagé dans une démarche de management de l'environnement conformément à la norme internationale ISO 14001 Version 2004 depuis Décembre 2007, cette démarche volontaire a été couronnée par une certification selon le référentiel cité ci- dessus, du périmètre suivant :

- Siège de la Zone d'Alger,
- Système d'assainissement de la ville de Bouira,
- Système d'assainissement de la ville de Boumerdes,

- Système d'assainissement de Bougaa/Hammam Guergour, (Wilaya de Setif),
- Système d'assainissement de la ville de Tizi-Ouzou,
- Système d'assainissement de la ville de Tlemcen,
- Système d'assainissement de la ville de Sidi Bel Abbes,
- Système d'assainissement de la ville de Zemmouri

Cette distinction demeure la première en son genre à l'échelle nationale et Africaine dans le domaine de la gestion et de l'exploitation des systèmes d'assainissement. Elle a été décernée par le bureau international Allemand accrédité « TÜV Rheinland » [1].

### II.1.1.3 Motivation de l'intégration du SME

La première raison qui a poussé l'ONA à s'engager dans une démarche de management de l'environnement est liée à trois enjeux principaux à savoir :

- **Financiers**

Qui consistent à réduire la consommation des matières premières et d'énergie, dont le prix est non négligeable,

- **Réglementaires**

Pour se conformer à la réglementation environnementale en vigueur en Algérie et réduire les non-conformités environnementales afin de réduire les redevances et les taxes importantes qu'elles engendrent,

- **Avantage commercial**

Afin d'améliorer l'image de l'entreprise et de gagner la confiance des citoyens. La deuxième raison qui est d'ordre générale s'intéresse tout simplement au développement durable, c'est-à-dire, satisfaire les besoins des générations présent sans compromettre celle de la future**.** [1]

## II.1.2. Description de la Wilaya Ain-Temouchent

### II.1.2.1. Situation géographique

La wilaya Ain-Temouchent, issue du découpage administratif de 1984, est située au carrefour de trois grandes wilayas qui sont : Oran, Sidi Belabbes et Tlemcen. Elle est limitée

au nord par une bande côtière de 80 Km ; composée de 08 daïras et 28 communes. Sa population : D'une superficie de 2376,89 Km2, la wilaya d'Ain-Temouchent compte une population estimée au 31/12/2009 à 379592 habitants, soit une densité moyenne de 160 habitants / Km2. [2]

### II.1.2.2. Climat à Ain-Temouchent

La wilaya Ain-Temouchent a un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et un hiver tempéré. Les étés sont courts, très chauds, humides, arides et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 6°C à 31°C et est rarement inférieure à 2°C ou supérieure à 35°C. [2]

### II.1.2.3. Précipitations à Ain-Temouchent

Sur l'année 2021, la température moyenne à Aïn-Temouchent est de 19.1°C et les précipitations sont en moyenne de 316.2 mm. [2]

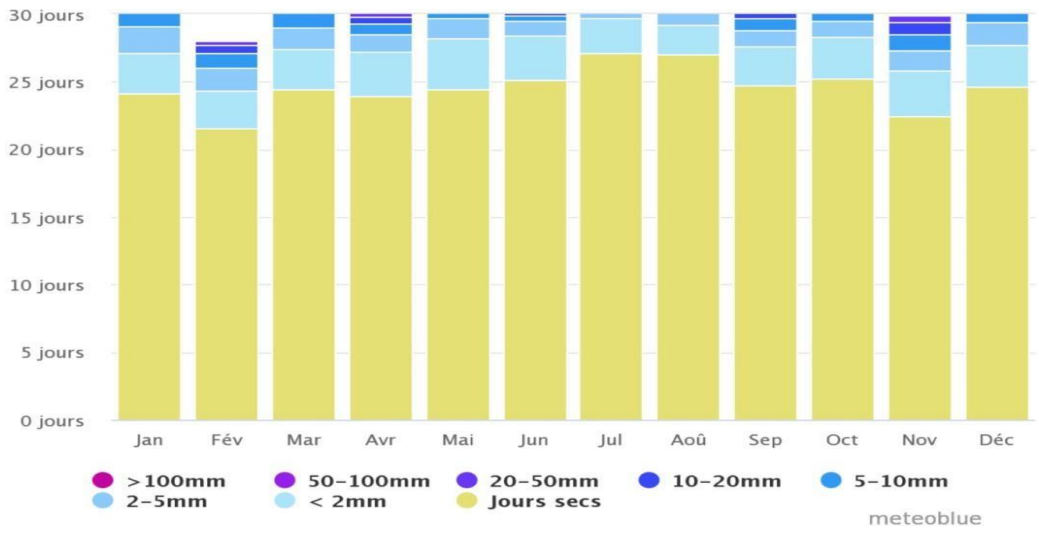



**Figure II. 1.** Les quantités de précipitations à Ain Témouchent.

Le diagramme de la précipitation pour Ain-Temouchent indique depuis combien de jours par mois, une certaine quantité de précipitations est atteinte. Dans les pluies tropicales et la mousson peut être sous-estimée. [2]

### II.1.2.4 Vent à Ain-Temouchent

Le diagramme d'Aïn-Temouchent montre les jours par mois, pendant lesquels

le vent atteint une certaine vitesse. Un exemple intéressant est le plateau tibétain, où la mousson crée des vents forts et réguliers de Décembre à Avril et des vents calmes de Juin à Octobre**.** [2]

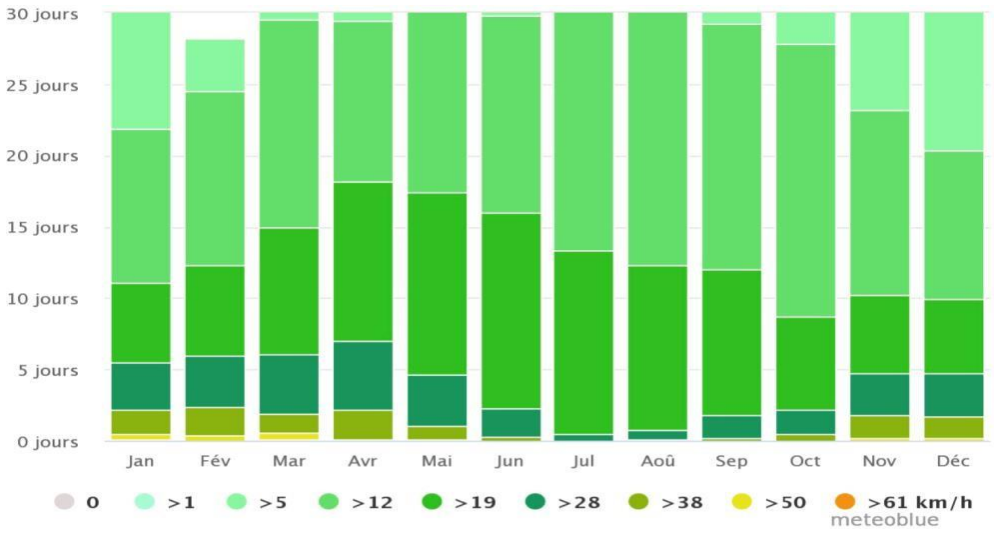



**Figure II.2:** La vitesse du vent

### II.1.2.5 Secteur agriculture

La principale vocation d'Ain-Temouchent est l'agriculture avec une surface agricole utile de 181 000 Hectares représentant près de 73 % de la superficie globale de la wilaya.

## II.1.3 Description de la station d'épuration de Bouzedjar (Ain-Temouchent)

La station d'épuration de Bouzedjar est une STEP, réalisée en 2009 sur une superficie de 2 hectares. Elle a été mise en service en août 2013 et dispose d'une capacité globale de 19000 EH ou habitants ce qui équivaut un débit journalier de 2280 $m^3$/j à l'horizon de 2020. Cette capacité pourra atteindre en 2035 les 2640 $m^3$/j (soit 22000 EH). la station de BOUZEDJAR pourra irriguer, selon la même source, 140 hectares de terres agricoles et répondre aux besoins des agriculteurs de cette commune relevant de la daïra d'EL-AMRIA. [3]

C'est une usine de traitement des eaux usées destinée à recycler les eaux usées en éliminant les polluants avant leur rejet dans leur milieu naturel, rendre

les eaux naturelles propres et sans danger pour l'utilisation humaine.

La station d'épuration de Bouzedjar est destinée au traitement des eaux résiduaires urbaines des villes de Bouzedjar, de M'Said et de Houaoura.

### II.1.3.1 Localisation géométrique de la station (google maps)

La STEP est située au nord-est (zone littoral) de la wilaya d'Ain-Temouchent. Algérie,




**Figure II. 4:** Localisation de la STEP (google maps).[3]

### II.1.3.2 Fiche technique et données

Wilaya : Ain-Temouchent

Commune : Bouzedjar

Localités concernées par le traitement : Bouzedjar, El msaaid , El houaoura.

