

N°

rdre...../F.S.S.A/UAMOB/2019

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Chimie

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

BOUDHANE Thiziri

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** :

Filière : CHIMIE

Option : Chimie des matériaux

Thème :

**Caractérisation physico-chimique des boues de la STEP de Sour el
ghouzlane Bouira (Contribution à une éventuelle valorisation dans divers
domaines)**

Soutenu le: **20/10/ 2019**

Devant le jury composé de :

M^{me} MANSOURI Sadia

UAMOB

Présidente

M^{me} TEDJANI Fatiha

UAMOB

Encadreur

M^{me} LANASRI Kahina

UAMOB

Examinatrice

M^f BOUDAA Amrane

UAMOB

Examinateur

M^{elle} MENDIL Sabrina

UMMTO

Invitée

Année Universitaire 2018/2019

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué au laboratoire de chimie de la faculté des sciences et des sciences appliquées de l'Université de Bouira en collaboration avec la station de traitement des effluents urbains (STEP) Sour el ghouzlane (Bouira).

Je remercie le bon Dieu miséricordieux et clément, qui m'a donné la volonté et le courage pour mener ce modeste travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent particulièrement à:

- *Mme TEDJANI. F, Maître a Assistants A à l'Université Akli Mohand OULHADJ de Bouira, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour son suivi et ses précieux conseils.*
- *Mme MANSOURI. S, Maître de Conférences classe B à l'Université Akli Mohand OULHADJ d'avoir accepté de présider ce jury.*
- *Mr BOUDAA.A, et Mme K. LANASRI Maîtres Assistants classe A à l'Université de Akli Mohand OULHADJ qui ont accepté d'examiner ce travail.*
- *Mme MENDIL. S, Maître de Conférences classe B à l'Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou d'avoir accepté l'invitation pour le jury de soutenance.*
- *Mme GHOUALEM. H, Professeur à USTHB de m'avoir accueillis dans le Laboratoire d'Electrochimie, Corrosion, Métallurgie et Chimie Minérale. Faculté de Chimie. Université des Sciences Technologie Houari BOUMEDIENE Bab-Ezzouar, Alger pour effectuer mes analyses par absorption atomique.*
- *Mme ROUIBI. A, chef de département de la STEP Sour el ghouzlane (Bouira) ainsi que tout le personnel de la STEP d'avoir été très aimable et serviable avec moi pendant la durée de mon stage.*
- *L'ensemble du personnel des laboratoires de chimie de l'Université de Bouira pour leur soutien scientifique mais également pour leur bonne humeur au sein du laboratoire.*
- *Enfin, que toutes les personnes qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail trouvent ici le témoignage de mon estime.*

DEDICACES

Je dédis ce travail à :

- *Mes très chers parents, qui n'ont jamais cessé de me chérir et me soutenir durant toutes mes années d'études. Je leur dis merci et que dieu vous garde.*
- *Mes adorables sœurs Kahina, Mounira , Sihem, Nadjat et Dihia, qui m' ont encouragé et soutenu pendant tous le long de mes études.*
- *À mes chers frères Taher, Tarik , Khaled, Salem et Ilyes.*
- *Mon fiancé et sa famille.*
- *Tous mes camarades de la section de chimie 2018/2019, pour leur présence effective.*

Thiziri

Liste des figures

Figure.I.1 : Station d'épuration à boues activées.....	03
Figure.I.2 : Schéma de la composition principale du lit de séchage.....	12
Figure. I.3 : Filières de traitement des boues d'épuration.....	16
Figure.II.1 : Présentation de la STEP de Sour el ghozlane.....	18
Figure.II. 2 : Schéma du processus de traitement des eaux usées dans la STEP de Sour el ghouzelane	19
Figure.II.3 : Image représentatives des lieux de prélèvement des boues.....	20
Figure. II.4 : Image représentatives des formes des boues prélevées.....	20
Figure. II. 5 : Aspect visuel des bouesdu lit de séchage sécheés calcinées.....	22
Figure. II. 6 : Aspect visuel des bouesdu déshydratées sécheés calcinées.....	22
Figure. III.1 : Spestre infrarouge des boues du lit de séchage.....	34
Figure .III.2 : Spestre infrarouge des boues déshydraté	34

