

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



FACULTE DE TECHNOLOGE

DEPARTEMENT
GENIE DES PROCEDES

MEMOIRE DE FIN
D' ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
MASTER

Option : Génie chimique

THEME

*Caractérisation des Boues déshydratées de la station
d'épuration de Boumerdes pour une valorisation agricole*

Réalisé par :

**Achouri Manel
Belkadi Anfel**

Promoteur:

Mr. HACHEMI

Soutenu devant le jury composé de:

Mr H.Aksas

président

Mr B.Benotame

Examineur

Mr M.Hachemi

Promoteur

Promotion 2021-2022



Remerciement :

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la sagesse, la santé et la patience pour mener à bien cette recherche.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements au directeur de mes travaux, le Professeur Messaoud Hachemi, pour son aide et ses précieux conseils, grâce auxquels nous avons pu élaborer ce travail.

Je remercie également Mme Ait Mouloud pour son encadrement et ses conseils

Je tiens à remercier les membres du jury qui ont vérifié et évalué le mémoire

J'exprime également ma gratitude à tous mes professeurs de la Faculté de technologie, département génie des procédés

Enfin, un merci spécial à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail



Dédicaces

Je voudrais dédier ce travail :

À mon père et ma mère, les deux personnes

Les plus précieuses de ma vie qui sont là, pour me

Soutenir et m'aider.

Je suis reconnaissant pour tout ce que vous m'avez donné et d'ici je

Vous dis merci pour tout.

A mes frères Dihia, Lina Maissa, Mérième, Mouhamed, Issam, Idris.

A mes tantes qui me considéraient plus qu'une fille pour elles.

À ma partenaire de recherche, Anfel, que je remercie et lui souhaite

Beaucoup de succès et d'excellence dans sa vie.

A mes amis Rokia et Abd al-Rahim, que je remercie pour leurs

Encouragements et leur aide, merci beaucoup.

A tous les amis proches et lointains.

Pour tous la promotion de génie chimique 2021-2022



Manel

A cœur vaillant rien d'impossible A conscience tranquille tout est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre Tout vient à point à qui sait attendre

Quand il y a le souci de réaliser un dessein Tout devient facile pour arriver à nos fins

Malgré les obstacles qui s'opposent En dépit des difficultés qui s'interposent

Les études sont avant tout Notre unique et seul atout

Ils représentent la lumière de notre existence L'étoile brillante de notre réjouissance

Comme un vol de gerfauts hors du charnier natal nous partons ivres d'un rêve héroïque et brutal

Espérant des lendemains épiques Un avenir glorieux et magique

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit, nous mène vers le bonheur fleuri

Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys, je prie dieu que cette soutenance fera signe de

Persévérance Et que je seriez enchantés Par mon travail honoré.

Je dédie cette mémoire... à



A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : LEGHRIB NADIA

Autant de phrases aussi expressives soient - elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il le fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçois ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

A MON TRÈS CHER PÈRE : BELKADI MOHAMED

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit - elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude d'esprit et te protège de tout mal.

A tous les membres de ma famille, grands et petits.

A tous mes professeurs a K. HAOUCHIN et H.DIB, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,

Pour tous les laborantins universitaires en particulier BOUIZERI FARIDA et DEBOUB DAHBIA

Merci d'être toujours là pour moi.

A tous mes professeurs Je ne saurai terminer sans citer mes amis Tous ceux qui me sont chers.

A tous ceux qui m'ont encouragé pendant la durée de la réalisation de ce travail.

Anfel

Résumé :

La problématique de notre étude est la recherche des possibilités de réutilisation des boues à partir d'une station d'épuration spécialement dans le domaine agricoles. Notre investigation s'est limitée à la station de traitement des eaux de la wilaya de BOUMERDES.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué sur place un certain nombre d'analyses sur la boue déshydratée générée par le traitement afin d'étudier sa qualité physicochimiques et on la comparant avec les normes relatives à la réutilisation dans le domaine agricole sous forme d'engrais, pour cela nous sommes intéressés à l'aptitude des sols de la daïra de boumerdes à la réutilisation des boues déshydraté et leur impact.

Abstract:

The aim of this work is to set the possibilities of using the dehydrated mud generated by the treatment from a water - treatment plant used specably in the field of agricultural land. Our investigation dealing with the treatment station of the wilaya of boumerdes only.

Within our research, we have made number of analyses on the mud dehydrated in generated by the treatment in the aim of study of the quality physicochimiques and compared with specification of using in the agricultural field in the form of fertilizers for agricultural lands, and we have study the aptitude of soil of daïra of boumerdes for using the dehydrated mud and her impact.

ملخص:

إن إشكالية دراستنا هي البحث عن إمكانية إعادة استخدام الحمأة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في المجال الزراعي، دراستنا كانت مقتصرة على محطة معالجة مياه الصرف الصحي لولاية بومرداس.

في إطار هذا العمل قمنا بإجراء عدد من الاختبارات على الحمأة بهدف دراسة نوعيتها الفيزيوكيميائية، ومدى مطابقتها للمعايير المعتمدة لإعادة الاستخدام في المجال الزراعي على شكل سمدة للأراضي الفلاحية.

Liste des abréviations :

AFNOR: Association française de normalisation.

C° : Degré Celsius

Cd : Cadmium.

CE: Conductivité électrique.

Cr: Chrome.

Cu: Cuivre.

DBO₅: Demande Biologique en Oxygène.

DCO: Demande Chimique en Oxygène.

En Aval: A La Sortie de la station d'épuration.

Eq/hab: Equivalent habitant.

ETM: élément trace métallique.

Hg: Mercure.

IANOR: Institut Algérien de Normalisation.

IM: Indice de Mohlman.

ISO : International Organisation for standarization (Organisation international de normalisation).

K: Potassium.

MES: Matière en suspension.

Mg : Magnésium.

MS: Matière sèche.

mS/cm : Milli siémens par centimètre.

MVS: Matière volatile sèche.

M.O: Matière organique.

N: Azote

NH₄⁺: Ammonium.

ONA: Office National d'assainissement.

pH : Potentiel hydrique.

ppm : Partie par million $1\% = 10000\text{ppm}$.

SR: Station de relevages.

STEP: Station d'épuration.

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Caractéristiques des stations de relevage SR1 ET SR 3

Tableau I-2 : Effectif personnel de STEP de boumerdes

Tableau I-3 : Effectif personnel de centre d'assainissement et les SR du CFMA

Tableau I-4 : Objectif du traitement

Tableau I-5 : La pollution éliminée au niveau de STEP

Tableau I-6 : Caractéristiques de la station de pompage

Tableau II-1 : composition en éléments utiles des boues

Tableau II-2 : Concentrations moyennes en ETM des boues d'épuration

Tableau IV-1 : résultats d'analyses physico-chimique

Tableau IV-2 : résultats des métaux lourds dans les boues

Tableau IV-3 : résultats des métaux lourds dans le sol

Liste des figures

Figure I.1 : La STEP de BOUMERDES

Figure I 2 : Schéma directeur d'assainissement de boumerdes

Figure I-3 : Le fonctionnement d'une STEP

Figure I-4 : Le dégrilleur automatique

Figure I-5 : Le procédé de dégrillage

Figure I-6 : Dessableur- Déshuileur

Figure I-7 : Bassin d'aération.

Figure II-1 : les boues d'épuration

Figure III-1 : boues déshydratées des STEP boumerdes

Figure III-2 : mesure de PH

Figure III-3 : mesure de conductivité

Figure III-4 : séchages des boues

Figure III-5 : calcination des boues

Figure III-6 : boues après calcination

Figure III-7 : dilution de solution mère

Figure III-8 : solution dilué

Figure III-9 : la solution A et D

Figure III-10 : thermostat

Figure III-11 : solution B et C

Figure III-12 : détermination de nitrite

Figure III-13 : détermination d'azote ammoniacal

Figure III-14 : NITRON XL3t

Figure III-15 : Direction et angle de sortie du faisceau

Figure III-16 : Réalisation de l'analyse à l'aide de pistolet

Figure III-17 : échantillons de sol

Figure III-18 : méthode de mesure de sol

Figure IV-1 : variation de pH

Figure IV-2 : variation de concentration d'azote

Figure IV-3 : variation de concentration de phosphore

Figure IV-4 : variation de concentration de Nitrites (NO₂-)

Figure IV-5 : variation de pH

Sommaire

Introduction

Chapitre I : présentation de la station d'épuration

I: Historique :.....	3
II : Description et situation géographique :.....	3
III : Organisation et potentiel humain :.....	6
IV : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration :.....	7
V : Assainissement :.....	8
V-1 : Situation de l'assainissement en Algérie :.....	8
VI : Traitement des eaux usées au niveau de la STEP :.....	9
VI-1 : Principe du traitement de l'eau :	10

Chapitre II : Généralité sur les boues

I : Introduction :.....	15
II-Définition des boues :.....	15
III : Nature et origines des boues :.....	15
III-1 : Les eaux usées industrielle :.....	15
III-2 : Les eaux usées domestiques :.....	16
III-3 : Les eaux usées de ruissellement :.....	16
IV : Les types des boues :.....	16
IV-1 : Les boues primaires :.....	16
IV-2 : Les boues physico-chimiques :.....	16
IV-3 : Les boues secondaires (biologiques) :.....	16
IV-4 : Les boues mixtes :.....	17
IV-5 : Les boues d'aération prolongée :.....	17
V : Composition des boues résiduaire :.....	17
V-1 : La matière organique (MO) :.....	17
V-2 : Eléments fertilisants et amendements :	17
V-3 : Les contaminants chimiques inorganiques et organiques :.....	17
V-4 : Les micro-organismes pathogènes :.....	18
VI : Traitement des boues :.....	18

VI-1 : Epaissement :	18
VI-2 : La déshydratation	19
VI-3 : Le séchage :	20
VI-4 : Destination :	20
VI-4-3 : Valorisation des boues :	21
IX : Effet des boues résiduares sur les propriétés physiques et chimiques du sol :	23
IX-1 : Réserve en eau :	23
IX-2 : La perméabilité.....	23
IX-3 : La densité apparente.....	24
IX -4 : La porosité totale	24
XCaractérisation des boues pour usages agricoles :	24
X-1 : Caractérisation physico-chimiques des boues :	24
X-1-1 : L'indice de Mohlman :	25
X-1-2 : La siccité d'une boue :	25
X-1-3 : Taux de matières volatiles sèches (MVS) :	25
X-1-4 : Le pouvoir calorifique :	25
X-1-5 : La consistance des boues :	25
X-2 : Les caractéristiques chimiques des boues :	26
X-2-1 : Acidité des boues (pH) :	26
X-2-2 : La conductivité électrique :	26
X-2-3 : Demande chimique en oxygène (DCO) :	26
X-2-4 : Demande biochimique en oxygène (DBO5) :	26
X-2-5 : Teneur en matières minérales :	26
X-3 : Composition en éléments chimique des boues :	27
X-3-1 : L'azote :	27
X-3-2 : Le phosphore :	27
X-3-3 : Le potassium :	27
X-3-4 : Le soufre.....	27
X-3-5 : Le sodium, Le magnésium et le calcium :	27
IX-4 : Les métaux lourds :	30

IX-5 : Les micro-organismes pathogènes :	31
--	----

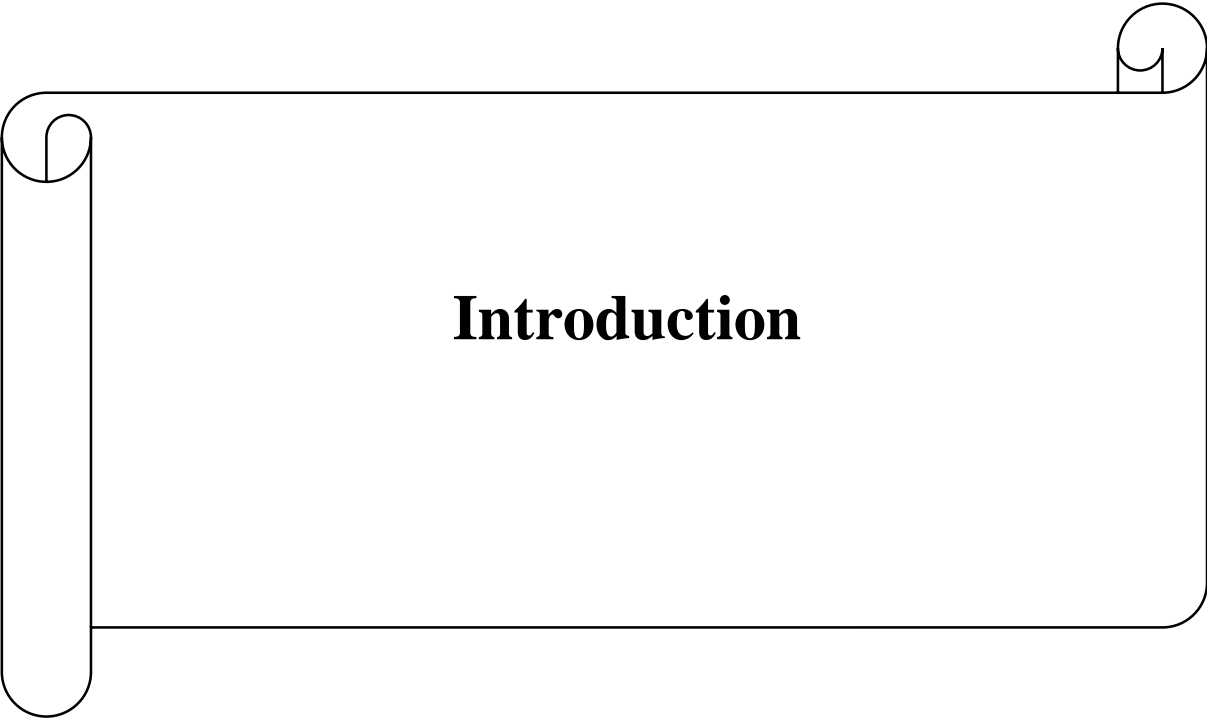
Chapitre III : matériel et méthode

I: Introduction :.....	32
II : Prélèvement des échantillons :	32
III : Analyse physico-chimique :.....	33
III-1 : Mesure de PH :	33
III -2 : Mesure de la conductivité :.....	34
III -3 : détermination de l'humidité :	34
III -4 : La siccité :.....	35
III -5 : Matière sèche MS :	35
III -6 : La matière volatile sèche MVS :	36
III -7 : La matière organique :.....	37
IV : Détermination de la teneur en azote totale, phosphore, nitrate, azote ammoniacal :	37
IV-1 : Dissolution des boues :.....	37
IV-2 : Diluer de la solution mère :	38
IV-3 : Détermination de la teneur en azote totale :.....	38
IV-4 : Teneur en phosphore :	39
IV-5 : Dosage des nitrites (NO ₂ -) :.....	40
IV-6 : Azote ammoniacal :.....	41
V : Détermination des métaux lourds par Fluorescence X :	42
IX Echantillonnage de sol:.....	45