Maitre d'ouvrage : Direction de l'hydraulique Ain-Temouchent

Nature des eaux épurées : Résiduaire urbaine

Lieu de rejet : Oued Ferra vers la mer méditerranéenne

Date d'ODS de commencement : 06 juin 2009

Entreprise Génie civil : Inter entreprise

Entreprise Equipement : Inter entreprise

Superficie de l'assiette : 2 (h)

Date de mise en service : Aout 2013

Date prévisionnelle du transfert vers ONA : Fin janvier 2016.[3]

- **Gestion « Exploitation » :**

Organisme gestionnaire : ONA

Mode de gestion : Délégation

- **Caractéristique technique de conception**

Procédé de traitement : Boue activée à faible charge.

Capacité d'épuration (Eq/Hab) : 19 000 (Horizon 2020) / 22 000 (Horizon 2035)

Débit installé ($M^3$/jour) : 2280 (Horizon 2020) / 2640 (Horizon 2035). [3]

- **Station de relevage en amont de la STEP :**

Nombre de stations de relevage : 2

L'eau traité depuis la première mise en marche : 1439440 $m^3$ (prise le 10/04/2022).

- **Personnel :**

Ressources humaines déployés sur site :

01 contremaitre maintenance

04 operateurs

03 agents d'exploitation

01 agent technique polyvalent

04 gardiens

- **Moyens de communication :**

01 téléphone mobile

01 téléphone fixe et un fax

- **Durée de travail :**

La durée légale de travail est fixée à quarante (40) heures par semaine dans les conditions normales de travail et comprend la pause repas qui est de trente (30) minutes par jour. Elle peut être augmentée pour certains postes de travail comportant des périodes d'inactivité. Durant le mois de ramadhan, l'amplitude hebdomadaire de travail est fixée à trente-sept heures trente minutes (37 h 30).[3]

## II.2. Caractéristiques des boues étudiées

### II.2.1 Type de boues

La station d'épuration des eaux usées de Bouzejar génère divers déchets durant le processus de traitement. Néanmoins, elle se distingue par la présence d'un unique type de boues, à savoir les boues biologiques.

- **Boues biologiques :** il s'agit d'un mélange des boues générées lors du traitement primaire par décantation et du traitement biologique secondaire, donc entre les boues primaires et psychiques. [4]

### II.2.2 Mode de stabilisation

En diminuant la quantité de matières organiques présentes dans les boues par le biais de dégradations bactériologiques. Lorsqu'elle se déroule en présence d'air, on fait référence à une stabilisation aérobie. En l'absence d'air, on parle de stabilisation ou digestion anaérobie. Selon la diminution du niveau de matières organiques, cette stabilisation peut être permanente ou uniquement partielle.

Les boues dérivées de certaines procédures de traitement des eaux usées sont jugées suffisamment stabilisées → boues de lagunage (naturel ou aéré) → boues biologiques

d'aération prolongée. Pour ces dernières, la stabilisation n'est que partiellement assurée et peut occasionnellement requérir un chaulage supplémentaire.

- **La stabilisation aérobie**

Elle est effectuée grâce à la respiration des micro-organismes dans une cuve de stabilisation, semblable à celle d'une cuve d'aération. L'oxygénation, réalisée par aération en surface ou insufflation d'air, doit garantir une concentration minimale d'au moins 2 mg/l d'oxygène dissous. La fiabilité de la stabilisation aérobie se montre fréquemment imprévisible, surtout durant les périodes d'hiver. [5]

## II.3. Conditions de stockage

Les boues issues de l'épuration, qui sont des résidus du traitement des eaux usées, nécessitent une gestion appropriée afin de réduire au maximum leur impact sur la santé publique et l'environnement. Voici les conditions idéales pour conserver les boues d'épuration :

### II.3.1 Environnement contrôle

L'emplacement de stockage doit être à l'abri des conditions météorologiques pour prévenir le lessivage des nutriments ou l'introduction de contaminants. Il est préférable d'avoir un refuge ou une zone abritée.

### II.3.2 Accès Restreint

Il est nécessaire de sécuriser le site pour prévenir tout accès non autorisé, afin de sauvegarder la santé publique et l'environnement.

### II.3.3 Imperméabilisation

Il est nécessaire d'étanchéifier le sol du lieu de stockage afin d'éviter la pollution des eaux souterraines. Il est courant d'utiliser des liners ou des barrières géomembranes.

### II.3.4. Gestion des Odeurs

Des actions doivent être entreprises pour réduire les odeurs, comme le recouvrement des boues avec un matériau inerte ou l'emploi de substances chimiques pour maîtriser les odeurs.

### II.3.5. Contrôle des Vecteurs

L'aménagement du site doit viser à réduire la présence de vecteurs tels que les insectes, les rongeurs et les oiseaux, susceptibles de propager des maladies.

### II.3.6 Stabilité des Boues

Il est nécessaire de stabiliser les boues avant leur entreposage afin de diminuer leur capacité à être pathogènes et biodégradables. La stabilisation peut comporter des procédés comme la digestion anaérobie, le recours à la chaux ou l'aération.

### II.3.7 Monitoring

Un contrôle périodique doit être réalisé pour examiner la composition chimique et microbiologique des boues et repérer toute fuite ou contamination.

### II.3.8 Plan de Gestion

Il est nécessaire d'élaborer un plan de gestion des boues qui détaille les procédures concernant la manipulation, le stockage, l'utilisation finale ou l'élimination des boues.

### II.3.9 Espace pour le Traitement

Il est essentiel de disposer d'un espace suffisant pour effectuer le traitement ultérieur des résidus, que ce soit par séchage, compostage ou hygiénisation, si nécessaire.

### II.3.10 Conformité Réglementaire

Le stockage doit se conformer à toutes les règles locales et nationales relatives à la gestion des boues d'épuration.

Pour ce qui est des produits ou dispositifs associés à l'assainissement susceptibles d'être pertinents pour le stockage des boues d'épuration, des équipements comme les récipients de stockage dédiés aux boues d'épuration, les bâches de bassin pour gérer les odeurs, ou encore les systèmes de stabilisation et d'hygiénisation pourraient être envisagés. Par exemple, on peut

envisager des produits tels que les systèmes de digestion anaérobie High Strength FAST® ou des solutions de désinfection comme le Bio Barrier® MBR, destinés au traitement des boues pour leur réutilisation, comme étant adaptés pour une gestion efficace des boues d'épuration. Ces dispositifs participent à la stabilisation des boues avant leur entreposage et à l'atténuation des agents pathogènes et des odeurs, rendant ainsi le stockage plus sûr et plus performant. [6]