Liste des tableaux

Tableau .I.1 : Composition générale des boues d'épuration	05
Tableau .I.2 : Consistance des boues.....	07
Tableau .III.1 : Résultats des analyses physico-chimique des boues.....	28
Tableau .III.2 : Concentrations en métaux lourds des boues fraîches et des boues de lit du séchage	30
Tableau III.3 : Teneurs et flux des éléments traces métalliques pour boues et pour solsRéf.....	30
Tableau . III.4 : Résultats de la perte au feu des boues incinérées à différentes températures...	32
Tableaun.III.5 : Mesures des masses volumiques et des porosités des boues	32

Liste des Abréviations

BLS	Boue du lit de séchage
C	Carbone
CE	Conductivité
Cd	Cadmium
CO ₂	Dioxyde de Carbone
°C	Degré Celsius
Cu	Cuivre
EH	Equivalent Habitant
ETM	Eléments Traces – Métalliques
H	Hydrogène
H (Humidité
H ₂ O	Molécule d'eau
HPA	Hydrocarbures polycycliques aromatiques
FV	Fraction volatile
IR	Spectroscopie Infrarouge
MES	Matières en suspension
Mg/kg	Milligramme par kilogramme
MO	Matière Organique
MS	Matière Sèche
N	Azote
Ni	Nickel
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONA	Office Nationale de l'Assainissement
P	Phosphore
PAF	Perte au feu
Pb	Pbomb
PCB	Polychlorobiphényles
pH	Potentiel d'Hydrogène
S	Siccité
STEP	Station d'épuration des eaux usées
°T	Température

ρ_r	Masse volumique réelle
ρ_a	Masse volumique apparente
ϵ	Porosités
Zn	Zinc
%	Pour 100

Sommaire

Sommaire

Remercîment	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Etude bibliographique	
I.1. Introduction.....	02
I.2. Production d'une boue de station d'épuration.....	02
I.2.1. Production des boues.....	03
I.2.1.1. Prétraitement	03
I.2.1.2. Traitements primaires	03
I.2.1.3. Traitements secondaires.....	04
I.2.1.4. Procédés de traitement des eaux usées	04
I.3. Boues résiduaires.....	04
I.3.1. Définition des boues.....	04
I.3.2. Composition des boues résiduaires.....	04
I.3.3. Différents types de boues	05
I.3.3. 1. Les boues industrielles	05
I.3.3. 2. Les boues primaires.....	05
I.3.3. 3. Les boues biologiques ou secondaires	05
I.3.3. 4. Les boues physico-chimiques	06
I.4. Caractéristiques des boues	06
I.4.1. Caractéristiques chimico-physiques des boues	06
I.4.1.1. Matière sèche MS et siccité S	06
I.4.1.2. Matières en suspension (MES)	06
I.4.1.3. Indice de boue SVI (Sludge Volume Index)	06
I.4.1.4. Fraction volatile FV (en % des MS)	06
I.4.1.5. Consistance.....	07
I.4.2. Caractéristiques biologiques des boues	07
I.4.2.1. Bactéries	07
I.4.2.2. Virus	07

I.4.2.3. Parasites.....	08
I.4.2.4. Micropolluante	08
I.4.3.Composition des matières organiques	08
I.4.4.Composition des matières minérales	08
I.5. Différentes filières de traitement des boues.....	08
I.5.1.Epaississement	08
I.5.1.1.Epaississement gravitaire (la décantation)	08
I.5.1.2.Epaississement dynamique	09
I.5.2. stabilisation des boues	09
I.5.2. 1. Par digestion anaérobie	09
I.5.2. 2. Par digestion aérobie	09
I.5.3. Déshydratation	10
I.5.3.1.Déshydratation mécanique	10
I.5.3.2. Déshydratation naturelle	11
I.6. Mise en décharge contrôlée.....	12
I.7. Incinération	12
I.7.1.Incinération des boues seules ou incinération spécifique.....	13
I.7.2. Co-incinération avec ordures ménagères.....	13
I.7.2.1. Injection directe dans le four	13
I.7.2.2. Incinération en mélange avec les ordures ménagères	13
I.8. Valorisation des boues.....	14
I.8. 1. Valorisation organique.....	14
I.8.2. Valorisation agronomique	15
I.8.3. Utilisation agricole des boues.....	15
I.9.Conclusion.....	16