Chapitre IV : Resultat et discussion

I: Interprétation des résultats des analyses physico-chimique des boues :	47
I-1 : les résultats obtenus :.....	47
I-1-1 : pH :.....	48
I-1-2 : La conductivité électrique :.....	48
I-1-3 : La siccité :.....	48
I-1-4 : La matière organique :	49
I-1-5 : Azote total :.....	49

I-1-6 : phosphore :.....	49
I-1-7 : Nitrites (NO ₂ -) :.....	50
I-1-8 : Azote ammoniacal :	50
II : Interprétation des résultats des analyses des métaux lourds dans les boues :	51
III : pH de sol:	52
IV : Interprétation des résultats des analyses des métaux lourds dans le sol : ...	52
Conclusion	
Références bibliographiques	
Annexes	



Introduction

Introduction générale

Introduction :

L'eau est source de vie, car elle est utilisée dans la boisson, l'agriculture et l'industrie ..., dans le passé, l'utilisation de l'eau était limitée à la consommation et à l'usage humain uniquement, mais avec l'augmentation de la population et le développement économique et industriel, les utilisations de l'eau ont augmenté, ce qui a entraîné une pénurie de ressources en eau et une augmentation importante du volume des 'eau usée.

Les eaux usées sont généralement rejetées directement, dans le milieu naturel, ce qui provoque une prolifération de maladies et épidémies, et d'autres part la recherche de sources d'eau est devenue une nécessité en raison de sa pénurie actuelle, et c'est ce qui a poussé les gens à l'épuration des eaux usées. (L'eau et sa réutilisation dans les divers domaines)

Lors du processus d'épuration, des matières secondaires appelées « boue » sont produites, ces dernières contiennent des agents pathogènes, ce qui le rend néfastes pour l'homme, les animaux, les plantes et l'environnement.

Il existe plusieurs moyens de se débarrasser de ces boues, mais il faut prendre en considération le coût de l'installation et l'impact qu'elles peuvent engendrer sur l'environnement. L'enfouissement est une méthode peu rentable et interdite au niveau international, tandis que la combustion est très coûteuse et peut-être dangereuse. En raison de l'émission de gaz toxiques. Par conséquent, le recyclage des boues est la solution la plus rationnelle et la plus maîtrisée, et le domaine le plus important pour son recyclage est le domaine agricole.

L'objectif de notre étude est d'envisager la possibilité d'évaluer les boues issues de stations d'épuration de la région de Boumerdes dans le domaine agricole, par l'étude de paramètres physico-chimiques.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre traite des informations générales sur la station d'épuration de la région de Boumerdes.

Introduction générale

Le deuxième chapitre traite des données générales sur les boues d'épuration et les caractéristiques les plus importantes pour leur réutilisation dans l'agriculture.

Le troisième chapitre présente la méthodologie de travail en terme de protocoles, de préparation des échantillons et de techniques expérimentales d'analyse.

Le quatrième et dernier chapitre reprend les résultats des analyses physico-chimiques de ces boues et leur discussion.

Enfin, ce manuscrit se termine par une conclusion générale résumant les résultats obtenus et les principaux points de vue ouverts par ce travail.



Chapitre I :
Présentation de la station d'épuration

I: Historique :

L'office national de l'assainissement (ONA) a été créé pour faire face aux problèmes de l'assainissement urbain en vertu du décret n 01-102 du 21/04/2001.

L'unité d'assainissement de boumerdes est située au nord de la wilaya de boumerdes et au sud-ouest de la ville et environ de 45 Km de centre d'Alger

L'unité d'assainissement de boumerdes a été mise en chantier par décision N°250/ONA/ara/kh2004 De 18/07/2004 depuis cette création le réseau d'assainissement est de type unitaire les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire des stations de relevage sont réalisées

L'ONA exploite sur le territoire de la wilaya :

- 03 stations d'épuration:
- La STEP de boumerdes 75000 eq/h.
- La STEP de Zemmouri 25000 eq/h.
- La STEP de thenia 30000eq/h.
- 12 station de relevages. [1]

II : Description et situation géographique :

La ville de Boumerdes est située à une cinquantaine de kilomètres à l'Est d'Alger ; elle est située au bord de la mer méditerranée. La wilaya de Boumerdes compte environ 786 602 habitants.

La mise en place du système de management environnemental concerne le système d'assainissement de l'unité de Boumerdes à savoir :

La STEP de Boumerdes qui est située à la limite Sud de la commune de Boumerdes dans un bas fond sur la rive gauche de l'oued TATAREG sur le chemin reliant Boumerdes à Corso. Elle s'étend sur une superficie de 34966.15 m², sa capacité est de 75000 Eq/hab. conçue pour protéger le milieu récepteur, en l'occurrence la mer méditerranée.[2]



Figure I-1: La STEP de BOUMERDES

- Le Centre et réseau d'assainissement reliant

La SR 3 à la STEP (Refolement) ;

- Les stations de relevage SR1 et SR3 Boumerdes (l'activité principale de la SR1 est le pompage des eaux usées vers la SR3 Boumerdes) ;[2]



Figure I-2 : Schéma directeur d'assainissement de boumerdes

Tableau I-1 : Caractéristiques des stations de relevage SR1 ET SR 3

SR	SR 1	SR 3
Caractéristiques		
Superficie (m2)	2509.62	3140.96
Nombre de pompes	4	4
Capacité unitaire	-	543.6 m3/h
Puissance unitaire	7.5 Kw	-
Dégrilleur	-	+
Puissance groupe électrogène	50 Kva	350 Kva
Puissance de transformateur	63 Kva	400Kva
HMT (m)	16.5	41

- Et le Centre de Formation aux Métiers de l'Assainissement (CFMA) qui a été créée en 2005 et implanté dans le site du siège de l'unité de Boumerdes, ce centre constitue le premier centre professionnel dédié aux métiers de l'assainissement dans le secteur des ressources en eau.

Les stages de formation dispensés par le centre portent sur 35 thèmes axés particulièrement sur le perfectionnement technique du personnel dans les métiers de l'assainissement des eaux usées urbaines. La capacité de formation du CFMA est de 200 à 300 personnes par an.[2]

Objectif :

L'objectif principal du CFMA est de combler l'écart entre les compétences disponibles sur le marché de l'emploi et les exigences spécifiques de l'activité de l'ONA. [2]

III :Organisation et potentiel humain :

Tableau I-2 : Effectif personnel du STEP de BOUMERDES

STEP de BOUMERDES		Centre d'assainissement & SRs	
Structure	Effectif	Structure	Effectif
Direction	01	Chef de centre	01
Secrétariat	01	Sécurité et prevention	05
DRH	07	Technicien en informatique	01
DFC	05	Agents de réseau	10
DEM	27	Technicien supérieures maintenance	01
Serv Adm/ Moyens	09	Opérateurs	08
Sécurité patrimoine	01	Opérateurs SR1	05
Cellule SME	01	Opérateurs SR3	06
HST	01	surveillants pompistes SR1	05
Laboratoire	06		
Inspecteur du materiel	01		
Chef de STEP	01		
Opérateurs de la STEP	18		
Agents d'entretien	02		
Total	81	Total	42

Tableau I-3 : Effectif personnel du centre d'assainissement et les SR.DuCFMA.[2]

CFMA	
Structure	Effectif
Cadres supérieurs	02
cadres	04
matrices	03
execution	01
Directrice du CFMA	01
Total	11

IV : Principe de fonctionnement d'une station d'épuration :

Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origine industrielle ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement.

Une station d'épuration est une installation de plusieurs dispositifs et de procédés bien spécifiques ; chaque procédé a pour rôle d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée. Equipée d'un laboratoire d'analyse qui a pour but de calculer le rendement de la STEP et d'étudier l'anomalie (sinécessaire) ; d'une façon générale il surveille le fonctionnement de la station.

Une STEP est généralement placée à l'extrémité d'un réseau de collecte a l'amont d'un milieu naturel bleu, tel un lac.

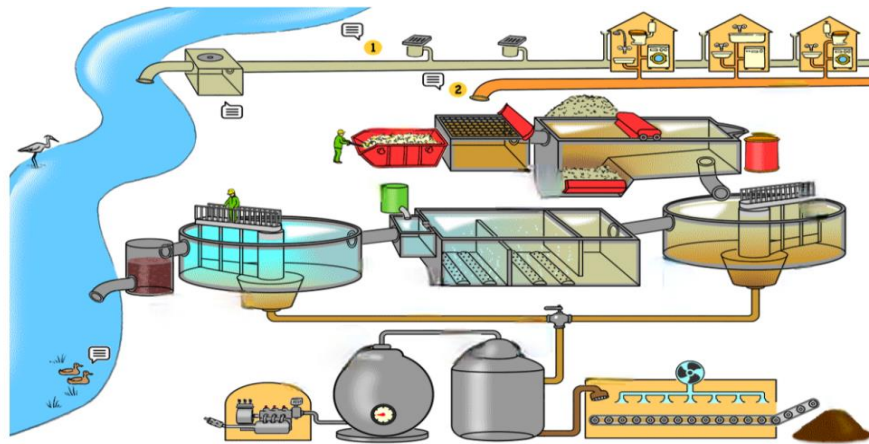


Figure I-3 : Le fonctionnement d'une STEP

V : Assainissement:

L'assainissement a toujours fait partie des missions relevant du domaine de l'hydraulique et sa gestion est restée indissociable de celle de l'alimentation en eau potable. De ce fait, l'assainissement a été pendant très longtemps considéré comme un problème secondaire et ceci s'est concrétisé par une mauvaise gestion du réseau et des équipements, surtout celle des stations d'épuration.

L'assainissement reste entièrement hygiéniste, par réseau, puisqu'il est très rarement considéré sous sa dimension environnementale.[3]

V-1 : Situation de l'assainissement en Algérie :

Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 1062 millions de m³ et dépassera 1,5 milliards de m³ à l'horizon 2020 Seul 365 millions de m³ est épurées.

Donc il faut prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration. [4]

VI : Traitement des eaux usées au niveau de la STEP :**VI-1 : Principe du traitement de l'eau:**

Le traitement au fil de l'eau comporte les étapes suivantes :

1. Arrivée des eaux, By-Pass et bassin d'orage.
2. Prétraitement (dégrillage, dessablage, déshuilage)
3. Traitement secondaire (Aération biologique, clarification)[5]

Tableau I-4 : Objectif du traitement (Unité : mg/l)

DBO5	30
MES	30
DCO	90
NTK	40

Tableau I-5 : La pollution éliminée au niveau de STEP [5]

Volume journalier(m³/j)	15000
Débit Moyne 24h (m³/h)	625
Débit de pointe temps sec(m³/h)	1063
Débit de pointe temps de pluie(m³/h)	1944
DBO5 journalière (kg/j)	4050
MES journalières(kg/j)	5250

VI-1-1 : Arrivée des eaux, comptage et bassin d'orage :

Les effluents sont envoyés par pompage, par 3 pompes directement dans le canal d'alimentation du prétraitement d'une part et par gravité dans la bêche de relèvement, ceci par deux conduites de diamètre 600mm.

Ce poste de relèvement permet :

- L'alimentation du prétraitement en aval.
- Le by-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station

Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au nombre le débit accepté par l'installation suivant le bassin d'aération en service. Deux pompes submersibles permettent de relever ces eaux vers le prétraitement, sur la base de la vidange du bassin plein, laissant ainsi rapidement le volume disponible pour réguler le débit entrant, sans toutefois sur charger le traitement ultérieur.[5]

VI-1-2 : Caractéristiques de la station de pompage :

- Un panier de dégrillage.
- 3 groupes électro-pompages spécialement conçues pour eau chargée :

Tableau I-6 : Caractéristiques de la station de pompage[5]

Débit m ³ /h	150m ³ /h
HMT m	6m
Puissance réelle kww	4.7kw
Interrupteurs à flotteurs	4
Type de pompe	Centrifuge radial

VI-1-3 : Les prétraitements :

Cette étape consiste à éliminer les gros débris solides, les sables, les graisses et les huiles.

❖ Dégrillage :

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille (il en existe plusieurs types) dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.

L'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre barreaux de la grille:

- Un pré-dégrillage : 3 espacements de 30 à 100mm,
- Un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25mm,
- Un dégrillage fin : espacement de 3 à 10mm,

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants et la nature de l'effluent à traiter. On distingue:

- La grille manuelle ;
- La grille mécanique[6].

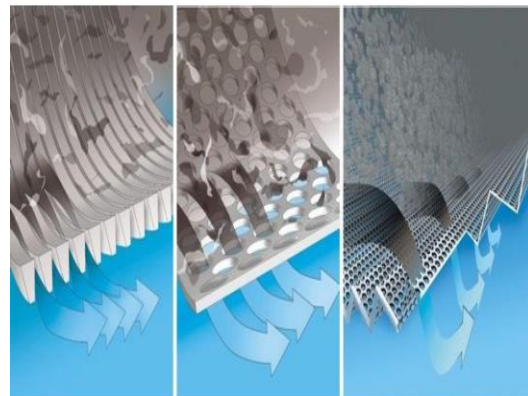


Figure I-4 : Le dégrilleur automatique

Figure I-5 : Le procédé de dégrillage

❖ Dessablage - Déshuilage :

Réalisé dans un décanteur commun aux deux traitements :

➤ **Le dessablage** : permet d'éliminer les MES de taille importante ou de densité élevée (utilisation d'un décanteur classique), c'est une étape indispensable notamment pour éviter le bouchage des canalisations et protéger les équipements contre l'abrasion [7].