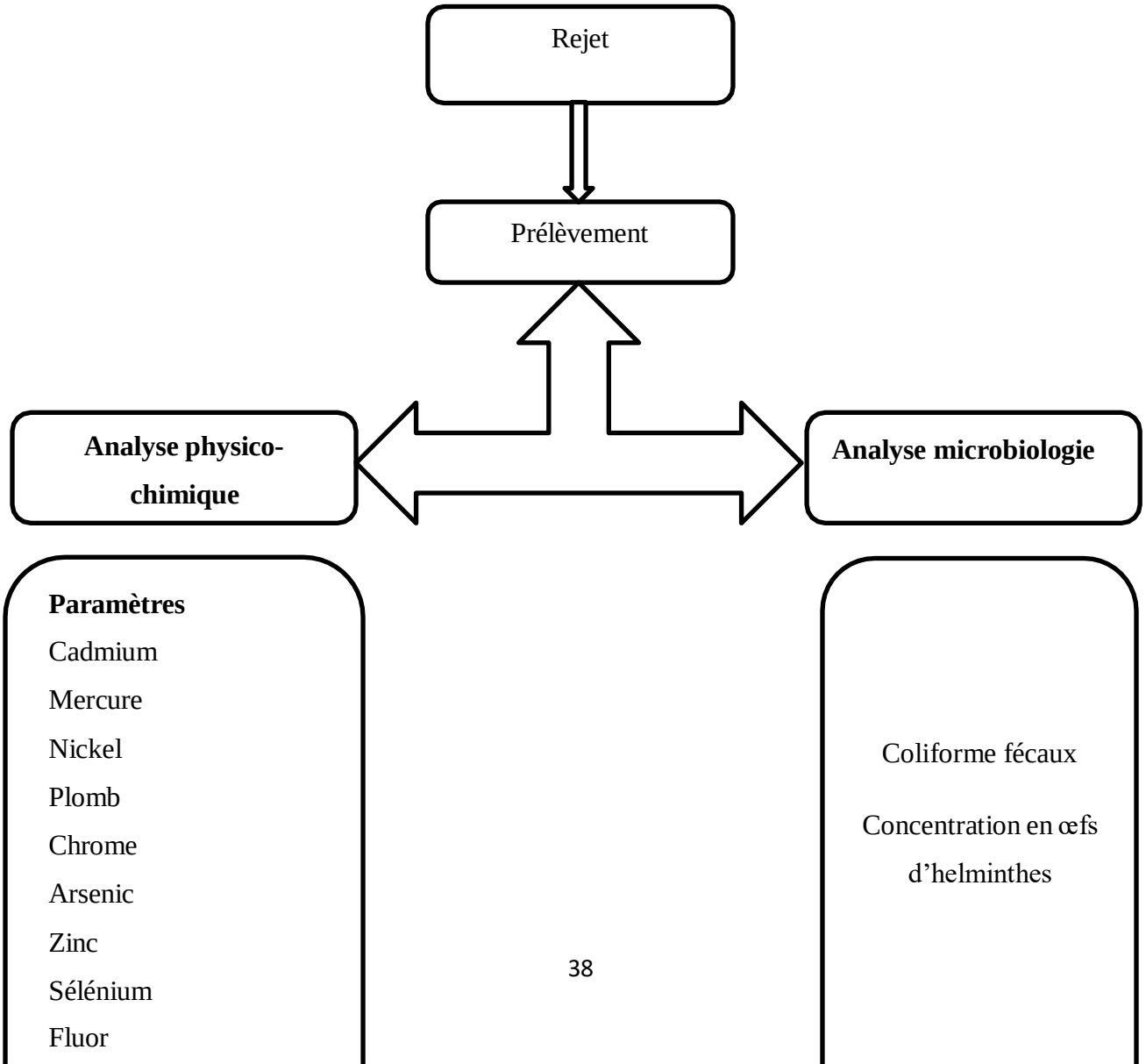


**Figure II.5.** Schéma de Protocole expérimental de la station d'épuration (STEP).

## II.4.1 Méthodes d'analyse gravimétrique

### II.4.1.1 Lieu de réalisation

- **Laboratoire de la station de Bouzedjar :** La station est équipée d'un laboratoire d'analyses physicochimiques qui lui offre la capacité de surveiller le processus de purification de l'eau et d'intervenir en cas d'anomalie ou de résultats d'analyses insatisfaisants. Trois échantillons sont prélevés : un à l'entrée, un dans le bassin d'aération et un à la sortie. On vous a formé sur des données de 2026.

### II.4.1.2 Liste de matériel présent dans le laboratoire de la station

Le laboratoire d'analyse comprend le matériel suivant :

· Un spectrophotomètre HACH LANGE

· Une balance de précision OHAUS

· Pompe à vide à membrane VACUU BRAND

· DBO mètre 06 flacons avec OxyTopes WTN

· Incubateur DBO WTN

· Dessiccateur en verre DN250

· Etuve Memmert UNB 400

· Réacteur DCO HACH LANGEDRB 200
· Four à moufle250°c NUVE FURNACE

· Déstilleur Mural NUVE NS 103

· pH mètre de paillasse HANNA

· Conductivimètre de paillasse HANNA

· Conductivimètre portatif HANNAHI8733 HANNA

· Oxymètre de paillasse HANNA HI2400

·Oxymètre portatif HANNA HI19146

· Thermomètre de paillasse HANNA HI151-00

· Chauffe ballon FIBROMAN HT-W

· Centrifugeuse NUVE NF 400

· Agitateur magnétique

· Réfrigérateur

· Armoire de sureté TRIONYX AZ50

· Microscope binoculaire MOTIC B1

· Bain marie NUVE

· Un lot de verrerie de laboratoire



**Figure II.6 :** Laboratoire de la STEP

L'analyse gravimétrique des matières en suspension (MES) et de leurs fractions volatiles (MVS) -souvent notées MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) et MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids) pour les boues activées — repose sur des pesées successives après des étapes thermiques spécifiques.

- **Étapes de la méthode gravimétrique**

  Le protocole standard suit une séquence logique pour isoler les fractions solides et organiques :

  - **Détermination de Matières en MVSn :**

    La quantification de la concentration de matières en suspension volatiles nous permet connaître la quantité de biomasse active dans les réacteurs (MVLMS).




**Figure II.7 :** Détermination (MVSn% ) dans les boues.

| MVLMS=Calculé à partir de ia différence des poids P2-P3 |
|---|

- **Détermination de Matières en suspension (MES/MLSS) (mg/l) :**

On détermine la quantité de matières en suspension à l'entrée de la STEP.

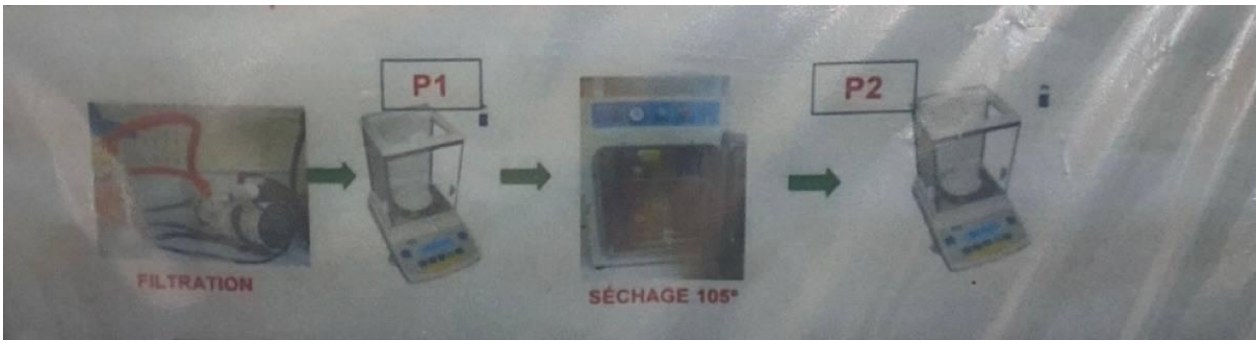



**Figure II.8:** Détermination (MES/MLSS) dans les boues.

MES et MLMS=Calculé à partir de la différence des poids P1-P2

- **Détermination de Matières Sèches volatiles dans les boues (MVS%) :**

On détermine le pourcentage de matières volatiles (%) dans les boues pour pouvoir contrôler le % de possible biomasse active existant dans la déshydratation mécanique

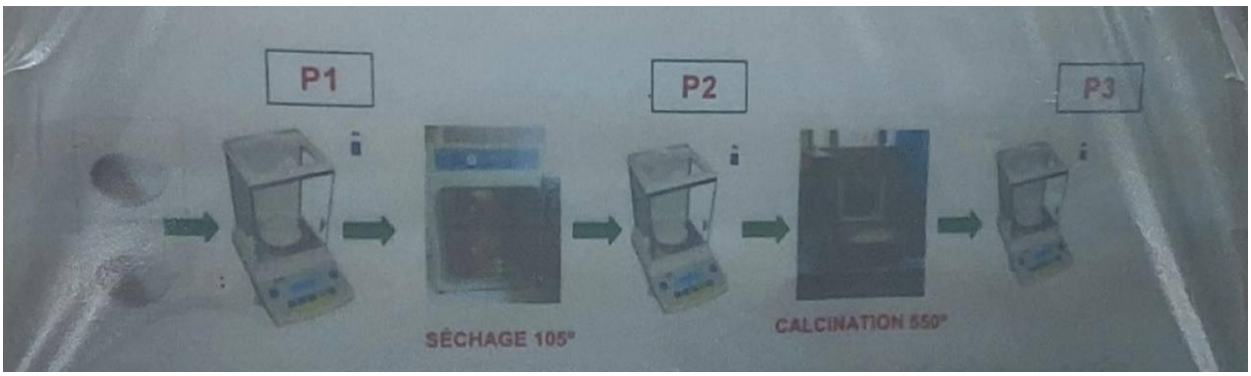



**Figure II.9 :** Détermination (MVS%) dans les boues.

%MVS=Calculé à partir de la différence des poids P2-P3

- **Détermination de Matières Sèches dans les boues (MS%)**




**Figure II.10 :**Détermination (MS% )dans les boues

| %MS=Calculé à partir de la différence des poida P1-P2 |
|---|

## II.4.2 Spectrométrie d'Absorption Atomique

### II.4.2.1 Lieu de réalisation

- **Laboratoire bouzidi d'analyses de la qualité** :

  C'est un laboratoire privé situé dans la wilaya d'Aïn Témouchent / El Malah en Algérie.

- **Informations générales** :

  Autorisation ministérielle : **N°47 du 17/01/2019**

  Téléphone : **077539 04 00**

  Activités :

analyses physico-chimiques,
analyses microbiologiques,
analyses des eaux,
analyses des sols,
produits agroalimentaires,
produits cosmétiques,
détergents.**[7]**

### II.4.2.2 La méthode SA

La méthode SA s'appuie sur l'absorption de lumière par des atomes dans leur état fondamental, créés en vaporisant l'échantillon (généralement une solution) dans une flamme ou un four en graphite. La quantité de lumière captée à une longueur d'onde spécifique de l'élément est proportionnelle à sa concentration, ce qui permet une mesure exacte, souvent à des concentrations faibles (ppm ou ppb).[8]

### II.4.2.3 Principe

Un rayonnement monochromatique, émis par une lampe à cathode creuse propre à l'élément, passe à travers la vapeur atomique. Les atomes de l'élément visé absorbent une portion de ce rayonnement, et le capteur évalue la diminution d'intensité pour déterminer la concentration à l'aide d'une courbe d'étalonnage. [9]

### II.4.2.4 Protocole opératoire standard :

L'analyse des métaux lourds dans les boues par Spectroscopie d'Absorption Atomique (SA) suit les étapes protocolaires suivantes :

- **Préparation de l'échantillon**

- **Prélèvement :** Utilisation d'un échantillon représentatif de boues (brutes, stabilisées ou déshydratées selon les objectifs).