Chapitre II :Matériels et méthodes

II.1. Introduction.....	17
II.2. Problématiques.....	17
II.3.Station d'épuration de Sour et ghoulane.....	18
II.3.1. Présentation du milieu d'étude	18
II.4.Principe de fonctionnement.....	19
II.5. Échantillonnage (point, méthode et matériels de prélèvement).....	20

II.6. Préparation des échantillons aux analyses.....	20
II.7. Caractérisation physico-chimique des boues.....	23
II.7.1. Caractérisation physique.....	23
II.7.1.1. Détermination du pH	23
II.7.1.2. Détermination de la conductivité électrique (CE)	23
II.7.1.3. Calcul d'humidité et/ou siccité (NF ISO 11465).....	23
II.7.1.4. Teneur en matière sèche (MS) et en eau.....	24
II.7.2. Caractérisation chimique.....	25
II.7.2. 1. Détermination du taux de la matière organique.....	25
II.7.2. 2. Analyses chimiques en éléments traces métalliques(ETM).....	25
II.7.2. 3. Analyses spectrales.....	26
II.8. Détermination de la perte au feu (PAF).....	27

CHAPITRE III : Résultats et discussions

III.1. Introduction.....	28
III.2. Résultats des analyses physico-chimiques	28
III. 3. Résultats des analyses des éléments traces métalliques.....	29
III.4. Etude de la valorisation agriculture des boues de la station d'épuration Sour el ghouzlane.....	31
III.5. Perte au feu de la boue fraîche et de la boue de lit de séchage.....	31
III.6. Masses volumiques apparentes, masses volumiques réelles et porosités..	32
III.7. Analyse des cendres par Spectrométrie Infrarouge à transformée de Fourier(IR).....	33
III. 7. Conclusion	35
Conclusion générale	36
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

Les eaux usées contiennent divers polluants organiques et inorganiques. Leur rejet direct dans la nature sans traitement s'avère très néfaste sur l'environnement et l'homme d'où l'importance de leur traitement.

En Algérie, il existe plus d'une centaine de STEP dont une soixantaine « dites urbaines » consacrées aux eaux usées domestiques. Les autres étant installées dans les unités industrielles. Le besoin d'épurer les eaux usées ira en s'accroissant en Algérie et dans les autres pays, en raison de la démographie et de la consommation accrue des zones urbaines et industrielles.

La station d'épuration des eaux usées de Sour el ghoulane (Bouira), traite tout type d'eau usée (domestique, Agricole, industrielle). A la sortie de STEP l'eau épurée, jeté dans le milieu naturel, est accompagnée par une production de quantités non négligeables de boues dont il faut s'en débarrasser, ainsi la STEP à choisie de les éliminer en les mettant en décharge.

La mise en décharge s'avère une technique peu valorisante et légalement interdite dans de nombreux pays (directive 1999/31/CE). L'incinération des boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine (ADEME, 1999, Gao. Ningbo, 2014). La valorisation énergétique et agricole des boues sont des techniques vertes permettant de transformer les boues considérées des déchets à un produit de valeur tout en minimisant la pollution.

La présente étude a pour objectif de caractériser et d'étudier la possibilité de convertir les boues en combustibles propre qui répondent aux exigences énergétiques et environnementales ainsi que l'étude des caractéristiques et de la valorisation des cendres issues de la combustion.

Notre étude est divisée en deux parties principales ; partie théorique et partie expérimentale.

- Le Premier chapitre présente des généralités sur les boues : leurs origines, leurs principes de la réglementation, leurs filières de traitement et leurs domaines de valorisation.