Ce dessablage est pratiqué par décantation, les sables extrais sont envoyés en décharge.

➤ **Le déshuilage** : est basé sur le principe de flottation afin de favoriser la remontée des corps gras moins denses que l'eau, cette opération destinée à éliminer les graisses et les huiles présentes dans les eaux résiduaires, c'est une étape indispensable pour assurer la protection du réacteur biologique, les résidus huileux sont récupérés par écrémage[7].

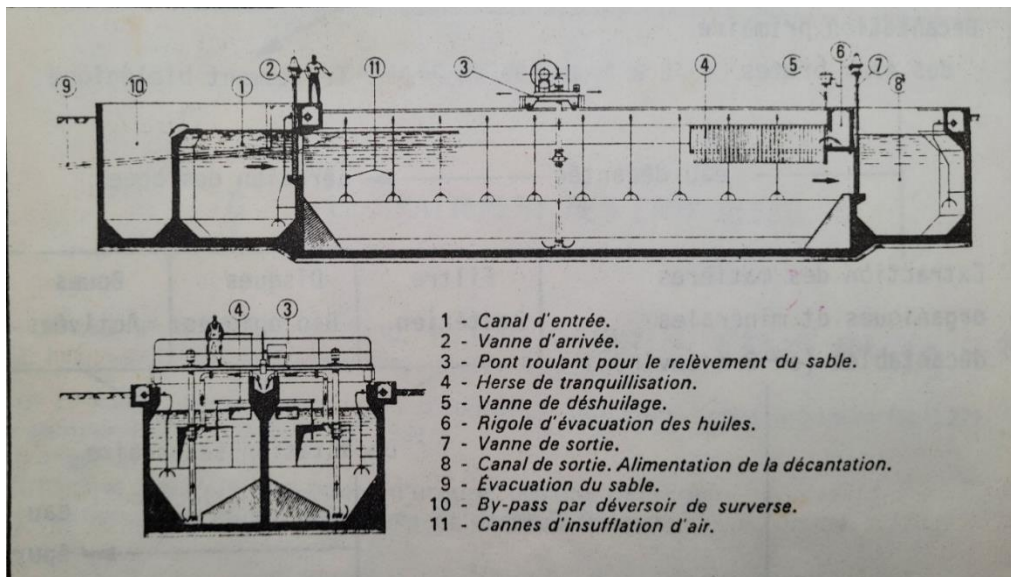


Figure I-6 : Dessableur- Déshuileur.

VI-1-4 : Traitement secondaire

❖ Bassin d'aération

Trois bassins d'aération de volume unitaire 3600 m^3 et d'une profondeur de 4.5 m munis de turbine type « ACTI-ROTOR » permettant l'aération prolongée de la culture bactérienne à l'origine du traitement.

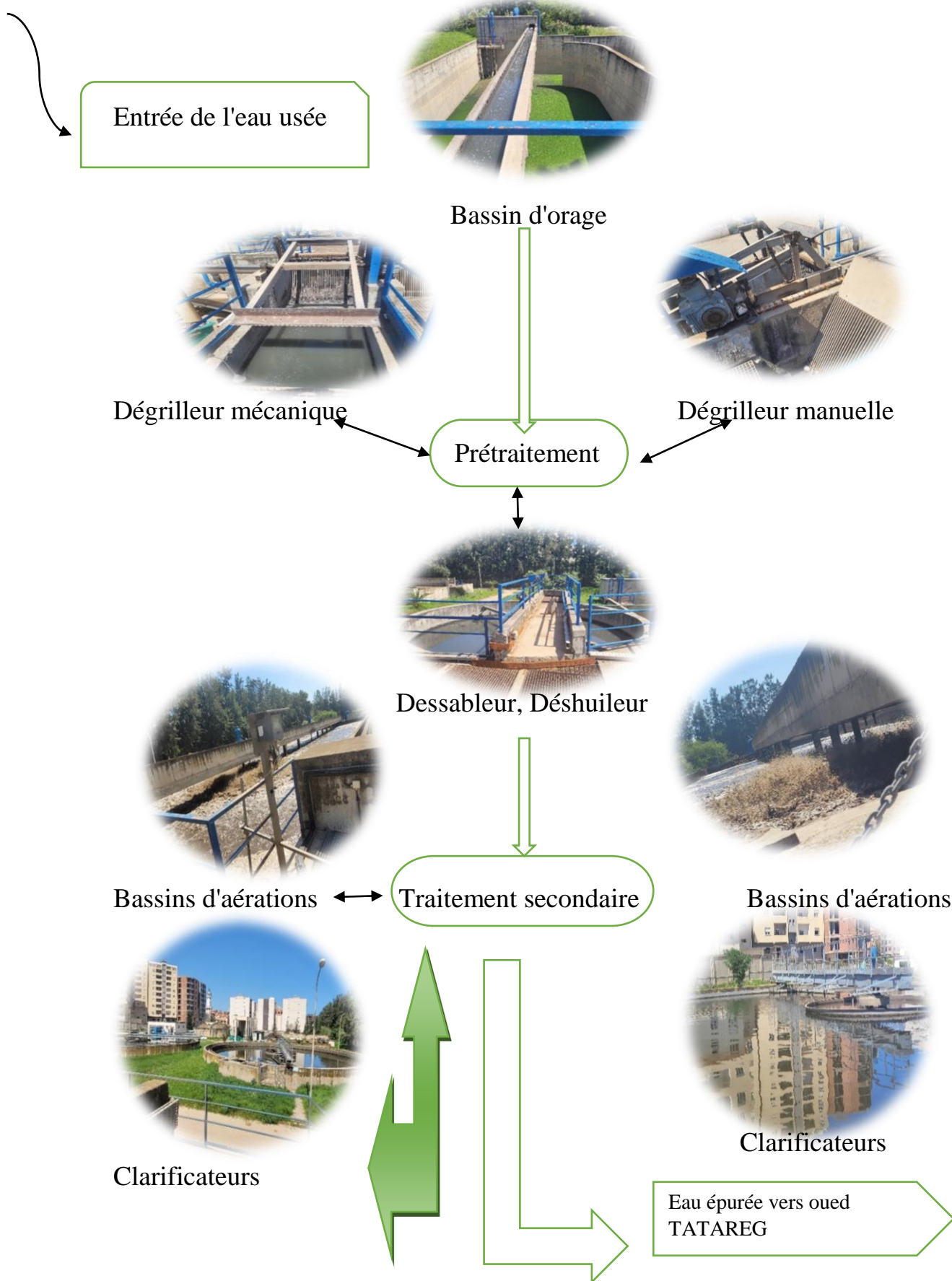


Figure I-7 : Bassin d'aération.

❖ Clarification finale et ouvrage de recirculation

Les eaux sortantes des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs de diamètre 24 m la base de dimensionnement étant de 0,8 m/h par pointe de temps sec, la surface requise est de 1330 m² les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide d'un racleur vers un puit central de collecte, elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bêche de recirculation attenante aux bassins d'aération, une partie des boues est recirculée en tête d'aération sous le nom de liqueur mixte et une partie est extraite pour être envoyée vers l'épaississeur .[5]

La figure suite décrite les différentes étapes de traitement de la STEP :





Chapitre II
Généralités sur les boues

I : Introduction :

Quel que soit le procédé d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles adopté, leur traitement s'accompagne d'une production de quantité de boue non négligeable dont il faut s'en débarrasser. Plusieurs filières existent pour leur élimination, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine des boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement[1].

II-Définition des boues :

Les boues, appelées aussi bio solides, sont définies comme étant un mélange d'eau et de matière solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels de divers types d'eau qui les contiennent. Elles résultent du traitement des eaux usées dans des stations d'épuration urbaines[2], Ces boues représentent avant tout une matière première composée d'eau, de différents éléments comme la matière organique, d'éléments fertilisants (N, P, K...), d'éléments traces métalliques (ETM), d'éléments traces organiques (ETO) et d'agents pathogènes[3].



Figure II-1 : les boues d'épuration

III : Nature et origines des boues :

Les boues des stations d'épuration ce sont des résidus résultant d'épuration des eaux usées en aval et ses origines sont :

III-1 : Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont générées en conséquence de l'activité industrielle.

Ce sont des eaux contenant des matières organiques telles que les effluents d'abattoir ou de fermentation, et inorganiques comme les composés toxiques, les métaux lourds, etc.[4]

III-2 : Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau potable dans la majeure partie des cas pour satisfaire tous les usages ménagers. Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent des eaux de cuisine, qui contiennent des matières minérales en suspension et des produits détergents ; des eaux de buanderie, contenant principalement des détergents ; des eaux de salle de bains, chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ; des eaux de vannes, qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes[5].

III-3 : Les eaux usées de ruissellement :

Les eaux pluviales peuvent constituer une source de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie entraîne des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes[6]

IV : Les types des boues :

IV-1 : Les boues primaires :

Elles sont obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble. Ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décantables. Elles sont produites par les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux et des industries agroalimentaires générant des déchets fibreux[7].

IV-2 : Les boues physico-chimiques :

Elles sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition. On retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes et des métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable[8].

IV-3 : Les boues secondaires (biologiques) :

Ce sont les boues issues du traitement biologique des eaux usées. Elles sont issues des purges en sortie des bassins d'aération et sont également appelées boues en excès. Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées[9].

IV-4 : Les boues mixtes :

C'est le mélange des boues biologiques et les boues primaires. Ce mélange est généralement réalisé avant la stabilisation de la boue[10].

IV-5 : Les boues d'aération prolongée :

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures.[11].

V : Composition des boues résiduelles :

V-1 : La matière organique (MO) :

Les boues sont constituées de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques[12].

V-2 : Eléments fertilisants et amendements :

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des Cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi Corriger des carences à l'exception de celle en potassium. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux[13].

V-3 : Les contaminants chimiques inorganiques et organiques :

Ces mêmes éléments traces métalliques indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses[14]. D'autres, tel que le cadmium et le plomb sont des toxiques potentiels[15]. Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques peuvent se trouver en concentration en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg MS}$ [16].

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations

chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques. Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées[17].

V-4 : Les micro-organismes pathogènes :

Les boues contiennent des milliards des microorganismes vivants qui jouent en tout un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux[18].

La concentration d'une eau usées en germes pathogènes dépend de secteur d'activité d'origine : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitent de produits d'animaux sont très largement contaminées[19]. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost. D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture[20].

VI : Traitement des boues :

Les boues constituent un sous-produit des stations de traitement des eaux, elles peuvent contenir plus de 95% d'eau en plus des matières en suspension et autres résidus. Il faut réduire ces volumes d'eau pour faciliter d'une part leur évacuation qui s'effectue essentiellement par camion, et d'autre part, permettre leur valorisation dans des bonnes conditions[21].

VI-1 : Epaissement :

L'épaississement est le tout premier traitement appliqué aux boues d'épuration. Ce processus a lieu généralement avant le mélange des boues primaires et secondaires, voire tertiaires, lesquelles sont produites successivement à chaque étape du traitement d'épuration des eaux usées.

Et pour faciliter la séparation des matières sèches et des matières solides, des agents flocculant peuvent être ajoutés en amont. Ces agents peuvent être organiques de synthèse ou minéraux (sels d'aluminium, chaux, sels de fer). Ainsi préparées, les boues s'épaississent, soit :

- Par gravitation, en s'écoulant dans un silo, situé au-dessus d'un filet ou d'une toile d'égouttage
- Par flottaison, en injectant du gaz dans les boues qui sépare les matières sèches des matières liquides.

Ce premier traitement permet d'augmenter le taux de siccité des boues (entre 6 et 8 %) afin d'obtenir des boues de qualité pour optimiser les traitements suivants[22].

VI-2 : La déshydratation

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée. Elle s'opère sur un mélange de boues primaire, secondaire voire tertiaire[23].

VI-2-1 : La déshydratation mécanique :

Elle s'opère par centrifugation ou par filtration. La centrifugation consiste à séparer l'eau des boues épaissies par la force centrifuge développée dans un cylindre tournant à grande vitesse. En sortie, les boues sont pâteuses avec une siccité de 18 à 20 % pour la première génération d'équipements, et de 20 à 25 % de siccité pour la seconde. Pendant longtemps, cette technique a surtout concerné les stations de plus de 10.000 EH ; aujourd'hui des solutions existent pour les plus petites.

La filtration par filtres à bandes consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles. Les premiers modèles (à basse et moyenne pression) ne permettaient d'atteindre que 15 à 17% de siccité. Les modèles plus récents (à haute pression) permettent d'atteindre jusqu'à 18 à 20%. En sortie, les boues se présentent sous forme de petites plaques. La filtration par filtre-presse à plateaux (appelés couramment filtre-presse) consiste en une compression des boues entre deux plateaux équipés de toiles filtrantes. En sortie, les boues se présentent sous forme de « gâteaux » solides avec une siccité de l'ordre de 30 à 35 %. Si la centrifugation permet une déshydratation continue en circuit fermé (automatisé), avec le filtre-presse elle est discontinue. Avec les filtres à bande, elle se déroule en circuits ouverts (avec production d'aérosols, composés d'air et d'eau), ce qui oblige souvent à capoter les équipements pour éviter la dispersion de mauvaises odeurs.

La déshydratation mécanique concerne surtout les grosses stations (plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'EH). Depuis récemment, elle se développe dans les moyennes

installations (de 3.000 à 10.000 EH). Dans les très grosses, il s'agit le plus souvent de filtre-presses (car plus coûteux en investissement et en exploitation), et dans les petites (1000 à 2000 EH) de filtres à bandes. Les filtres à bandes seraient encore les matériels les plus utilisés pour la déshydratation, les centrifugeuses les plus vendues sur le marché actuel[23].