- **Conditionnement :** Homogénéisation de la matrice, suivie d'un séchage à l'étuve (généralement à 90 °C) ou par lyophilisation.
- **Prétraitement physique :** Broyage et tamisage (souvent à < 4 mm ou 450 µm) pour obtenir une poudre fine et homogène permettant une minéralisation optimale [10].

➢ **Minéralisation (Digestion)**

- **Attaque acide :** Digestion de la matière par des acides forts $HNO_3$,ou des agents oxydants ($H_2O_2$). L'usage de l'acide fluorhydrique (HF3) est réservé aux cas où une dissolution totale de la fraction silicatée est requise.
- **Modes opératoires :** La digestion s'effectue soit en milieu ouvert (chauffage classique), soit par micro-ondes en système fermé (plus rapide et limitant les pertes par volatilisation).
- **Filtration :** Après refroidissement, la solution est filtrée et ajustée à un volume précis pour obtenir une phase liquide limpide contenant les métaux extraits [10].

➢ **Dilution et étalonnage**

- **Préparation des gammes :** Dilution de la solution mère pour s'insérer dans la zone de linéarité de l'appareil (exprimée en µg/L pour le four ou mg/L pour la flamme).
- **Effet de matrice :** Préparation de solutions étalons dans une matrice acide identique à celle des échantillons afin de respecter la loi de Beer-Lambert et de compenser les interférences chimiques [11].

➢ **Introduction dans l'atomiseur**

- **SAA à flamme :** L'échantillon est aspiré via un capillaire vers un nébuliseur, transformé en aérosol, puis transporté vers la flamme (mélange air/acétylène ou protoxyde d'azote/acétylène).
- **SAA à four graphite (ETAS) :** Une microquantité d'échantillon (quelques µL) est injectée précisément dans un tube en graphite. Cette technique est privilégiée pour la détection de traces à des concentrations très faibles [11].

➢ **Atomisation et mesure**

- **En flamme :** La chaleur provoque successivement la désolvatation, la vaporisation et l'atomisation des métaux.
- **En four graphite :** Le processus suit un programme thermique rigoureux en trois étapes : **séchage** (évaporation du solvant), **pyrolyse** (élimination de la matrice organique) et **atomisation** (libération des atomes libres).
- **Mesure :** Le rayonnement d'une lampe à cathode creuse traverse le nuage atomique. L'absorbance mesurée est proportionnelle à la concentration des atomes présents dans la vapeur [11].

➢ **Calcul de la concentration finale**

- **Exploitation des données :** La concentration de l'élément dans la solution finale est déterminée à partir de la courbe d'étalonnage.
- **Expression des résultats :** Le calcul final intègre les facteurs de dilution et la prise d'essai initiale pour exprimer le résultat par rapport à la matière sèche (mg/kg MS) ou à la matière brute, conformément aux normes en vigueur [11].

## II.5. Principaux risques au sein de la station d'épuration

Apres notre visite et inspection ou audit on a pu repérer quelques risques au sein de la station d'épuration de Bouzedjar on peut situer parmi eux : [3]

### II.5.1. Risque Mécanique

-Chaudière ballon d'air : vapeur, gaz, air, hydraulique.
-Élément en mouvement : rotation, cisaillement, transfert.
- Autre risque mécanique associé aux machines : chute d'objet, projection d'élément.
**Accidents liés au contact direct avec un organe en mouvement :** écrasement, coupures, sectionnement, arrachement, fracture, électrisation. Coincement – Cisaillement
**Accident par projection :** Brûlures – contusion.




**Figure II.11:** Exemple d'un compresseur d'air

### II.5.2. Risque électrique

- **Electrisation :** Un choc électrique provoque une tétanisation des muscles, entraînant des effets indirects tels que la chute.
- **Choc électrique :** Arrêt du cœur (risque accru en présence d'eau)
- **Brûlure sur la peau.**

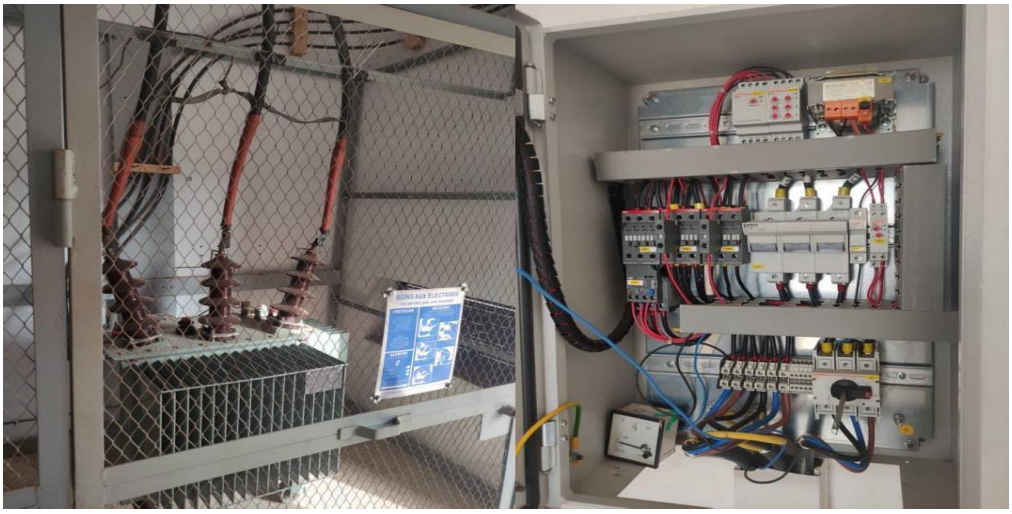


**Figure II.12:** Exemple des circuits électriques de la STEP

### II.5.3. Risque de noyade

Le Risque de noyade fait référence à l'asphyxie due à l'immersion ou la submersion dans l'eau, qui peut survenir dès une profondeur approximative d'un mètre dans les bassins,

réservoirs ou fosses des stations d'épuration des eaux usées (STEP), et qui est exacerbé par les turbulences, courants, terrains glissants ou instables.



**Figure II.13:** Exemple de risque de noyade dans la STEP.

### II.5.4. Risques chimiques

Risques chimiques Produit nocif, corrosif et irritant : impact immédiat ou sur le long cours.
Réaction chimique : produits instables, non compatibles.
Inflammation, explosion : fluide, gaz, particules...

Pollution atmosphérique : émanation de gaz nuisible, toxique, inflammable...

### II.5.5. Risque incendie et explosion

- ✓ **Un incendie peut entraîner :**

- L'intoxication est causée par les produits de combustion généralement toxiques et/ou corrosifs. Parmi l'ensemble des gaz générés.
- Brûlure cutanée ou du système respiratoire.
- Effet de serre, entrave à toute action de secours (en raison des fumées).
- Dommages sur les structures et l'homme « effet de souffle, victime, rupture d'enceinte, projection de débris… » causés par la surpression.

- ✓ **L'explosion peut entraîner :**

- Lancement violent d'objets ou de produits.

- Brûlure causée par la flamme générée.
- Incendie potentiel résultant de l'explosion
- Effet d'explosion sur les individus, destructions.

### II.5.6. Risque associé au gaz

Il est possible que des gaz dérivent du réseau : des composés d'azote et de sulfure. Les rejets septiques sont à l'origine de la formation d'H2S, et on peut également y déceler des polluants volatils, des solvants ou des gaz d'hydrocarbure lors de déversements industriels accidentels ou illégaux.

Il est possible que des gaz se produisent au sein de l'installation, notamment dans les fosses ou des regards mal aérés en raison de fermentations (H2S).

On peut également observer des déficits en oxygène suite à une augmentation de la concentration en CO2, NH3, etc.

### II.5.7. Risque d'odeurs ou de nuisances olfactives

Les nuisances olfactives constituent l'un des impacts environnementaux les plus sensibles des stations d'épuration. Au-delà du simple désagrément pour le voisinage, l'émanation d'odeurs indésirables est souvent le symptôme d'un dysfonctionnement du procédé. Elle signale généralement la présence de gaz corrosifs, tels que le sulfure d'hydrogène ($H_2S$), qui peut s'oxyder en acide sulfurique et dégrader les infrastructures. À long terme, une exposition chronique à ces substances volatiles peut également avoir des répercussions sur la santé humaine.

Sur le plan technique, les substances volatiles s'échappent principalement lors de la phase de prétraitement et de la première aération. Si le traitement aérobie limite les risques grâce à une oxygénation constante, des nuisances peuvent réapparaître au niveau des unités de traitement des boues (épaississement, déshydratation) en cas de défaillance opérationnelle ou de conditions d'anaérobiose.

Lors du stockage ou de la conservation des boues, la dégradation de la matière organique libère des composés à faible poids moléculaire tels que l'ammoniac ($NH_3$), le $H_2S$, les mercaptans et des acides organiques à chaîne courte. Ces émanations génèrent des risques de

contamination biologique et chimique, altérant l'environnement de travail et la sécurité du personnel.

Le principe « Nul n'est censé ignorer la loi » s'applique rigoureusement à la gestion des installations d'épuration. Afin d'évaluer les performances environnementales de l'exploitation et de définir des actions prioritaires, il est impératif de confronter les mesures de terrain aux seuils réglementaires en vigueur. Une veille juridique constante, compilée dans un recueil des lois et normes environnementales, est essentielle pour garantir la conformité de la société face aux exigences de santé publique et de protection de l'écosystème.

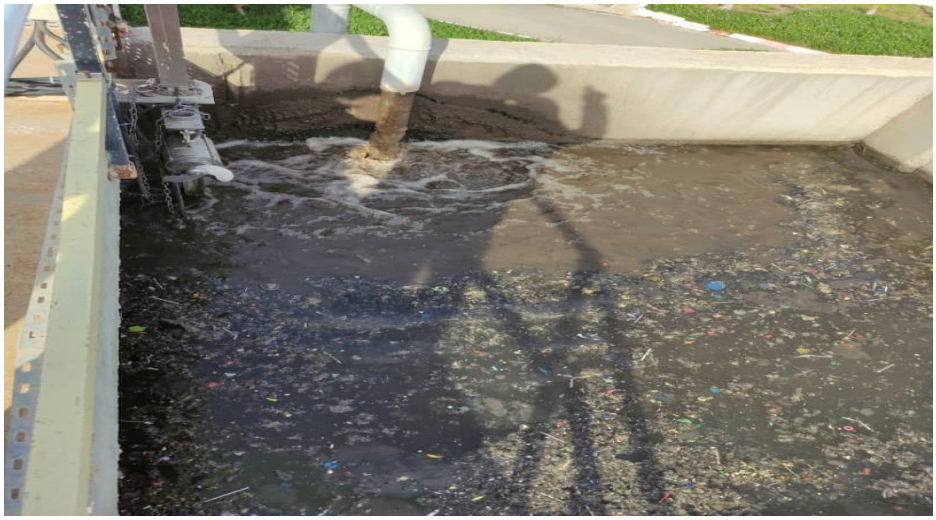


**Figure II.14 :** Exemple d'une source de mauvaise odeur



**Figure I.15:** Pollution des déchets

## Références :

**[1]** Office National de l'Assainissement. (**2026**). *Site officiel de l'ONA*. https://www.onadz.org/

**[2]** meteoblue. (**2026**). *Simulation de données climatiques et météorologiques historiques pour Aïn Témouchent*. https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/a%C3%AFn-temouchent_alg%C3%A9rie_2507901

**[3]** Riazi, M. (**2026**). *Rapport de stage* [Document Word non publié].

**[4]** Air Liquide. (**2026**). *Tout savoir sur les boues d'épuration*. https://fr.airliquide.com/solutions/traitement-des-eaux/tout-savoir-sur-les-boues-depuration

**[5]** DFE/CNFME. (**2009**). *La gestion des boues* (Doc n°12, F001) [Document de formation].

**[6]** FranceEnvironnement. (**2026**). *Conditions optimales pour le stockage des boues d'épuration*. https://www.franceenvironnement.com/question/quelles-sont-les-conditions-optimales-pour-le-stockage-des-boues-epuration

**[7]** STEP de Bouzedjar. (**2026**). *Station d'épuration de Bouzedjar* [Données de terrain].

**[8]** Université d'Aïn Témouchent. (**2026**). *Document universitaire en ligne*. https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/server/api/core/bitstreams/b28984a8-ae9d-4835-bae9-4b2a70af98bf/content

**[9]** Wikipédia. (**2026**). *Spectrométrie d'absorption atomique*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Spectrom%C3%A9trie_d%27absorption_atomique

**[10]** Dr Ritha N. K. (**2026**). *Spectrophotométrie d'absorption atomique* [Document PDF]. Scribd. https://fr.scribd.com/document/985461610/SPECTROPHOTOMETRIE-D-ABSORPTION-ATOMIQUE-corrige-par-Dr-Ritha-N-K

**[11]** AQUAREF. (**2014**). *Méthodes d'analyses des boues*. https://www.aquaref.fr/sites/default/files/2012_IA02_point4_m%C3%A9thodes_analyses_boues_22072014_VF.pdf

**[12]** Université des Frères Mentouri Constantine 1. (**2026**). *Les spectroscopies* [Support de cours]. https://fac.umc.edu.dz/vet/Cours_Ligne/cours_21_22/Biochimie_med_A4/Les_spectroscopies.pdf

**[13]** Laboratoire Bouzidi d'Analyses de la Qualité. (**2026**). *Analyses de la qualité des boues et des eaux* [Données de laboratoire].

# Chapitre III

# Évaluation sanitaire et conformité réglementaire des boues en agriculture

## III.1. Présentation générale des résultats analytiques des boues étudiées

L'épuration des eaux usées urbaines génère inévitablement des volumes considérables de sous-produits solides appelés boues résiduaires. En Algérie, la gestion de ces sédiments constitue un défi de taille pour les gestionnaires des stations d'épuration (STEP) et les autorités environnementales. Traditionnellement considérées comme des déchets à éliminer, ces boues stabilisées font aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant en tant que ressources agronomiques alternatives.

Cependant, leur réutilisation sur les sols agricoles ne peut être envisagée sans une caractérisation approfondie et rigoureuse de leurs propriétés physiques, chimiques et microbiologiques. Ce présent chapitre est consacré à l'exposition, l'interprétation et la discussion des résultats analytiques obtenus sur les boues d'épuration stabilisées issues de notre site d'étude.

L'objectif fondamental est d'évaluer leur potentiel de valorisation en tant qu'amendement organique et fertilisant pour les sols algériens, tout en confrontant de manière stricte leurs teneurs en micropolluants et agents pathogènes aux limites maximales admissibles par la réglementation et les normes algériennes en vigueur. [1]

### III.1.1. Caractérisation technique et potentiel agronomique des boues

La faisabilité technique et l'intérêt agronomique de la valorisation des boues dépendent intrinsèquement de leur composition globale, de leur charge en matière organique et de leur comportement physique lors des phases de traitement au sein de la station d'épuration. [1]

### III.1.2. Suivi de la biomasse et paramètres de décantabilité

Le bon fonctionnement d'un procédé de traitement biologique par boues activées repose sur le maintien d'une population microbienne active (la biomasse) et sur sa capacité à se séparer efficacement de l'eau épurée lors de la phase de clarification. Le suivi régulier de la concentration de cette biomasse et de ses propriétés de sédimentation est donc indispensable pour optimiser les performances de l'épuration et prévenir les dysfonctionnements (comme le *bulking* ou le départ de boues).

### A. Suivi de la concentration de la biomasse

La quantification de la biomasse dans le bassin d'aération s'effectue principalement à travers deux indicateurs clés :

- **Les Matières En Suspension (MES) :** Elles représentent la masse totale des particules solides présentes dans la liqueur mixte. Bien qu'elles incluent des matières inertes, elles donnent une première estimation globale de la concentration de la boue.
- **Les Matières Volatiles en Suspension (MVS) :** Obtenues par calcination des MES à 550°C, les MVS représentent la fraction organique de la boue, et donc la part estimée de la biomasse réellement active et vivante. Le rapport MVS / MES (généralement compris entre 0,6 et 0,9) permet d'évaluer la "richesse" biologique de la boue. [1]

### B. Paramètres de décantabilité

La décantabilité traduit la vitesse et l'efficacité avec lesquelles les flocs biologiques se déposent au fond du clarificateur. Deux paramètres complémentaires permettent de la mesurer :

- **L'Indice de Boue ou Indice de Mohlman (IB ou IM) :** C'est le paramètre de référence. Il correspond au volume (en mL) occupé par un gramme de boue sèche après 30 minutes de décantation dans une éprouvette de 1 litre. Il est défini par la formule : [1]

$$IB = V60/MVS$$

  - **IB < 100 mL/g :** Excellente décantabilité.
  - **100 < IB < 150 mL/g :** Décantabilité moyenne à bonne.
  - **IB > 130 mL/g :** Mauvaise décantabilité, risque de foisonnement biologique (*bulking* filamenteux).
- **La Vitesse de Sédimentation :**

Mesurée lors des premières minutes du test d'éprouvette, elle permet de tracer la courbe de décantation et d'évaluer la vitesse critique de chute des flocs, un élément clé pour le dimensionnement et la gestion du débit de recirculation des boues.

### III.2. Évaluation du risque microbiologique et sanitaire

L'utilisation des boues résiduaires (ou des eaux usées épurées) en agriculture, bien qu'elle présente un intérêt agronomique indéniable, comporte des risques sanitaires potentiels liés à la présence de micro-organismes pathogènes. L'évaluation du risque microbiologique et sanitaire est une étape fondamentale pour garantir que la valorisation de ces matrices ne devienne pas un vecteur de propagation de maladies pour l'homme, les animaux ou l'environnement. [1,2]

- **. Identification des principaux agents pathogènes**

Les boues d'épuration concentrent une grande variété de germes pathogènes issus des rejets domestiques et industriels. Ces agents sont classés en quatre grandes catégories :

- **Les bactéries :** Notamment les entérobactéries comme *Salmonella spp.* (responsable de salmonelloses), *Escherichia coli* (indicateur de contamination fécale, dont certaines souches sont entérohémorragiques), et *Vibrio cholerae*.
- **Les virus :** Très résistants dans le milieu extérieur, ils incluent les entérovirus, les rotavirus (causes de gastro-entérites sévères) et le virus de l'hépatite A.
- **Les parasites (Protozoaires et Helminthes) :** Les œufs de nématodes (comme *Ascaris lumbricoides*) et les kystes de protozoaires (*Giardia*, *Cryptosporidium*) représentent le risque le plus persistant en raison de leur double enveloppe protectrice qui les rend très viables dans le sol.
- **Les champignons microscopiques :** Capables de provoquer des mycoses cutanées ou pulmonaires chez les opérateurs manipulant les boues.