VI-2-2 : La déshydratation par géo membranes :

Cette technique de déshydratation est apparue récemment, avec le développement des membranes. Les boues sont mises dans des géo tubes aux pores minuscules, qui laissent passer l'eau petit à petit et concentrent les matières. Une fois pleins, ces géo tubes contiennent des boues déshydratées jusqu'à 15 à 25% de siccité. Ils sont alors soit ouverts et les boues expédiées vers une autre destination, soit transportés tels quels pour un enfouissement en CET de classe II. Cette solution serait adaptée aux installations de 1.000 à 2.000 EH[23].

VI-3 : Le séchage :

Pour terminer leur traitement, les boues sont séchées au travers de l'atelier EVAPORIS TM LE. Innovant, le séchage opère sur deux étages. Un premier étage étale les boues en couches minces et les met au contact d'une chaleur produite par une huile à 165°C. La boue est ensuite transformée en « spaghettis » qui sont une dernière fois séchés à l'air chaud. En sortie de traitement les boues sont sous forme de granulés secs. Les granulés pourront être valorisés en filières agricoles ou en incinération[21].

VI-4 : Destination :

Les éliminations finales des boues de station d'épuration sont : la mise en décharge, l'incinération et la valorisation.

VI-4-1 : Incinération :

L'incinération aboutie à la destruction par combustion à haute température (+ 500°C) de la matière organique, sous forme de fumées. L'eau s'évacue dans l'atmosphère à l'état de vapeur d'eau, seules les matières minérales (cendre) qui restent, l'incinération est surtout envisageable pour :

- Des grosses quantités de boues.
- Des boues auto-combustibles qui libèrent en brûlant la chaleur nécessaire ou maintiens du four en température, les boues sont riches en matières organiques et peu humides. La chaleur

produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel, cette technique est néfaste de point de vue écologique puisqu'elle contribue en plus de gaspillage des matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO₂, CO, etc.)[24].

VI-4-2 : Mise en décharge contrôlée :

Elle consiste à enfouir les boues souvent mélangées avec les ordures ménagères en prenant en considération les précautions suivantes : site étanche, compostage des résidus, récupération et traitement des jus de décharges...

Afin d'éviter toute nuisance au niveau du stockage, les boues doivent être débarrassées des matières organiques fermentescibles. De plus, pour réduire la production des lixiviats et éviter une saturation rapide de la décharge, seules les boues peu humides sont acceptées. La mise en décharge étant facturée à la tonne, il est de toute façon préférable de réduire l'humidité pour réduire les coûts d'élimination. La mise en décharge contrôlée de la boue nécessite des opérations préliminaires de stabilisation et de déshydratation poussée. Cette solution va progressivement perdre de son intérêt pour des raisons financières[24].

VI-4-3 : Valorisation des boues :

VI-4-3-1 : Valorisation organique :

a- L'épandage :

L'épandage des boues d'épuration consiste leur utilisation comme des éléments nutritifs, sur les sols inertes, érodés ou faiblement végétalisés à l'aide de matériel approprié.

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

L'épandage des boues présente des avantages agronomiques vu sa composition en éléments fertilisants (N et P), ainsi elles sont disponibles selon les besoins (besoin de stockage), faciles à utiliser et rentable en comparaison avec l'utilisation d'engrais minéraux commerciaux. Malgré les intérêts qu'elle présente, cette valorisation a des limites. Elle est assez mal acceptée quand la présence des ETM, des CTO et les germes pathogènes dans les boues dépassent certaines valeurs[25].

b- Le compostage des boues :

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

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

Le compostage des boues nécessite leur mélange avec des déchets verts qui permettent une meilleure structuration et aération du produit final, et cela vue leur rapport très faible carbone/azote (C/N) et l'absence d'éléments structurants. L'utilisation du compost fournit aux végétaux un support aéré, un réservoir d'eau et de nutriments. Ceci permet un enracinement important des végétaux qui favorise leur productivité et diminue les risques d'érosion[26].

VI-4-3-2 : Valorisation énergétique par combustion :

Les boues de stations ne sont pas auto-combustibles, elles nécessitent un mélange avec d'autres déchets tels que les déchets ménagers pour qu'elles puissent être incinérées dans des fours spécifiques et traitées dans des installations de traitement thermique de déchets non dangereux.

L'incinération consiste à la matière organique des déchets par combustion à haute température > 500 °C produisant de la chaleur qui est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même et pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération sont utilisables pour les travaux de construction[25].

VI-4-3-3 : Valorisation agronomique :

Pour les boues présentant un intérêt fertilisant et conformes aux exigences réglementaires d'innocuité, cette filière permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant fortement l'utilisation d'engrais minéraux.

La valorisation agronomique des boues constitue la filière la plus utilisée depuis des décennies sans aucune difficulté d'ordre sanitaire ou agronomique ne soit apparue. Cette

filière répond parfaitement aux besoins de matières organiques et d'éléments fertilisants des sols mis en cultures, ainsi qu'aux critères du développement durable.

La valorisation agronomique des boues sous forme brute, chaulée, compostée ou séchée est réalisée par épandage sur les sols[25].

VI-4-3-4 : Utilisation agricole des boues :

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux[27].

IX : Effet des boues résiduaires sur les propriétés physiques et chimiques du sol :

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol [28]. Comme cette quantité augmente sensiblement avec les boues, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale [29].L'apport de boues résiduaires améliore la stabilité structurale du sol[30, 31].

IX-1 : Réserve en eau :

La richesse des boues en matière organique améliore le bilan hydrique du sol par accroissement de la réserve en eau utile, mais une telle action nécessite un apport important de carbone [32], ainsi, selon les mêmes auteurs l'incorporation de boues dans un sol limoneux présente un gain d'eau de 5%.

L'épandage des boues résiduaires aurait aussi pour effet d'agir sur l'économie de l'eau du sol, selon certains auteurs, seuls des épandages à fortes doses (supérieures 100TMS/ha) sont susceptibles d'agir favorablement sur la réserves en eau utile [33].

IX-2 : La perméabilité

L'épandage des boues dans le sol augmente la perméabilité du sol ou la vitesse d'infiltration de l'eau, qui représente une conséquence de la structure [34]. Cette

augmentation semble résulter de l'augmentation de la teneur en matière organique particulièrement suite aux amendements (organiques, fumier, lisier, compost, boues).

IX-3 : La densité apparente

Des études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées, concluent que la densité apparente des sols non amendés est élevée dans les cinq à dix premiers centimètres de sol [35-39]. Généralement, une conséquence de la compaction du sol en non amendé est la pénétration plus difficile des racines dans le sol [35, 37, 38, 40]. et l'études montre que l'écart de densité apparente entre un sol amendé et un sol non amendé en boues est maximal, l'écart décroît au cours de la saison de culture[41]. ont aussi montré qu'à partir de 21% de boues, la densité apparente dans les couches superficielles (30cm) augmente d'une façon significative[42, 43].

IX -4 : La porosité totale

La porosité est un paramètre décrivant le sol, elle comprend deux facteurs : la densité apparente et la densité réelle ; la densité apparente indique l'état ou la condition de sol, diminue avec la teneur du sol humus (DUTHIL, 1971) ; la densité réelle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol.

Une faible porosité signifie une forte densité apparente, sera un indice de tassement artificiel, un horizon à faible porosité et surtout à faible macro porosité, constitue un obstacle à la percolation de l'eau dans le sol et un plancher responsable d'un engorgement[44]. Une bonne perméabilité et une bonne porosité assurent une bonne circulation de l'air et de l'eau (échanges gazeux) donc une bonne alimentation de la plante[45].L'apport des boues aux sols entraînent une augmentation de la porosité totale du sol, beaucoup de travaux ont montré cet effet [43, 46].

XCaractérisation des boues pour usages agricoles :

X-1 : Caractérisation physico-chimiques des boues :

Une boue est aussi représentée par plusieurs données numériques qui permettent de la caractériser on distingue :

X-1-1 : L'indice de Mohlman :

Indice mesurant la plus ou moins bonne décantabilité des boues biologiques dans les stations d'épuration à boues activées ; on parle également d'indice de boue (IB) ou d'indice volumique de boue (IVB). Cet indice représente le volume moyen occupé par 1 gramme de boue après 30 minutes de décantation. Il s'exprime en ml/g, même si on le donne le plus souvent sans unité[47].

X-1-2 : La siccité d'une boue :

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches (MS). Cette dernière s'exprime en g ou en pourcentage. Elle est déterminée par séchage à 105 °C ou par Infrarouge[48].

X-1-3 : Taux de matières volatiles sèches (MVS) :

La matière sèche est constituée de matières minérales et de matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue d'épuration. La concentration des MVS exprimé en(g)[23].

X-1-4 : Le pouvoir calorifique :

La teneur en matière organique des boues leur confère une aptitude à la combustion, ce qui permet de les incinérer. On peut définir deux pouvoirs calorifiques :

- Le pouvoir calorifique inférieur (PCI).
- Le pouvoir calorifique supérieur (PCS).

Ce pouvoir calorifique s'exprime en kg de boue ou de matière volatile en Kcal/kg de MV[49].

X-1-5 : La consistance des boues :

La consistance des boues dépend de leur taux de matière sèche. On distingue 4 niveaux de consistance :

- Les boues liquides : présentant une siccité de 0 à 10 %
- Les boues pâteuses : dont de la siccité de 10 à 25 %
- Les boues solides : siccité de 25 à 85 %[50]

X-2 : Les caractéristiques chimiques des boues :**X-2-1 : Acidité des boues (pH) :**

Le pH est un paramètre important pour l'utilisation ultérieure des boues en agriculture. Il détermine partiellement la charge électrique des particules solides et, par conséquent, influe sur la stabilité colloïdale. Dans le cas des boues digérées par la voie anaérobie, la fermentation se fait dans un milieu légèrement alcalin le pH doit être proche de la neutralité. Une chute de pH en dessous de 5 indique un déséquilibre de la digestion. En cas de la stabilisation aérobie, le pH sera acide[51].

X-2-2 : La conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une solution des boues, est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité[52].

X-2-3 : Demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène en g/l, qui est consommée par les matières oxydables, elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation, par voie chimique des matières organique et des matières minérales oxydable. La DCO permet d'apprécier la quantité des matières organiques dans les boues, et éventuellement leur fermentation possible. La DCO figure parmi les indicateurs permettant de contrôler le bon fonctionnement d'une STEP[53].

X-2-4 : Demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La demande biochimique en oxygène indique la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes, pour réduire la fraction biodégradable en 5 jours d'incubation à 20°C[51].

X-2-5 : Teneur en matières minérales :

Les éléments les plus couramment rencontrés sont : Silice, alumines, carbonates et phosphates, à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue, la silice est un élément défavorable. Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles, sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton[54].

X-3 : Composition en éléments chimique des boues :**X-3-1 : L'azote :**

Les boues contiennent en moyenne 4 à 6 % d'azote (pourcentage de la matière sèche) ; ce taux d'azote est variable selon les types de boues. La fourchette extrême des teneurs observées s'étend de 1 à 9 % selon les caractéristiques des effluents traités, les procédés de stabilisation des boues et les éventuels traitements complémentaires de conditionnement utilisés. Les plus fortes teneurs sont observées avec les boues liquides.

Dans les boues, l'azote est présent sous deux formes : l'azote organique, l'azote minéral (N-NH₄⁺). Les boues ne contiennent généralement pas d'azote nitrique (N-NO₃⁻) ou d'azote nitreux (N-NO₂⁻), sauf à l'état de traces[55].

X-3-2 : Le phosphore :

Les teneurs en P des boues dépendent des caractéristiques des eaux usées et des traitements mis en œuvre. Les boues primaires sont généralement moins riches en Phosphore que les boues biologiques qui contiennent des corps microbiens à teneur élevée en Phosphore[56].

X-3-3 : Le potassium :

C'est l'élément le moins représenté dans les boues dix fois moins que la teneur en azote. Le déficit en potassium des boues résulte de sa solubilisation et dans son entraînement dans l'effluent épuré. Par conséquent, les apports en potassium par les boues sont pratiquement négligeables. Mais la minime quantité contenue semble être rapidement assimilable.

X-3-4 : Le soufre

Les boues sont caractérisées par leurs richesses en soufre dont les teneurs varient entre 0,8 et 1,5%. Une proportion de 25 à 70% s'y trouve sous forme minérale : sulfure, soufre élémentaire, thiosulfates et poly thionates[57].

X-3-5 : Le sodium, Le magnésium et le calcium :

Les boues se caractérisent par une teneur élevée en calcium, il se trouve probablement sous forme relativement mobile puisque plusieurs auteurs signalent un accroissement des teneurs en calcium des horizons du sol. Les teneurs en magnésium varient de 0,3 à 1% et sont

indépendantes du type de boue[58]. Le niveau du sodium dans les boues d'épuration relativement important ; cependant il est rapidement entraîné par le lessivage, et les teneurs en Na restent inférieures à 1% [57].

Tableau II-1 : composition en éléments utiles des boues [59].

Les éléments utiles \ Type de Boues	Boues composées	Boues Liquides	Boues pâteuses	Boues Sèches	Boues chaulées
Teneur en matière sèche MS (%)	40 à 60	2 à 6	18 à 22	90 à 95	25 à 40
Teneur en matière organique MO (%)	80 à 90	65 à 70	65 à 70	35 à 70	30 à 40
Teneur en matière volatile sèche MVS(%)	10 à 20	30 à 35	30 à 50	30 à 50	60 à 70
PH	6 à 7	6,5 à 7	7 à 8	6 à 8	9 à 12
Rapport Carbone/Azote (C/N)	15 à 25	4 à 5	5 à 6	4 à 6	8 à 11
Azote (Kg N/T brute)	5 à 9	2 à 4	8 à 12	30 à 50	6 à 10
Phosphore (Kg P ₂ O ₅ /T brute)	6 à 8	2 à 3	6 à 9	50 à 70	6 à 10
Potassium (Kg K ₂ O/T brute)	1 à 2	0.9	0.8	5	1
Chaux (Kg CaO/T brute)	10 à 30	1 à 3	5 à 15	40 à 60	60 à 90

IX-4 : Les métaux lourds :

Les éléments traces métalliques sont des micropolluants inorganiques présents dans les boues sous formes de traces. Ils proviennent des eaux usées et dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Ils ne subissent pas de dégradation et se retrouvent dans la phase particulaire : seulement 1 à 4% des métaux sont sous forme soluble[60]. Le contenu des boues en métaux est directement lié aux quantités présentes dans les eaux usées. Les risques des métaux lourds pour la santé sont aujourd'hui bien connus. C'est pourquoi les teneurs admises sont précisées par des textes réglementaires (abordés plus loin). De ce fait il est impératif de mesurer et de contrôler leurs concentrations aussi bien dans les eaux épurées que dans les boues résiduaires.