## III.4. Confrontation au cadre réglementaire et normatif algérien

Le statut juridique de la valorisation des boues en Algérie fait l'objet d'un encadrement normatif strict destiné à concilier les objectifs de valorisation des déchets avec les impératifs de protection de la santé publique et des écosystèmes.

## 4.1. Analyse des textes législatifs et applicabilité des normes nationales

Trois textes réglementaires majeurs régissent l'usage des boues de STEP sur le territoire algérien :

**L'Arrêté interministériel du 28 décembre 2009 :** 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.

**La Norme Algérienne NA 1100 (2004) - "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.

**La Norme Algérienne NA 116 (2004) - "Épandage des boues d'épuration" :** 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. [2]

### III.4.2. Les normes ISO relatives

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) : est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique. [3]

Les méthodes analytiques utilisées dans cette étude sont des méthodes normalisées reconnues pour l'analyse des eaux. Elles permettent le dosage de différents paramètres physico-chimiques et éléments traces à l'aide de techniques telles que la spectrométrie d'émission atomique avec plasma couplé par induction, la spectrométrie d'absorption

atomique, la colorimétrie et la mesure de la conductivité électrique. L'utilisation de ces normes garantit la fiabilité, la précision et la reproductibilité des résultats obtenus.

- **ISO 11885 / NF ISO 11885 (SAA)** : **Norme internationale** adoptée en version française (**NF**) ; elle décrit le dosage de plusieurs éléments dans l'eau par spectrométrie d'émission atomique avec plasma couplé par induction (ICP-OES).
- **ISO 6703-1:1984** : **Norme internationale** d'analyse de l'eau définissant une méthode normalisée pour le dosage d'un paramètre chimique précis.
- **ISO 6878:2004** : **Norme internationale** qui décrit la détermination du phosphore dans l'eau par méthode spectrophotométrique.
- **ISO 12020** : **Norme internationale** d'analyse de l'eau portant sur le dosage d'un paramètre chimique ou d'un groupe de paramètres selon l'édition utilisée.
- **ISO 6332:1988** : **Norme internationale** pour la détermination du fer dans l'eau, généralement par spectrométrie d'absorption atomique.
- **ISO 7888:1985** : **Norme internationale** définissant la méthode de mesure de la conductivité électrique de l'eau.
- **ISO 11885** : **Norme internationale** portant sur le dosage de plusieurs éléments dans l'eau par ICP-OES

**ISO 9964-3:1993** : **Norme internationale** relative à l'analyse de l'eau, partie 3, consacrée au dosage spécifique de certains ions. [3]

- **T 90-041** : **Norme française** de la série T 90 utilisée pour une analyse physico-chimique de l'eau.
- **NA 749** : **Norme algérienne** relative à l'analyse de l'eau et au contrôle de certains paramètres de qualité.
- **NF T90-026** : **Norme française** appartenant à la série T 90, utilisée pour l'analyse physico-chimique de l'eau selon la méthode définie par l'édition consultée.
- **T 90-112** : **Norme française** de la série T 90 ; elle permet le dosage de plusieurs

éléments métalliques dans l'eau par spectrométrie d'absorption atomique.

- **NF T90-025** : **Norme française** de la série T 90, utilisée pour l'analyse physico-chimique de l'eau.

**T90-004** : **Norme française** de la série T 90, employée pour une détermination analytique de la qualité de l'eau. [4]

- **Colorimétrique** : **Méthode analytique générale** utilisée internationalement ; elle repose sur la formation d'une couleur après réaction chimique et sur la mesure de son intensité. [5]

- **Rodier** : **Ouvrage français de référence** en analyse des eaux ; ce n'est pas une norme, mais un manuel très utilisé en laboratoire pour les méthodes physico-chimiques et bactériologiques. [6]

Les analyses réalisées dans ce travail ont été effectuées selon des méthodes normalisées reconnues, afin de garantir la fiabilité, la précision et la reproductibilité des résultats**.**

### III.4.3. Niveau de risque

Dans l'ensemble, on peut qualifier le niveau de risque pour la santé de modéré. Effectivement, bien que la plupart des paramètres chimiques et microbiologiques soient conformes, une forte concentration en sodium constitue un obstacle à sa valorisation agricole et exige des mesures de précaution lors de son utilisation.

Afin d'évaluer risque sanitaire associé aux boues et aux eaux usées de la station d'épuration, une étude des indicateurs physico-chimiques et microbiologiques a été effectuée en accord avec les standards de référence. L'évaluation fournie dans le tableau ci-dessous se base sur la détection des risques potentiels, l'examen des résultats obtenus et l'appréciation de leurs conséquences sur la santé humaine et l'environnement. Elle offre aussi la possibilité de mettre en place des actions préventives et correctives appropriées pour réduire les risques sanitaires et environnementaux éventuels.

| **Degre de danger=Probabilité ×Conséquences** |
|---|

**III.4. Tableau**. Evaluation des risques et planification de l'activité préventive. [7]

## ÉVALUATION DES RISQUES ET PLANIFICATION DE L'ACTIVITÉ PRÉVENTIVE

| | |
|---|---|
| **Adresse** | STEP |
| **Zone** | |
| **Entreprise** | |
| **Exploitation** | |

| | |
|---|---|
| Date / Révision | |
| Évaluateur | |
| Planificateur | |
| Révisé par | |

| IDENTIFICATION | | | | ÉVALUATION DU RISQUE | | | | | PLANIFICATION | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INFORMATION ADDITIONNELLE | LIEU/TÂCHE | RISQUE/ DÉFAUT DÉTECTÉ | Voie de détection | Probabilité | Conséquences | Degré de danger | Niveau de Risque | MESURE CORRECTIVE / MESURE PRÉVENTIVE PROPOSÉE | Devis | Date prévue | Date réelle | | remarque N° |
| Station complète | Absence de signalisation de sécurité | Non-respect des consignes, mauvaise orientation du personnel et des visiteurs | Observation visuelle | 2 | 2 | 4 | Tolérable | Installer des panneaux de signalisation, identifier les zones dangereuses, afficher les obligations de port des EPI | | | | | |
| Entrée de la station | Portail corrodé ou dégradé | Coupure, blessure, défaillance d'accès sécurisé | Observation visuelle | 2 | 2 | 4 | Tolérable | Traiter la corrosion, repeindre, remplacer les éléments endommagés, assurer un entretien périodique | | | | | |
| Salle de pompage | Trappe d'accès non sécurisée | Chute de hauteur dans une fosse | Observation visuelle | 3 | 4 | 12 | Important | Installer un couvercle résistant, garde-corps, verrouillage, signalisation et procédure d'accès | | | | | |
| Poste de pompage | Contact avec éléments électriques sous tension | Électrocution, brûlures, arrêt cardiaque | Contrôle technique / inspection | 2 | 5 | 10 | Important | Consignation électrique, vérification d'absence de tension, habilitation, matériel conforme | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Analyses physico-chimiques | Boues d'épuration | Une concentration élevée en sodium peut entraîner une dégradation des sols agricoles et une diminution de leur fertilité. | Analyse chimique | 2 | 2 | 4 | Modéré | Contrôle régulier des boues et limitation de l'épandage | | | | |
| Analyses microbiologiques | Boues d'épuration | Présence possible de micro-organismes pathogènes | Analyse microbiologique | 2 | 1 | 2 | Faible | Respect des mesures d'hygiène et suivi microbiologique | | | | |
| Métaux lourds | Boues et eaux usées | Accumulation potentielle de métaux lourds pouvant entraîner une faible toxicité environnementale | Analyse spectrométrique | 2 | 1 | 2 | Faible | Surveillance périodique des concentrations | | | | |

## III.5. Potentiel de valorisation agricole des boues

L'utilisation des boues en agriculture constitue l'une des principales voies de valorisation. Cependant, elle se heurte à des problématiques de santé publique et à des craintes liées à une éventuelle pollution des sols et des cultures par les contaminants potentiellement présents dans ces matières. Ainsi, la réglementation vise à trouver un juste équilibre entre la volonté de recycler ces ressources et la protection des consommateurs. Bien que les enjeux varient selon les filières et soient détaillés dans les sections suivantes, deux constats majeurs s'appliquent à l'ensemble d'entre elles :

- Les produits dérivés des boues qui peuvent être valorisés en agriculture, sont non seulement riches en azote et en phosphore, mais ils ont aussi une texture qui peut améliorer la qualité des sols, notamment en ce qui concerne leur capacité à retenir l'eau, contrairement aux engrais synthétiques
- Aucun fertilisant utilisé par les agriculteurs, qu'il soit naturel (fumier, lisier) ou synthétique, n'est exempt d'éléments indésirables ; il convient donc d'aborder la question des risques liés à la valorisation agricole des boues de manière comparative avec les autres alternatives possibles. [8]

### ❖ La valorisation agricole : une solution mutuellement bénéfique

La valorisation agricole des boues d'épuration présente des avantages partagés entre les agriculteurs, les collectivités locales et les services d'assainissement. Elle permet notamment :

- Utiliser les propriétés fertilisantes de ces matières organiques à un coût réduit pour les agriculteurs,
- Tirer parti de la capacité de purification des sols,
- Engendrer parfois des gains additionnels pour les services d'assainissement.

- Elle représente une option favorable tant du point de vue écologique qu'économique. En effet, elle participe à la sauvegarde de l'environnement en recyclant les déchets organiques et en atténuant la pollution, tout en appuyant l'économie locale par la réduction des dépenses liées au traitement et à l'élimination des boues, ainsi qu'en générant une valeur ajoutée à partir d'un matériau précédemment perçu comme un déchet. [9]

## III.6. Recommandations générales

Les recommandations proposeront pour objectif d'assurer une valorisation sécurisée des boues, en équilibrant la sauvegarde de la santé des travailleurs, la protection de l'environnement et l'optimisation des performances techniques du processus. Elles s'appuient sur la gestion de la qualité des boues, l'observance des normes d'hygiène et la mise en œuvre de vérifications fréquentes avant toute valorisation agricole. Donc on :

### A. Recommandations sanitaires

• Il faut interdire l'épandage des boues sur les cultures maraîchères et fruitières consommées crues, respecter un délai avant la mise en culture ou la mise à l'herbe, et enfouir les boues afin de réduire les risques de ruissellement et de contamination. [10]

• Assurer l'hygiénisation des boues avant tout épandage agricole réduit les agents pathogènes à un niveau indétectable. L'hygiénisation se fait par chaulage, séchage thermique ou compostage thermique. [10]

• Pour prévenir les risques sanitaires, surtout en période d'épidémie, on ne doit épandre sur les champs que les boues qui ont reçu un traitement adéquat, comme la digestion thermique, le compostage, le séchage ou le chaulage. [11]

• Il faut installer une surveillance microbiologique régulière des boues hygiénisées. La surveillance microbiologique doit rechercher les coliformes thermotolérants, les salmonelles et les œufs d'helminthes viables, conformément aux exigences réglementaires en vigueur. [12]

• Il faut surveiller de près les métaux lourds et les composés organiques persistants dans les boues destinées à la valorisation agricole, car ils s'accumulent dans le sol et peuvent se transférer aux plantes. [10]

• L'approche basée sur l'évaluation des risques doit être adoptée. L'approche encadre les concentrations de métaux lourds dans les bio solides et protège la santé publique lors de l'épandage agricole. [13]

• Il faut fixer des limites réglementaires pour les métaux lourds présents dans les boues. Il faut aussi imposer des normes qui réduisent les agents pathogènes et l'attraction vectorielle avant toute utilisation agricole. [14]

• Avant de réutiliser les boues en agriculture, il faut d'abord réaliser une caractérisation chimique et microbiologique complète. La caractérisation chimique et microbiologique complète permet d'évaluer les risques sanitaires et environnementaux liés à la présence éventuelle de polluants organiques persistants et de contaminants métalliques. [15]

### B. Recommandations environnementales

• L'épandage agricole des boues ne doit être autorisé que lorsque les boues offrent un réel intérêt agronomique aux sols et aux cultures, et lorsque des règles strictes sont appliquées pour éviter toute dégradation environnementale ou sanitaire. [16]

• Renforcer le cadre juridique et réglementaire de la filière de valorisation agricole des boues. Le cadre juridique doit fixer des valeurs limites pour les contaminants et imposer des conditions strictes pour la mise en œuvre de l'épandage. [17]

• L'épandage agricole doit être fait en suivant des procédures strictes qui garantissent que les boues sont sûres pour l'homme, la faune, la flore et l'environnement. [18]

## Recommandations techniques

- Il est recommandé d'améliorer le procédé de séchage des boues par l'ajout de sous-produits industriels tels que les farines calcaires ou les briques réfractaires broyées, permettant d'augmenter la siccité des boues et de réduire leur volume de manière significative. [19]

- Les autorités publiques devraient encourager les pratiques de valorisation agricole des boues à travers des programmes de sensibilisation et de vulgarisation destinés aux agriculteurs afin de promouvoir une gestion durable de ces déchets. [20]
- Le compostage aérobie en bioréacteur, associé à des sous-produits agricoles tels que la paille ou les feuilles de betterave, constitue une technique efficace de stabilisation des boues permettant une réduction importante des germes pathogènes et des œufs d'helminthes. [21]
- Avant toute valorisation agricole, les boues devraient faire l'objet d'une caractérisation physique, chimique et microbiologique complète afin d'évaluer les risques sanitaires liés à la présence de métaux lourds et de micropolluants. [22]
- Il est recommandé d'étudier l'ensemble des filières de gestion et de valorisation des boues-notamment le compostage, l'épandage direct, la méthanisation et l'incinération, en tenant compte des contraintes techniques, économiques et réglementaires propres à chaque procédé. [23]
- Une évaluation des risques multi-trajectoires (sol → plante → animal → homme) devrait être réalisée afin de définir les concentrations admissibles en polluants dans les bio solides destinés à l'épandage agricole et de garantir la protection de la santé publique et de l'environnement. [24]

# Références

**[1]** STEP de Bouzedjar. (**2026**). *Station d'épuration de Bouzedjar : Données de terrain.*

**[2]** Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP). (**2009**). *Arrêté interministériel du 28 décembre (**2009**) relatif à la gestion des boues d'épuration et Normes Algériennes NA 1100 et NA 116*. Algérie.

**[3]** ISO – Organisation internationale de normalisation. (**2026**). *About ISO*. Consulté sur le site officiel de l'ISO.

**[4]** Légifrance. (**1998**). *Arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues.*

**[5]** STRUB, M. P. (**2014**). *Méthodes officielles pour l'analyse des boues d'épuration*. AQUAREF/INERIS.

**[6]** STRUB, M. P. (**2014**). *Méthodes officielles pour l'analyse des boues d'épuration*. AQUAREF/INERIS.

**[7]** STEP SEOR. (s.d.). Document d'évaluation des risques et planification de l'activité préventive. STEP SEOR.

**[8]** Wikhydro – Valorisation des boues. (**2026**). *Valorisation agricole des boues.*

**[9]** FP2E. (**2026**). *Quel avenir pour la filière de valorisation des boues d'épuration ?*

**[10]** Centre antipoison environnemental de l'Ouest. (**2026**). *Informations sur les risques liés aux boues d'épuration*. En référence à l'Arrêté français du 8 janvier (**1998**).

**[11]** ANSES & notre-planete.info. (**2020**). *Informations environnementales sur les boues d'épuration*.

**[12]** Inovalys. (**2026**). *Hygiénisation des boues destinées à l'épandage agricole : analyses à réaliser*. En référence à l'Arrêté du 8 janvier (**1998**).

**[13]** United States Environmental Protection Agency (USEPA). (**1993**). *40 CFR Part 503 Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge*.
Cjzakowski, D. (**2010**). *Études sur la gestion des biosolides.*

**[14]** United States Environmental Protection Agency (USEPA). (**1993**). *Part 503 Rule. Federal Register*.

**[15]** NCBI PMC. (**2023**). *Publications scientifiques sur les boues d'épuration*.

**[16]** Actu-Environnement. (**2026**). *Informations relatives à l'Arrêté français du 8 janvier (**1998**)*.

**[17]** Actu-Environnement. (**2026**). *Informations relatives à l'Arrêté français du 8 janvier (**1998**)*.

**[18]** Encyclopédie de l'Environnement. (**2025**). *Articles environnementaux sur les boues et les sols*.
BAIZE, D. (**2025**). *Études sur les contaminants des sols.*

**[19]** METCALF & EDDY. (**2003**). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.
ADEME. (**2001**). *Gestion et valorisation des boues d'épuration.*

**[20]** ADEME. (**2001**). *Gestion et valorisation des boues d'épuration*.
Office National de l'Assainissement (ONA). (**2011**). *Rapports sur l'assainissement et les boues résiduaires*.

**[21]** ResearchGate. (**2026**). *Recherche sur le compostage aérobie*.

**[22]** United States Environmental Protection Agency (USEPA). (**1995**). *Biosolids and sewage sludge management*.
NCBI. (**2023**). *Études scientifiques sur les boues.*

**[23]** AMORCE. (**2023**). *Quelles solutions pour valoriser les boues d'épuration ?*
Publication AMORCE

**[24]** United States Environmental Protection Agency (USEPA). (**1995**). *A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule*.