Les micropolluants métalliques dans les eaux usées ont différentes origines [61-63] et peuvent être acheminées par les eaux usées urbaines ainsi que par les eaux pluviales :

- Les eaux usées urbaines peuvent contenir des effluents domestiques (fèces, urines, produits cosmétiques, produits médicaux, produits de nettoyage), des effluents de garages, de lavage des voitures, de restaurants, de soins dentaires, etc.
- Les eaux pluviales peuvent acheminer les retombées atmosphériques, les émissions liées au trafic routier (échappement, garnitures de freins, pneus, fuite d'huile, essence, etc.).
- Les matériaux de construction et les dépôts des tuyauteries peuvent être acheminés aussi bien par les eaux usées urbaines que par les eaux pluviales.

Beaucoup de métaux comme le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le manganèse, le mercure, le nickel et le zinc sont présents naturellement à l'état de traces dans les eaux du robinet c'est pourquoi ils peuvent également se trouver dans les boues résiduaires. Le cuivre, le zinc, le fer, le cobalt, le manganèse et le molybdène proviennent de la consommation alimentaire humaine [61]. La plus grande source de Cu est l'eau du robinet et les eaux qui ruissellent sur les toitures alors que la présence de Zn est due aux matériaux galvanisés et aux eaux de lavage des voitures. Ces dernières peuvent également contribuer à la présence du Pb, du Cr et du Cd dans les eaux usées[63].

Il existe d'autres facteurs peuvent également influencer les concentrations en métaux lourds telles que la topographie et la direction du vent[64].

Le tableau suivant illustre les concentrations des ETM des boues d'épuration

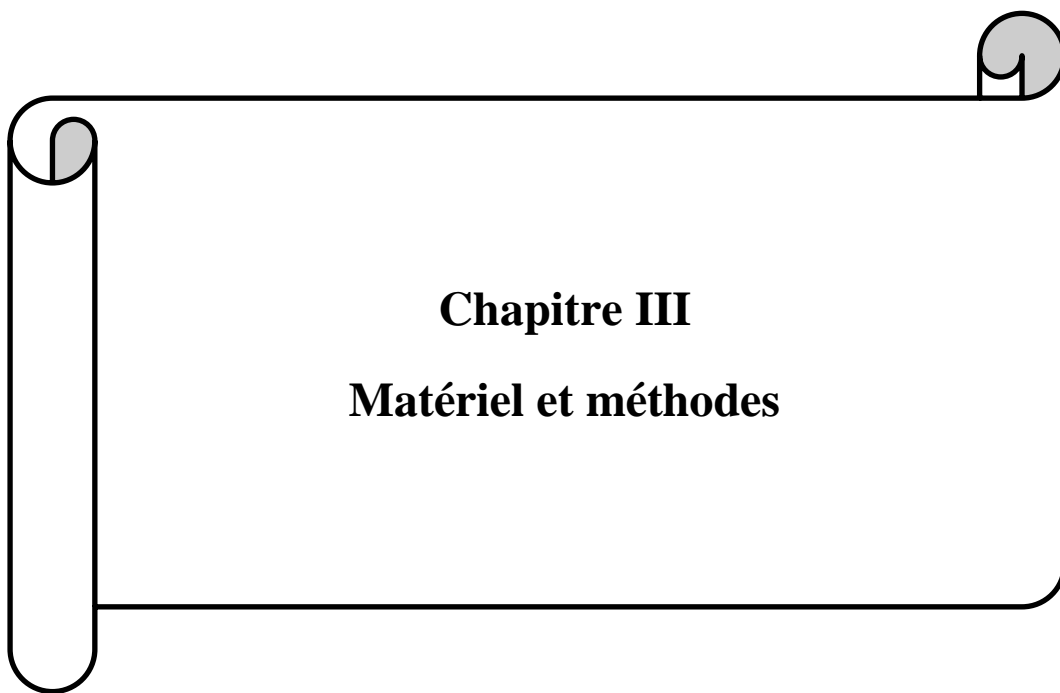
Tableau II-2 : Concentrations moyennes en ETM des boues d'épuration[65]

ETM	Valeurs limites (mg/Kg MS)	Moyenne (mg/Kg de MS)
Cd	20	5.3
Cr	1000	80
Cu	1000	334
Hg	10	2.7
Ni	200	39
Pb	800	133
Zn	3000	921

IX-5 : Les micro-organismes pathogènes :

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux [66].

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost (arrêté n°2210 du 30 avril 2004 : Abattoirs). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture[67].



Chapitre III

Matériel et méthodes

I : Introduction :

La valorisation optimale des boues d'épuration et leur utilisation dans le domaine agricole nécessite de soumettre ces boues à plusieurs analyses physico-chimiques. Ces analyses nous permettent de savoir dans quelle mesure les boues peuvent être réutilisées. Voici quelques-unes des analyses physico-chimiques que nous avons réalisées sur les boues d'épuration des stations d'épuration de l'Etat de Boumerdes pour déterminer dans quelle mesure elles peuvent être valorisées en agriculture.

II : Prélèvement des échantillons :

Les boues étudiées sont prélevées de la STEP des eaux usées de Boumerdes

Les prélèvements ont été effectués manuellement dans des boîtes plastiques pour la caractérisation

La boue est conservée à une température de 2°C à 5°C à l'abri de la lumière

Environ 50g de boue déshydratée de chaque benne, pour en constituer un échantillon moyen en fin de déshydratation.

Les échantillons sont transmis au laboratoire et conservés au réfrigérateur, pour y être analysés.



Figure III-1 : boues déshydratées des STEP boumerdes

III : Analyse physico-chimique :

Les protocoles d'essai : pH, conductivité, l'humidité, siccité, matière sèches, matière organique, matière minérales sont une propriété de l'entreprise L'ONA.

III-1 : Mesure de pH :

A : Principe :

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une boue est définie par la concentration en H_3O^+ libre (ou H^+ par commodité) présent dans la solution de boue.

B : Mode opératoire :

- On pèse 20 g de boues à l'aide d'une balance analytique.
- On verse dans une bécher de 100 ml
- On ajoute 100 ml de l'eau distillée
- On agite le mélange 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique
- On laisse décanter 15 min
- On mesure le pH de la suspension à l'aide du pH mètre (AD1030 pH /mV)



Figure III-2 : mesure de pH

III -2 : Mesure de la conductivité électrique :**Principe :**

La conductivité de la solution de boue est un indicateur de la teneur en sel soluble dans la boue, qui se rapproche de la concentration en solutés ionisables présents dans l'échantillon, sa salinité.

Mode opératoire :

- On pèse 20 g de boues à l'aide d'une balance analytique.
- On verse dans une bécher de 100 ml
- On ajoute 100 ml de l'eau distillée
- On agite le mélange 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique
- On laisse décanter 15 min
- On mesure la conductivité de la suspension à l'aide d'un conductimètre (DHAUS STARTER3100C).



Figure III-3 : mesure de conductivité

III -3 : détermination de l'humidité :**Principe :**

L'humidité obtenue après séchage à poids constant à 105°C est liée à la qualité de la boue.

Mode opératoire :

- On pèse 10g de boues à l'aide d'une balance analytique
- On sèche dans une étuve à 105 C°
- On mesure le poids de l'échantillon jusqu'à un poids constant



Figure III-4 : séchages des boues

III -4 : La siccité :

Principe :

La siccité de boue est déterminée par pesée d'une certaine quantité de boue avant étapes passage à l'étuve à 105°C. La perte du poids par le solide représente le poids d'eau évaporée pendant le séchage.

Mode opératoire :

- peser le creuset vide et noter son poids P0
- prise d'essai 10g de boues
- peser le creuset vide + boue : soit P
- séchage dans une étuve à 105 C° et mise dans un dessiccateur (3h)
- mesure le poids de l'échantillon jusqu'à un poids constante
- noter le poids de la boue séchée P2

III -5 : Matière sèche MS :

Principes :

On obtient les matières sèches par une méthode de filtration par gravité. Elle s'exprime généralement en g/l ou en % en poids.

Mode opératoire :

- On prend un papier filtre et on le pèse (P0)
- On place un entonnoir sur un bécher et on place dessus le papier filtre

- On verse une quantité de boue dans ce dispositif (au niveau de la STEP Est de boumerdes ils prennent 100ml)
- Après filtration, on met le papier filtre dans une coupelle en aluminium qu'on va placer dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant.
- Après, on place ce filtre dans un dessiccateur pour enlever toute humidité restante et puis on refait la pesée (P1)
- On calcule la concentration en MS en utilisant la formule ci-dessous :

$$MS (\%) = (P1-P0) \times 1000/V \text{ (mg/l)}$$

Avec :

$$V = 100 \text{ ml}$$

P0 : poids du papier filtre plissé

P1 = poids du filtre + boue séchée

III -6 : La matière volatile sèche MVS :

Principe :

Le résidu de l'analyse des matériaux a été placé à 550°C pendant 2 heures. Cela permet d'estimer la teneur organique de la boue et la fraction de minéraux présents dans l'échantillon.

Mode opératoire :

- On met une quantité de boue dans une coupelle en porcelaine de poids P0
- On la place dans une étuve à 105° c jusqu'à évaporation totale de l'eau
- Après on pèse la coupelle P2
- On met la coupelle dans un four à moufle à 550 °c pendant 2 heures
- Après refroidissement on pèse la coupelle à nouveau et on obtient le P3
- On calcule la concentration des MVS.

$$MVS = (P2-P3) / (P2-P0) \times 100$$

Avec :

P0 : Poids de la coupelle vide

P2 : Poids de la coupelle+ Poids de la boue séchée à T = 105°C.

P3 : Poids de la coupelle + Poids de la boue après l'avoir passé dans l'étuve à

T=105°C et T= 550°C pendant 2h.



Figure III-5 : calcination des boues



Figure III-6 : boues après calcination

III -7 : La matière organique :

- On met 5g des boues sèche dans un creuset on note P0.
- On place le creuset dans un four à moufles pendant 2h à 550°C.
- On refroidi les boues dans un dessiccateur pendant 4h.
- On note le poids de boues calciné P1
- On va avoir le poids de la matière organiques(Mo).

$$Mo = P0 - P1$$

De la même expérience, on peut déduire la teneur en matière minérales

IV : Détermination de la teneur en azote totale, phosphore, nitrate, azote ammoniacal :

Les protocoles d'essai : azote, phosphore, nitrates, azote ammoniacal sont une propriété de l'entreprise SEAAL.

IV-1 : Dissolution des boues :

- On prend 10g des boues
- On ajoute l'acide chlorhydrique jusqu'à dissolution totale des boues
- On agite le mélange à l'aide d'un agitateur magnétique avec chauffage
- On filtre le mélange
- Obtention de solution mère

IV-2 : Diluer la solution mère :

On prépare une solution diluée 10 fois à partir de la solution mère

- On prélève 10 ml de la solution mère avec une pipette
- On met la solution dans une éprouvette graduée de 25 ml
- On ajoute l'eau distillé jusqu'à trait de jauge
- Obtention de solution fille (on continue les analyses avec cette solution)



Figure III-7 : dilution de solution mère

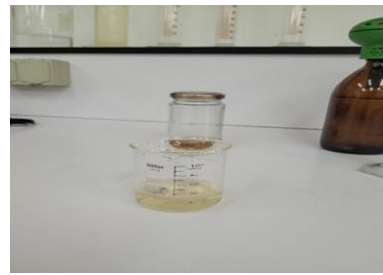


Figure III-8 : solution diluée

IV-3 : Détermination de la teneur en azote totale :**Principe :**

L'azote de composition organique et inorganique s'oxyde en présence de peroxydisulfate et se transforme donc en nitrate. Les ions nitrates réagissent dans une solution d'acides sulfurique et phosphorique avec du diméthylphénol-2.6 en formant du nitrophénol.

Mode opératoire :

- mettre dans une éprouvette de réaction sèche : 0.2 ml d'échantillon (solution fille), 2.3 ml de solution A, 1 tablette de B
- Fermer l'éprouvette de réaction immédiatement. Ne pas retourner.
- Chauffer directement le mélange dans un Thermostat : pour 30 minutes à 120 °C
- Laisser refroidir à température ambiante
- Retourner plusieurs fois.
- Pipetter lentement dans le Test en Cuve : 0.5 ml d'échantillon désagrégé.
- Pipetter lentement 0.2 ml de solution D
- Fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable
- Après 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer

- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves. DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER



Figure III-9 : la solution A et D



Figure III-10 : thermostat

IV-4 : Teneur en phosphore :

Principe :

Les ions phosphate réagissent en solution acide avec les ions molybdate et antimoine pour donner un complexe de phosphore molybdate d'antimoine. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphore molybdène.

Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable
- Dévisser le DosiCap Zip
- Prélever soigneusement 0.4 ml d'échantillon
- Prélever soigneusement 0.4 ml d'échantillon
- Revisser immédiatement et serrez le DosiCap Zip sur la cuve, dirigeant le cannelage vers le haut.
- Secouer énergiquement
- Chauffer dans le thermostat pendant 30 minutes à 120 °C (248 °F)
- Laisser refroidir à température ambiante (Remarque : Vérifiez que le bouchon soit bien maintenu serré après refroidissement)
- Secouer énergiquement

- Dévissez le DosiCap Zip Pipetter dans la cuve une fois refroidie : 0.5 ml de réactif B.
Fermer immédiatement le réactif B après emploi
- Visser un DosiCap C gris sur la cuve
- Retourner plusieurs fois jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous.
- Après 10 minutes, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
- Insérez la cuve dans le porte-cuve. DR1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus.
Sélectionnez le test, appuyez sur MESURER



Figure III-11 : solution B et C

IV-5 : Dosage des nitrites (NO₂⁻) :

Principe :

Les nitrites réagissent en solution acide avec les amines primaires et aromatiques pour donner des sels diazonium. Ceux-ci forment avec des composés aromatiques, contenant un amino-groupe ou un hydroxyle, un colorant azoïque de couleur intense.

Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable
- Dévisser le DosiCap Zip
- Pipetter soigneusement 2.0 ml d'échantillon
 - Visser immédiatement le DosiCap Zip en dirigeant les cannelures vers le haut
- Secouer énergiquement jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous
- Après 10 minutes, retourner de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves .DR 1900 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur MESURER



Figure III-12 : détermination de nitrite

IV-6 : Azote ammoniacal :

Principe :

En présence de sodium nitroprussique agissant comme catalyseur et à une valeur du pH d'environ 12.6, les ions ammonium réagissent avec les ions hypochloreux et salicyliques et donnent une coloration bleue indophénol.

Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable
- Dévisser le DosiCap Zip
- Pipetter soigneusement 0.2 ml d'échantillon
- Vissez immédiatement le DosiCap Zip en dirigeant les cannelures vers le haut
- Secouer énergiquement
- Après 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves DR 9000 : Accéder à méthodes LCK/TNT plus. Sélectionner le test, appuyer sur mesurer



Figure III-13 : détermination d'azote ammoniacal

V : Détermination des métaux lourds par Fluorescence X :

Les protocoles d'essai : métaux lourds sont une propriété de l'entreprise ECFERAL.

L'utilisation de l'appareil XRF de type pistolet :

Un dispositif permet d'utiliser l'appareil de type pistolet (NITRON XL3t) en mode laboratoire en le plaçant sur un poste de mesure démontable. L'appareil se fixe alors sous le poste et l'échantillon est placé dessus, sous un capot plombé ; l'analyse ne peut débuter que si le capot est correctement fermé. Le lancement des analyses peut alors être piloté depuis l'ordinateur.

L'appareil de type pistolet (NITRON XL3t) est un analyseur de terrain portatif (1,4 kg) par fluorescence X. Les résultats obtenus sont présentés sous forme graphique (spectre RX) ou sous forme de concentrations.



Figure III-14 : NITRON XL3t

La gamme d'analyse quantitative de l'appareil va, du plus léger au plus lourd, du soufre au plomb. Le programme fourni permet la mesure de 21 éléments avec deux types de filtres :

-un filtre « éléments lourds » : Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Sb, Ba, Hg et Pb

-un filtre « élément légers » : S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V et Cr

Les échantillons peuvent se présenter sous forme compacte ou en poudre. Pour des mesures in situ ou on site, il n'existe pas de contrainte de taille de l'échantillon. En revanche, en mode laboratoire, la taille de l'échantillon est limitée par la dimension de la chambre de mesure.

L'appareil peut être utilisé pour une gamme de température comprise entre -7 et 49°C.

Les rayonnements sont émis à travers une fenêtre de mesure en polypropylène lorsque le tube est en fonctionnement. La fenêtre d'analyse mesure 1 cm x 2 cm. La section du faisceau (spot) à l'endroit où il touche l'échantillon est approximativement de 20mm.

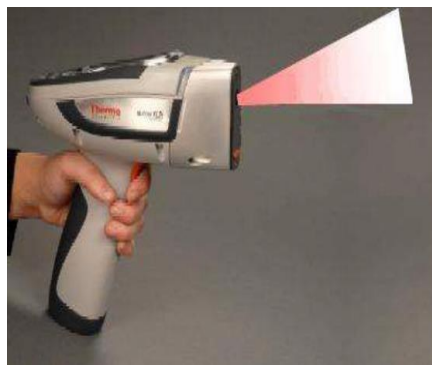


Figure III-15 : Direction et angle de sortie du faisceau

L'excitation de l'échantillon se fait grâce à une unité électronique renfermant un générateur électrique de rayons X (pas de source radioactive). La tension maximale du tube est de 35kV, le courant maximum du tube X de 10 μ A ; son anode est en argent, et la fenêtre en béryllium mesure 0,127 millimètres d'épaisseur

Mode opératoire :

Les méthodes d'analyse de nos échantillons à l'état solide se résument aux étapes suivants:

On sèche l'échantillon à l'aide d'une étuve à 105° pendant 5h.

- 1- 4 Mesure sur échantillon on site (2 minutes) (avec l'appareil type pistolet (NITRON XL3t) et le mobile
- 2- Sur l'un des points de mesure, une mesure de 2*1 min et 1 mesure de 2*5 min
- 3- Préparation d'une coupelle
- 4-Série de mesures de 2*1 min, 2*2 min, 2*3 min, 2*4 min et 2*5 min (avec l'appareil type pistolet (NITRON XL3t) et le mobile)

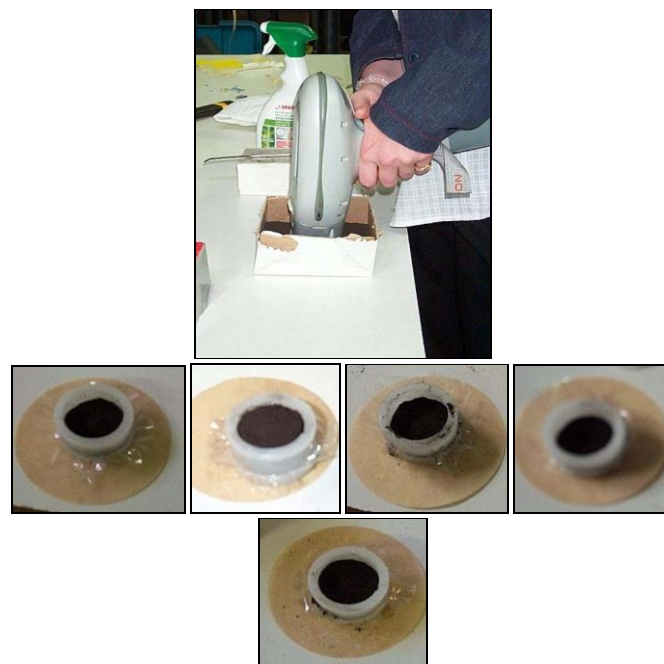


Figure III-16 : Réalisation de l'analyse à l'aide de pistolet

Echantillonnage de sol:

Les échantillons de sol sont réalisés en prélevant le sol et le sous-sol. Il est toujours préférable de prélever du sous-sol.

Une fois les prélèvements effectués :

Bien mélanger chacune des chaudières afin de bien homogénéiser les échantillons et enlever les débris végétaux qui pourraient fausser les résultats et les roches qui pourraient faire en sorte que la taille de l'échantillon soit insuffisant à des fins d'analyse.



Figure III-17 : échantillons de sol

1 : Mesure de pH de sol :

Mode opératoire :

- Dans un bécher, mélanger 40 g de sol séché et tamisé avec 40 ml d'eau distillée (ou une quantité mais toujours en proportion 50-50 avec le sol) avec une cuillère ou tout autre ustensile utilisé pour transférer le sol.

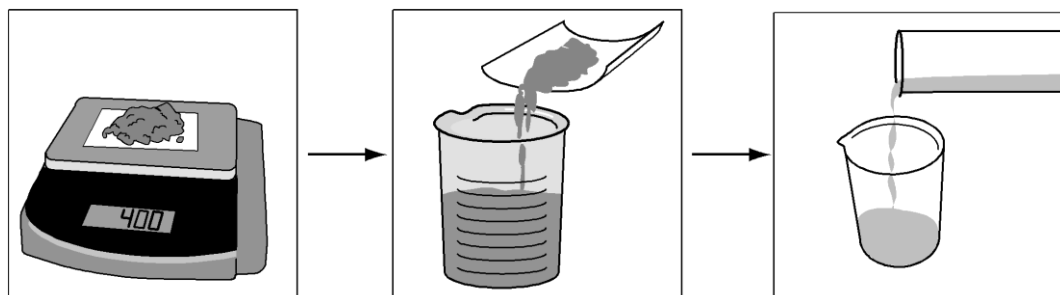
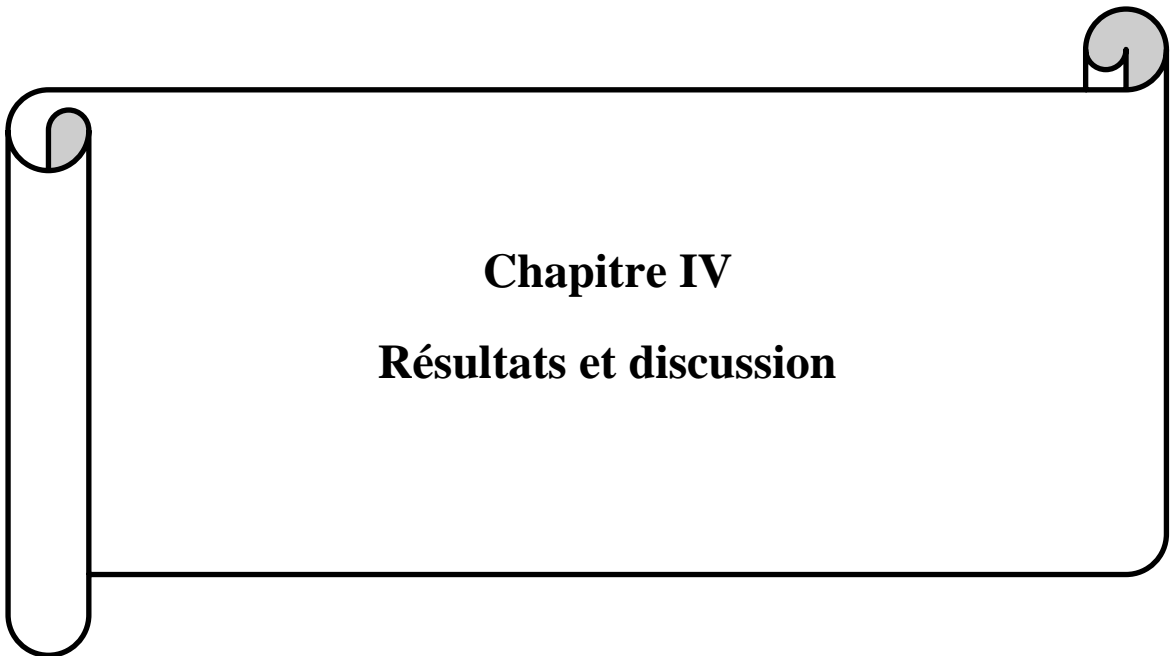


Figure III-18 : méthode de mesure de sol

- Remuer le mélange sol/eau avec une cuillère ou autre jusqu'à ce qu'il soit totalement mélangé. Remuer le mélange sol/eau pendant 30 secondes puis attendez pendant trois minutes et répétez cinq fois ce cycle remuer/attendre. Ensuite, laisser le mélange reposer jusqu'à ce qu'une couche surnageant (liquide plus clair au-dessus du sol) se forme (environ 5 minutes).



- Mesurer le pH de la couche surnageant en utilisant le pH-mètre. Plonger le pH-mètre calibré dans la couche surnageant et relever la mesure du pH. Reporter -la sur la *Fiche de relevé de données du pH du sol*. Il faut mettre des gants pour calibrer le pH- mètre



Chapitre IV
Résultats et discussion

I : Interprétation des résultats des analyses physico-chimique des boues :

Les analyses physico-chimiques de la boue lors de cette expérimentation ont été réalisées au niveau de différents laboratoires. Le dosage des métaux lourds a été effectué au niveau du laboratoire de l'entreprise ECFERAL EL HARACH. Les analyses des éléments majeures ont été faites au niveau du laboratoire de SEAAL de Réghaïa.

I-1 : les résultats obtenus :

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques de la boue de la STEP sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau IV-1 : résultats d'analyses physico-chimique

Analyses	résultats
pH	7.92
Conductivité électrique ms /cm	0.1333
humidité %	57
siccité %	43
Matière sèche %	43
matière organique %	80
matière minérale %	20
Azote totale%	2.2
Phosphore %	0.45
Nitrites (NO ₂ ⁻) mg /l	0.0055
Azote ammoniacale mg /l	4.7

I-1-1 : pH :

Le pH des boues est de **7,92**. Cette valeur du pH témoigne d'une certaine stabilité de ces boues vis-à-vis de la décomposition de la matière organique. Car en effet, un pH acide indique généralement une décomposition active de la matière organique et la formation d'acides gras volatiles responsables de l'acidité des boues

Le pH ne représente pas un obstacle à la réutilisation de ces boues en agricultures. Au contraire il représente une condition favorable au développement des micro-organismes dans le sol.

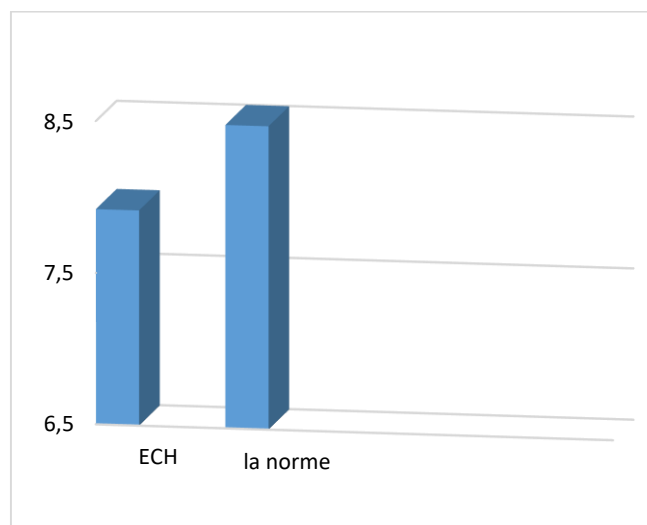


Figure IV-1 : variation de pH

I-1-2 : Conductivité électrique :

La conductivité électrique est un bon indicateur de la concentration des sels solubles (degré de salinité) dans l'échantillon.