# Conclusion générale

Ce mémoire s'est inscrit dans une problématique à la fois environnementale, sanitaire et agronomique, portant sur l'évaluation du potentiel de valorisation agricole des boues d'épuration et sur l'identification des risques susceptibles de conditionner cette valorisation. Le premier chapitre a permis de poser les fondements conceptuels et théoriques indispensables à la compréhension du sujet. Il a mis en évidence la diversité des origines des eaux usées, domestiques, industrielles, agricoles et pluviales, et la multiplicité des types de boues générées selon le stade de traitement : boues primaires, secondaires, stabilisées et issues de la digestion. L'étude des procédés de traitement et de stabilisation - épaississement, déshydratation, digestion aérobie et anaérobie, stabilisation chimique et thermique — a permis de comprendre les conditions dans lesquelles les boues peuvent atteindre un niveau de qualité compatible avec une valorisation. Ce cadre théorique a également mis en lumière les risques sanitaires inhérents aux boues, liés à la présence d'agents pathogènes, de métaux lourds et de micropolluants organiques persistants, ainsi que les trois grandes filières d'élimination disponibles : l'épandage agricole, la mise en décharge et l'incinération.

La présentation des conditions de stockage, des équipements de laboratoire disponibles sur site et des protocoles analytiques adoptés -méthodes gravimétriques pour la détermination des MES, MVS et MS, spectrométrie d'absorption atomique (SAA) pour les éléments traces métalliques, et analyses microbiologiques pour la charge pathogène, a confirmé la rigueur de la démarche expérimentale mise en œuvre. L'identification des principaux risques présents au sein de la station, notamment les risques mécaniques, électriques, chimiques, de noyade et d'incendie, a par ailleurs démontré l'importance d'un encadrement préventif rigoureux pour la protection du personnel d'exploitation.

La teneur en matières volatiles en suspension (MVS) des boues séchées, atteignant 60,20 % de la matière sèche, atteste d'une richesse organique significative, particulièrement précieuse pour les sols algériens soumis à des conditions arides et semi-arides.

La quantification des parasites révèle la présence de 14 œufs d'helminthes pour 5 g de matière sèche, alors que les standards de l'OMS et les normes algériennes en vigueur notamment la norme NA 1100 et l'arrêté interministériel du 28 décembre 2009 , exigent impérativement une valeur inférieure à 1 œuf pour 5 g de MS.

La confrontation de l'ensemble de ces données au cadre réglementaire et normatif algérien, complétée par l'analyse des normes ISO applicables aux méthodes d'analyse utilisées, a confirmé que les boues étudiées satisfont aux exigences chimiques requises, mais demeurent non conformes aux seuils microbiologiques réglementaires.

La STEP de Bouzedjar recèle un potentiel agronomique réel, qui, sous réserve d'un traitement d'hygiénisation adéquat et d'un encadrement rigoureux, pourrait contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols algériens et à une gestion plus durable des sous-produits de l'assainissement. Il ouvre ainsi plusieurs perspectives de recherche : l'évaluation comparative des filières d'hygiénisation adaptées au contexte algérien, l'étude du devenir des contaminants résiduels dans les sols après épandages répétés, et l'élaboration d'un cadre réglementaire national plus opérationnel, intégrant des seuils adaptés aux spécificités pédoclimatiques du territoire. La gestion durable des boues d'épuration constitue, à ce titre, un enjeu environnemental et agricole stratégique pour l'Algérie, appelé à prendre une importance croissante avec le développement continu du parc national de stations d'épuration.

# Annexes



POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE

L'Office National de l'Assainissement (ONA), créé par Décret exécutif N°01-102 du 21 Avril 2001, est un Etablissement Public national, à caractère Industriel et Commercial (EPIC), exerçant son activité sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement.

A travers ses Zones et ses Directions, l'Office National de l'Assainissement est chargé de la protection de l'environnement hydrique et de la mise en œuvre de la politique d'assainissement en concertation avec les collectivités locales.

Dans ce cadre, l'ONA adhère aux grands principes de la gestion environnementale des aspects et impacts générés par ses activités.

Ainsi, et dans le cadre de l'amélioration continue et de l'extension de son système de management la Direction Générale de l'ONA renouvelle la certification de son périmètre d'application du SME aux sites suivants :

1. Laboratoire Central ;
2. Système d'assainissement « Est » de la ville de Tizi-Ouzou (Unité de Tizi Ouzou / Zone de Tizi Ouzou) ;
3. Système d'assainissement de la ville de Tlemcen (Unité de Tlemcen / Zone d'Oran) ;
4. Station de lagunage naturel de Oued Taria (Unité de Mascara / Zone d'Oran) ;
5. Système d'assainissement de Bougâa-Hammam Guergour (Unité de Sétif / Zone de Sétif) ;
6. Système d'assainissement de la ville de Boumerdès (Unité de Boumerdès / Zone d'Alger) ;
7. Système d'assainissement de la ville de Sidi Bel Abbes (Unité de Sidi Bel Abbès / Zone d'Oran) ;
8. Système d'assainissement de la ville de Zemmouri (Unité Boumerdès / Zone d'Alger) ;
9. Système d'assainissement de Sidi Merouane (Unité de Mila / Zone de Constantine) ;
10. Système d'assainissement de la ville de Kouinine (Direction d'assainissement d'El Oued) ;
11. Système d'assainissement de la ville de Médéa (Unité de Médéa / Zone d'Alger) ;
12. Système d'assainissement de la ville de Bouira (Unité de Bouira / Zone de Tizi-Ouzou) ;
13. Système d'assainissement d'El Eulma (Unité de Sétif / Zone de Sétif) ;
14. Système d'assainissement de Timgad (Unité de Batna / Zone de Batna) ;
15. Système d'assainissement de la ville de Jijel (Unité de Jijel / Zone de Constantine).

Aussi, et conformément à la norme ISO 14001, visant à atteindre les objectifs environnementaux fixés, l'ONA s'engage à :

- Se conformer à la réglementation nationale en vigueur, et répondre aux autres exigences auxquelles l'ONA a souscrit.
- Prévenir et réduire toutes les formes de pollution générées par son activité.
- Assurer une gestion intégrée des déchets par :
  - La valorisation des sous-produits de l'épuration (boue et eau épurée) ;
  - La mise en place d'un système de tri sélectif des déchets à fin de les valoriser ;
  - L'instauration d'une politique de compétitivité, relative à la valorisation des déchets, entre les différents systèmes d'assainissement certifiés.
- Assurer le suivi du dispositif d'optimisation de la consommation de l'énergie électrique.
- Assurer de manière continue la sensibilisation des employés, des sous-traitants et des partenaires sur les bonnes pratiques environnementales.
- Suivre et évaluer périodiquement la performance du SME en l'inscrivant dans une optique de développement durable.
- Mettre en place un dispositif de communication de l'engagement environnemental de l'Office aux parties externes.
- Désigner systématiquement un correspondant local pour l'environnement et créer un comité de pilotage au niveau des sites du périmètre.

**En ma qualité de Directeur Général de l'ONA, je fais de l'Environnement, l'une des actions prioritaires de l'entreprise, et m'engage à :**

- Allouer les ressources indispensables à la mise en œuvre des programmes environnementaux ;
- Intégrer les formes de consommation propre dans les cahiers des charges des contrats de conception des nouvelles stations d'épuration ;
- Entretenir le dispositif de communication entre les différents niveaux et fonctions de l'Office ;
- Assurer la formation continue du personnel sur la gestion des aspects environnementaux de l'activité de l'ONA ;
- Améliorer les mécanismes de préservation de la santé et de la sécurité des travailleurs.

*Je demande à l'ensemble du personnel de contribuer activement pour la réussite de l'engagement, auquel j'ai souscris.*

Version 14

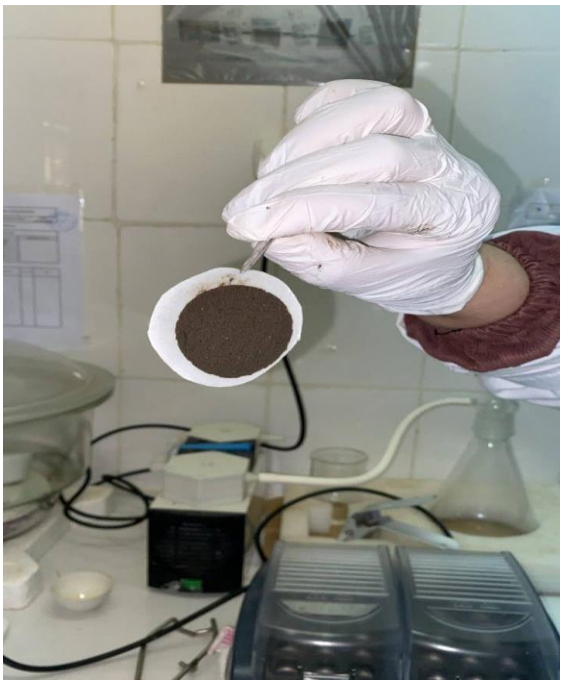
ANNEX .1. Politique environnementale de l'ONA Version 14.



ANNEX .2. Les différents types des boues biologique.




ANNEX .3. Teste de décantation.






ANNEX .4. Détermination des matières sèches dans les boues (MS).