La valeur de conductivité obtenue dans notre boue est 0.1333 ms /cm cette valeur est très faible, non significatives donc ces boues sont pauvres en sels.

I-1-3 : Siccité :

La siccité permet de déterminer le types des boues, dans notre cas on a obtenu une siccité de 43%, donc notre boue est pâteuse. Cette valeur varie en fonction du mécanisme de déshydratation et du temps d'entreposage.

I-1-4 : La matière organique :

L'aptitude d'une boue à la minéralisation est en relation avec sa teneur en matière organique totale, plus elle sera riche en matière organique, plus sa minéralisation dans le sol sera intense[1].

Notre échantillon contient 80% de matière organique, ces boues sont riches en matière organique. Cela nous permet de dire que l'utilisation de ces boues est bénéfique pour les terres agricoles, par l'effet de sa matière organique sur les propriétés physico chimique des sols.

I-1-5 : Azote total :

La teneur totale en azote des boues résiduelles est un facteur important parmi les éléments qui présentent un intérêt agronomique. L'azote existe sous des formes organiques et inorganiques. La forme inorganique est immédiatement disponible pour les plantes, tandis que la forme organique doit être minéralisée par les micro-organismes avant assimilation.

Les résultats obtenue pour notre échantillon est 2.2%. Ce résultat conformes aux normes citées par lacée en 1980 (2 -2.5 en%)[2].

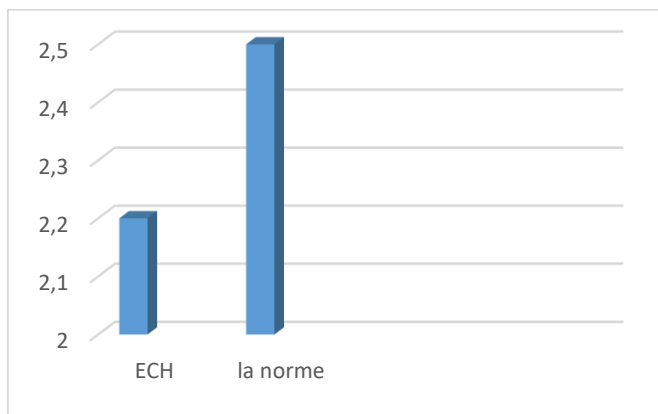


Figure IV-2: variation d' azote

I-1-6: phosphore :

Le phosphore, dont la plupart des sols sont mal pourvus, compte de 0.1à 0.4% de la matière sèche. Un épandage des boues peut combler ce déficit puisqu'elles contiennent une teneur relative en cet élément.

Dans notre échantillon on a trouvé 0.45% de phosphore cette valeur est conforme à la norme (0.43-0.87en%)[2].

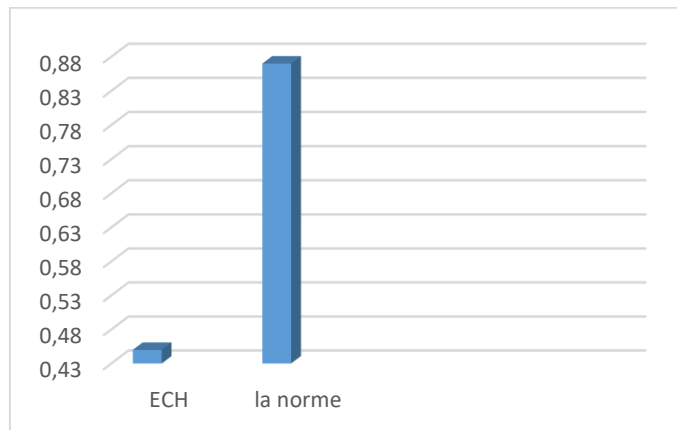


Figure IV-3 : variation de phosphore

I-1-7 : Nitrites (NO₂-) :

Le nitrite représente une forme moins oxydée et moins stable. C’est le Canal entre le nitrate et l’ammonium, cette forme est toxique. Le nitrite est distribué dans le sol, l’eau, les boues et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles.

La boue que nous avons étudiée contient 0.0055 mg/l, cette quantité très faible, et était donne la norme utilisée dans la STEP de boumerdes (2mg/l).

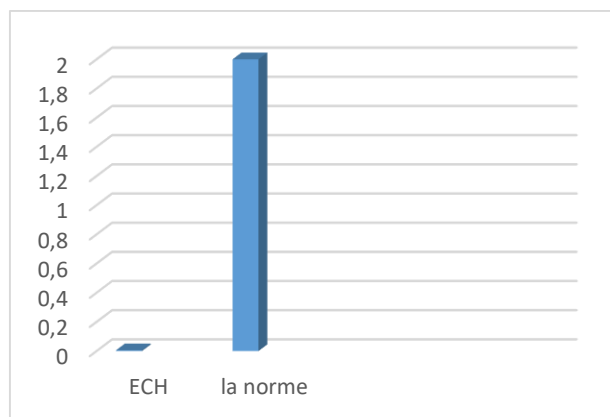


Figure IV-4 : variation de Nitrites (NO₂-)

I-1-8 : Azote ammoniacal :

La présence d’azote ammoniacal (ammonium NH₄) dans les boues traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique

La majeure partie de l'ammonium est transformée en nitrate par les bactéries du sol. Le processus de nitrification dépend de la température et nécessite entre une et plusieurs semaines.

La valeur obtenue est 4.7mg/l

II : Interprétation des résultats des analyses des métaux lourds dans les boues :

Les données concernant les métaux lourds des boues étudiées sont présentées dans le tableau suivant (voir Annexe 1) :

Tableau IV-2 : résultats des métaux lourds dans les boues

Elément	Concentration en ppm
Cadmium	<LOD
Chrome	<LOD
Cuivre	<LOD
Mercure	<LOD
Nickel	<LOD
Plomb	<LOD
Zinc	93.795
Fer	3164.430
Strontium	38.529
rubidium	7.709

<LOD : la valeur est tellement petite que thermo scientifique n'arrive pas à lire

Plusieurs auteurs précisent que les métaux lourds sont dangereux pour les végétaux et les animaux, ils peuvent se révéler toxiques à trop forte dose.

D'après les données l'ONA de boues, on a remarqué que les valeurs enregistrées pour les boues d'épuration étudiées, étaient largement inférieures aux normes AFNOR (adapté par IANOR). Donc ne présentent pas ainsi de risque de toxicité à court terme, mais il est préférable de faire un suivi de la teneur de ces éléments pour les sols amendés avec les boues afin d'éviter le risque d'accumulation à long terme.

III : pH de sol :

Une valeur de pH proche de la neutralité rend le sol favorable au travail du sol, et lorsqu'elle s'écarte de la neutralité, elle entrave les échanges de nutriments. Lorsque la réponse du sol est fondamentale, elle peut être considérée comme assez élevée et préjudiciable au développement des plantes et à la structure du sol[3]. Pour nos échantillons, le pH était compris entre 8 et 8,5[3].

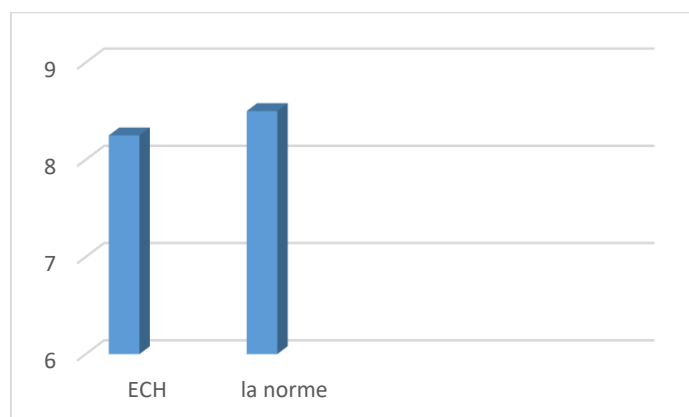


Figure IV-5 : variation de ph

IV : Interprétation des résultats des analyses des métaux lourds dans le sol :

Tableau IV-3 : résultats des métaux lourds dans le sol (voir Annexe 2)

Elément	Concentration en ppm
Cadmium	LOD
Chrome	21.076
Cuivre	LOD
Mercure	LOD
Nickel	49.068
Plomb	LOD
zinc	110.807
Fer	20535.449
Strontium	89.915

rubidium	64.188
----------	--------

<LOD : la valeur est tellement petite que thermo scientifique n'arrive pas à lire

Les résultats des métaux lourds dans le sol sont conformes aux normes (norme IANOR)

Tableau récapitulatif des résultats :

Paramètres	Unités	Valeurs Obtenues	Valeurs Limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installation
pH		7.92	6.5-8.5	6.5-8.8
Azote totale	%	2.2	2-2.5	2025
Phosphore totale	%	0.45	0.43-0.87	43-87
Nitrites	mg/l	0.0055	2	2

***unité : mg/kg**

Eléments	Valeurs obtenu dans les boues	Valeurs limites Pour les boues	Valeurs obtenu dans le sol	Valeurs limites dans le sol
Cadmium	<LOD	40	<LOD	3
Chrome	<LOD	1750	21.076	150
Cuivre	<LOD	1750	<LOD	140
Mercure	<LOD	25	<LOD	1.5
Nickel	<LOD	400	49.068	75
Plomb	<LOD	1200	<LOD	300
Zinc	93.795	4000	110.807	300

adaptées par l'institut Algérien de Normalisation (IANOR)



Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion :

La caractérisation de la qualité des boues a fait l'objet du développement de protocoles normalisés analytiques variés essentiellement en réponse aux obligations réglementaires pour le réemploi des boues et la protection de l'environnement.

De par la composition des eaux avant épuration, les boues qui résultent du processus contiennent des éléments présentant une valeur agronomique qui justifient l'utilisation de celles-ci en tant que matières fertilisantes, ou des éléments susceptibles de constituer un apport combustible dans les unités de génération ou de cogénération de thermies.

Néanmoins, en raison de l'origine des apports dans les réseaux de collecte d'eaux usées, les boues sont également susceptibles de contenir des substances incompatibles avec les usages agricoles.

Les boues peuvent, en fonction de leurs caractéristiques, devenir matières valorisables ou au contraire déchets à éliminer dans des conditions contrôlées.

L'installation d'un système d'épuration est une solution non négligeable pour recycler de gros volumes d'eaux usées avec des capacités de contamination importantes. Si le résidu d'élimination « boues » n'est pas éliminé de manière non polluante et potentiellement bénéfique, il perd tout son sens.

Les résultats des analyses ont prouvé que ces boues sont riches en matière organique et contiennent un pourcentage important d'azote et de phosphore, et qu'elles contiennent également de très faibles quantités de métaux lourds.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus sont acceptables. Donc ces boues peuvent être valorisées en agriculture en les utilisant comme engrais des sols. Mais il est nécessaire de ré-analyser périodiquement les boues pour que la valorisation s'inscrive dans un cadre réfléchi qui ne fasse pas courir de risques aux produits cultivés.

References bibliographiques :

Chapitre I

1. HADJER, M. (2015-2017). Caractérisation des boues de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de boumerdes . ONA Boumerdes, mémoire de fin de formation : Institut KADIRI ABD ELKADER-LAKHDARIA-.
2. Office national de l'assainissement, système de management environnement ISO14001, manuel environnement-juin 2012.
3. Toumi Abdelhamid & Bernard Chocat (2004) L'assainissement en Algérie: problématique, La Houille Blanche, 90:6, 130-136, DOI:10.1051/hb:200406018.
4. Site web, ONA, WWW.ONA.com
5. MEMOIRE DE MASTER ; Possibilités de réalisation des eaux épurées et valorisation des boues de la STEP de BOUMERDES, W. BOUMERDES ; CHARABI Mahfoud ; MAI 2016).
6. KHELIFA.M 2008, Evaluation des eaux usées traitées de la station d'épuration d'Ain Sfiha (w. SETIF) en vue d'une utilisation dans le domaine de l'irrigation. Mémoire ingéniorat *ENSH BLIDA*.
7. J.P. Bechac –P. Boutin – Nuer 1984 traitements des eaux usées Ed EYROLLES Bd St Germain.

References bibliographiques

Chapitre II

1. Soumia, A., *contribution à la valorisation de boues de stations D'épuration par compostage : devenir des micropolluants Metalliques et organiques et bilan humique du compost*, in INSA Toulouse. 14mars2005.
2. P, B., *Etude du potentiel fertilisant (N et P) de deux boues de stations d'épuration par lagunage anaérobie et par boues activées*. 1996.
3. Werther J., O.T., *Sewage sludge combustion .Progress in Energy and Combustion*. Science, ed. -. 25. 1999.
4. DOUNIA, A.A.K.M.S., *Assainissement liquide de Marrakech valorisation agricole et énergétique des boues issues de l'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech* . 02 Juillet 2009, Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques Marrakech.
5. Baumont S, C.-p., Lefranc A, Franconi A, *reutilisation des eaux épurées : risque sanitaire et faisabilité en ile- de France-institut d'aménagement et d'urbanisme de la région ile-de-France*. 2005.
6. Bountoux, *Introduction à l'étude des eaux douces : eau naturelles, eaux usées, eaux de boisson, édition technique et documentation Lavoisier*. 1993.
7. ademe, *L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque, SFSP*. 1999.
8. ademe, *Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition*. 2001.
9. Murillo, M., *Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue*. 2004.
10. ADEME, *Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition*. PARIS, 1999.
11. l'Assainissement, O.N.d., *Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie*. ONA, 2014.
12. ademe, *Les valeurs agronomiques des boues d'épuration*. 2001.
13. al, W.e., *The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by tow vegetable crops grown in a pigwash sandy loam soil in nova scotia*. 2005.
14. Chang, A.C., Granato, T.C., Page, A.L, *A methodology for establishing phyto-toxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges*. 1992.
15. Alloway, A., *Heavy metals in soils*, in *Edition blackie academic&professional*. 1995.
16. Lega, R., Ladwig, G., Meresz, O, Clement, R.E., Crawford, G., Salemi, R., Jones, Y, *Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS*. Chemosphere, 34, 1705-1712, 1997.
17. Klöpffer, W., *Environmental hazard assessment of chemicals and products Part V. . Anthropogenic chemicals in sewage sludge*. Chemosphere, 33, 1067-1081, 1996.
18. Sahlström, L., Aspan, A., Bagge, E., Tham M.L.D, *Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants* Water Research, 38, 1989-1994, 2004.
19. Ecrin, *Que faire des boues ? (What doing with sludge?)*,. Club Environnement et société. December 2000 - www.ecrin.asso.fr, 2000.
20. Garrec, N., Picard-Bonnaud, F., Pourcher, A.M, *Occurrence of Listeria sp. and L. monocytogenes in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, liming and*

References bibliographiques

- storage in tank on survival of Listeria species. FEMS Immuno. Med. Microbiol.*, 35, 3, 275-28., 2003.
21. *station de traitement des eaux usées Meistratzheim (France).*
22. DAVOISNE, N., *LES BOUES D'ÉPURATION : COMMENT LES TRAITER POUR MIEUX LES RÉDUIRE OU LES VALORISER ?*
23. B, A., *valorisation des poussières de four à ciment dans le procédé de solidification/stabilisation des déchets.* 2011.
24. F, L.B.e.O., *Contribution à l'évaluation des effets des Boues Résiduaires sur les caractéristiques physiques et chimiques d'un sol de vignoble Tadmaït Wilaya de Tizi-Ouzou-Fadel et Khoury, 2000.* 2013.
25. Thiziri, B., *Caractérisation physico-chimique des boues de la STEP de Sour el ghoulane Bouira (Contribution à une éventuelle valorisation dans divers domaines), in Chimie des matériaux. 2018-2019, Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées.*
26. Vaucher, K., *Valorisations des boues papetières et du peuplier hybride dans la fabrication de panneaux de fibres de moyenne densité (MDF), in Mémoire de maîtrise.* 2012, Université Laval, Québec, Canada.
27. D. Lambkin, S.N., T. White, *The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework Trends in Analytical Chemistry*, 23, 10-11. 2004.
28. Q, S.P.D.J.T.G.J.G.M.J.M.G.C.R., *Factors influencing the variation of some properties of soils in relations to their suitability for direct drilling. Soil & Tillage Research*, 4, 35-53. 1984.
29. J, A.D.C., *Plant-induced change in soil structure: processes and feedbacks. Biogeochemistry N, I*, 42, pp55-72. 1998.
30. et, G.O.F.G.C.M.-S.J.N.-P.J.G.I. and M.-B. J, *Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soil amended with biosolids. Soil and Tillage Research. V. 82. Issue 1.* pp.65-76. 2005.
31. Metzger L, L.D.e.M.U., *the effect of sewage sludge on soil structural stability. Microbiological Aspects. Soil Science of America Journal. Vol. 51 N°2,* pp. 346-351. 1985.
32. jaquin, M.j.l.e., *utilisation agricole des boues résiduaires chaulées. Incidence de trois années d'épandage sur la fertilité d'un sol neutre de limon. Ministère de l'environnement. Comité sci-sol et déchets solides.* 29p. 1978.
33. guckert., M., *influence of limed sludge on soil organic matter and soil physical properties of soils. reidel publishing company. Company, catroux Gand L'hermite P, Dordrecht Holla nd, ppn25-42.* 1981.
34. Morel j. l et jaquin, *Influence des boues des stations d'épuration sur les propriétés physiques du sol. In : Symposium EAS, utilisation agricole des boues provenant des stations*

References bibliographiques

d'épuration, Bale, Suisse. 1980.

35. Ehlers W; Kopke U; Hesse F & Bohm W, *Penetration resistance and root growth of*

oats in tilled and untilled loess soil. Soil & Tillage Research, 3, 261-275. 1983.

36. Hammel, J.E., *Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil*

impedance in Northern Idaho. Soil Science Society of America Journal of North American.

1(5), pp. 1044-1049. 1989.

37. Hill, R.L., *Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical*

properties. Soil Science Society of America Journal, 54, 161-166. 1990.

38. Grant, C.A.L., G. P., *The effects of tillage systems and crop sequences on*

soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. Canadian

Journal of Soil Science, 73, 223-232. 1993.

39. Basic, F., Kiscic, I., Mesic, M., Nestroy, O., & Butorac, A, *Tillage and crop*

management effects on soil erosion in central Croatia. Soil & Tillage Research, 78, 197-206. 2004.

40. Ferreras, L.A., Costa, J.L., Garcia, F.O & Pecoran, C., *effect of no tillage on some*

soil physical properties of structural degraded pertocalcic paleudoll od southern "pampa" of

Fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. 2000.

41. Tebrüge f., D.r.a., *Reducing tillage intensity, a review of results from a long*

term study in Germany. Soil & Tillage Research, 53: 15-28.

Tillage Research, 45, 39-57. 1999.

42. et, G.O.F.G.C.M.-S.J.N.-P.J.G.I. and M.-B. J, *Factors controlling the aggregate stability and bulk*

density in two

different degraded soil amended with biosolides. Soil and Tillage Research. V. 82. Issue

1. pp. 65-76. 2005.

43. Surajet Mondal, D.D.S., A. k Patra, B, S Dwivedi, *Changes in soil quality in*

resposse to short-tem application of municipal sewage sludge in a type laplustept render

compe- Wheat cropping system. Environnemental Niation technology, Monitoring et M

anagement Vol.4 pp.37-41. 2015.

44. Denis Baize, *Guides des analyses en pédologie, 2ème Edition revue et augmenter.*

Edition I.N.R.A, Paris, France. 2000.

45. Soltner, *les bases de la production végétale T1 : le sol, 22ème édition science et*

techenique agricole Maine et Loire France 457p. 2000.

46. Dridi B. et Toumi C., *influence d'amendement organique et d'apport de boue sur les*

propriété d'un sol cultivé . Etude et Gestion des sols, 6, 1 pp 7 à 14. 1999.

47. J, R., . *L'analyse de l'eau, 9ème Edition. P1579. 2009.*

48. Amel, L.F.M.B.S., *exploitation d'une station d'épuration à boues activées et d'une lagune,*

niveau II. 2011.

49. C, L., *Analyses des boues. AFEE, Tome 1, 135 p. Tome 2, 127 p., 1985.*

50. MACÉ, M., Directrice générale du Centre d'information sur l'eau, dont la vocation est d'apporter des connaissances pédagogiques sur l'eau distribuée et sur la gestion de l'eau en

References bibliographiques

- France, d'analyser les comportements des consommateurs et d'analyser le discours des médias.
51. Ladjel, *L'exploitation des eaux usées urbaines dans la station d'épuration CFMABoumerdes*. 2004.
52. BOUZIDI Kahina, H.K., *Caractérisation des boues résiduaires urbaines pour une utilisation agricole et une prévention de la pollution de la ressource sol dans la wilaya de Tizi-Ouzou*, in *Département des Sciences Agronomiques*. 2018-2019, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques.
53. OTV, C., *Ouvrage collectif. Traiter et valoriser les boues*. Collection OTV. N°2. 457P, 1997.
54. Tauzin C, J.C., *Effets de l'application à long terme de diverses matières*. 1986.
55. L, G., *La valorisation des boues de station d'épuration en agriculture*. Mém. D.U. "Eau et Environnement. D.E.P, 1996. **univ. Picardie, Amiens, 44 p.**
56. Sommers, «*Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers* » *journal of environnement quality*, pp 225-232. 1977.
57. Anonyme, *La valorisation agricole des boues des stations d'épuration urbaines*. publication N°23 A.N.R.E.D. Angers(France) 117p., 1988.
58. Solda, J.e., *Effets d'application massive de boue de station d'épuration en monoculture de maïs : action sur le rendement et la composition des plantes et sur quelques caractéristiques du sol*. 1997: p. pp147-155.
59. Ju-Zhen Y., L.-M.Z., *Removal of methylene blue dye from aqueous solution by adsorption onto sodium humate/clay hybrid hydrogels*, *bioresource technology* 99, 2182-2186. 2008.
60. C, B., *Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un co-traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées*, in *Thèse de Doctorat*. 2005, Université Montpellier II.
61. Gagnon C., S.I., *Distribution and fate of metals in the dispersion plume of a major municipal effluent*. *Environmental Pollution*. 2003. **124**.
62. Karvelas M., K.A., Samara C, *Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process*. *Chemosphere*. 2003. **53**.
63. Sörme L., L.R., *Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm*. *The Science of the Total Environment*. 2002. **298**.
64. C, D., *Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques*, in *Thèse de Doctorat*,. 2003, Université de Poitiers.
65. A, D., *L'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eau urbaines* *courrier de l'environnement de l'INRA*. Octobre 2000, pp 134-135. 2000.
66. Sahlström L., A.A., Bagge E., Tham M. L. D., Albihn A, *Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants*. *Water Research*,. 2004. **38**.
67. al, G.N.e., *Occurrence of listeria sp. And l.monocytogenes in sewage sludge used for land application: effet of dewatering, liming and storage in tank on survival of listeria species*. *FEMS immunol. Med. Microbiol*, 275, 353-28. 2003.

References bibliographiques

Chapitre IV

1. I, m.j., *contribution a l'étude des boues résiduaires dans le sol* 1977, NANCY.122p.
2. LACEÉ, *Analyse des boues- _AFEE_ tome 1.135p tome 2.127p.* 1985.
3. Nadia, R. (2005-2007). *contribution a l'études des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduaires. effet sur la fertilité d'un sol sableux. mémoire magistère .* université d'Oran.

Annexes 1: Matériels utilisés



Plaque chauffante



Balance électrique



barreau magnétiques



Creuset



Papier filtre



Entonnoir



Fiole jaugée 100ml



éprouvette gradue



pipette

Annexes 1: Matériels utilisés



Thermostat



spectrophotomètre



Four a moufle



Etuve universelle

Annexes 2 : résultats des analyses des métaux lourds dans les boues

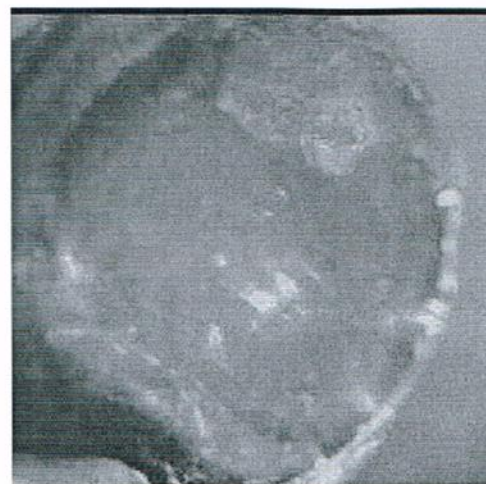


14,Route de Larba ,ZI d'EL HARRACH
ALGER

Bulletin d'Analyse

XL3t-106399

Reading No 712
Mode Soil
Time 2022-06-06 09:22
Duration 157.55
Units ppm
Sigma Value 4
Sequence Final
Flags
SAMPLE boues
LOCATION boumerdes
INSPECTOR
COR 1
COR 2
MISC
NOTE



Ele	ppm	+/-	±2σ
Mo	<LOD	:	3.341
Zr	19.594	+/-	2.343
Sr	38.529	+/-	2.508
U	<LOD	:	4.465
Rb	7.709	+/-	1.831
Th	<LOD	:	3.192
Pb	<LOD	:	5.594
Au	<LOD	:	4.284
Se	<LOD	:	3.284
As	<LOD	:	4.315
Hg	<LOD	:	8.901
Zn	93.795	+/-	9.630
W	<LOD	:	24.793
Cu	<LOD	:	14.468
Ni	<LOD	:	13.010
Co	<LOD	:	19.069
Fe	3164.430	+/-	87.599
Mn	59.596	+/-	35.862
Cr	<LOD	:	20.916
V	<LOD	:	27.582
Ti	561.371	+/-	59.815
Sc	91.928	+/-	28.959
Ca	10693.382	+/-	220.539
K	1149.653	+/-	140.839
S	4239.625	+/-	609.135
Ba	<LOD	:	26.347
Cs	<LOD	:	6.256
Te	<LOD	:	17.384
Sb	<LOD	:	8.401
Sn	<LOD	:	7.241
Cd	<LOD	:	7.723
Ag	<LOD	:	5.253
Pd	<LOD	:	6.584

Annexes 3 : résultats des analyses des métaux lourds dans le sol

14,Route de Larba ,ZI d'EL HARRACH
ALGER

Bulletin d'Analyse

XL3t-106399

Reading No 669
Mode Soil
Time 2022-03-31 14:16
Duration 126.20
Units ppm
Sigma Value 4
Sequence Final
Flags
SAMPLE BOUES
LOCATION boumerdes
INSPECTOR
COR 1
COR 2
MISC
NOTE



Ele	ppm	+/-	±2σ
Mo	<LOD	:	5.763
Zr	85.921	+/-	5.775
Sr	89.915	+/-	5.663
U	<LOD	:	10.182
Rb	64.188	+/-	5.767
Th	<LOD	:	6.656
Pb	<LOD	:	11.932
Au	<LOD	:	8.505
Se	<LOD	:	6.752
As	10.625	+/-	6.725
Hg	<LOD	:	18.799
Zn	110.807	+/-	16.771
W	<LOD	:	51.735
Cu	<LOD	:	29.714
Ni	49.068	+/-	18.566
Co	<LOD	:	70.564
Fe	20535.449	+/-	344.216
Mn	310.947	+/-	79.875
Cr	21.076	+/-	11.326
V	55.253	+/-	19.676
Ti	1659.352	+/-	69.700
Sc	<LOD	:	27.595
Ca	5699.007	+/-	148.018
K	6273.207	+/-	203.968
S	3753.873	+/-	470.016
Ba	347.916	+/-	116.982
Cs	43.205	+/-	25.437
Te	<LOD	:	109.120
Sb	<LOD	:	52.092
Sn	<LOD	:	45.320
Cd	<LOD	:	45.794
Ag	<LOD	:	32.271
Pd	<LOD	:	38.373