Partie Expérimentale est consacrée pour les différents résultats d'analyse et ces interprétations :

Deuxième chapitre décrit les différentes technique expérimentales et les moyens utilise pour l'ensemble des expériences effectués et consacré à la discussion des résultats physico-chimique et celles obtenus après l'incinération.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I.1. Introduction

Le parc des stations d'épuration d'eaux usées urbaines en Algérie est constitué essentiellement de procédés d'épuration à (boues activées), et à un degré moindre « lagunage naturel ». Ce dernier produit des boues, avec assez longs 5 à 10 ans qui ne nécessite pas la gestion de ces boues au niveau de la station. Le procédé à boues activées produit des boues de manière régulière (Journalière) qui oblige leur gestion sur le site de la station avant destination finale (A. Guy, 2003).

De cette contrainte est née la filière de traitement des boues en parallèle avec celle de l'eau pour une meilleure maîtrise de ce sous-produit.

Les procédés de traitement des boues existants au niveau des stations d'épuration dépendent de l'origine et de la nature des boues produites par ces stations. Ainsi les stations à moyenne charge sont dotées de procédé de stabilisation et celles à faible charge produisent des boues ayant été déjà stabilisées au niveau de la filière de traitement de l'eau (ONA, 2004). De par sa vocation, sa raison d'être une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment la ressource hydrique. On a souvent tendance à confondre entre le rôle principal et les rôles secondaires d'une station d'épuration.

Nous insistons pour dire que la protection de la ressource hydrique est le rôle principal de la station à savoir eau souterraine, eau de surface, et eau de baignade (zone côtière). Les rôles secondaires restent bien entendu la réutilisation des eaux épurées en agriculture et à usage industriel ainsi que la valorisation des boues produites en agriculture (ONA 2004).

I.2. Production d'une boue de station d'épuration

L'épuration des eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique, pluviale, industrielle et agricultures ou qu'elles correspondent à des matières de vidange, aboutit à la production de boues. Ces dernières sont ensuite traitées en fonction de leur destination finale.

Il convient de distinguer les eaux usées urbaines qui sont formées par les rejets des eaux domestiques aux quelles peuvent s'ajouter les eaux usées d'ensembles collectifs (aéroports, écoles, campings, parkings) et celles d'activités artisanales et commerciales (cabinets médicaux, cabinets dentaires, ateliers photo... etc).

Les eaux usées industrielles ont des compositions très variables selon le type d'industrie (agro-alimentaire, chimique, métallurgique, etc.), selon le degré de recyclage des produits et de l'eau, et selon le cycle de fabrication.

Les eaux usées agricole proviennent des terres cultivées après lessivages et ruissellement. Ces eaux sont riches en éléments fertilisants (D.D. Mara, 1980).

I.2.1. Production des boues

L'épuration des eaux usées passe par différentes étapes. La figure I.1 donne le schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.



Figure I.1 : Station d'épuration à boues activées

Source : <http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.htm>

I.2.1.1. Prétraitement

Elle permet d'éliminer les éléments solides les plus grossiers par des procédés physiques tels que la sédimentation, la flottaison, le tamisage. On élimine ainsi les feuilles, les morceaux de papier de plastique, les graisses, et le sable.

Les sous-produits de ces opérations de prétraitement seront traités comme des déchets. Au terme de cette phase, il reste des polluants dissous et des matières en suspension. Une deuxième phase d'épuration va ensuite permettre de les éliminer ou de les réduire.

I.2.1.2. Traitements primaires

Ils vont permettre la décantation des matières en suspension, par des processus de décantation simple, des traitements physico-chimiques ajoutant des agents coagulants ou flocculant etc. Les boues ainsi obtenues sont des boues fraîches, non stabilisées, elles sont fermentescibles et sont donc instables.

I.2.1.3. Traitements secondaires

Il s'agit de clarification par traitements biologiques. Ils consistent à extraire les matières organiques dissoutes dans les eaux usées. On utilise des micro-organismes qui vont se nourrir de ces substances dissoutes.

I.2.1.4. Procédés de traitement des eaux usées

Ils existent plusieurs procédés de traitement des eaux usées tel que le lagunage naturel, les procédés biologiques à culture libre avec les boues activées, les procédés biologiques à culture fixées ou bio filtre et à lits bactériens.

Les boues ainsi obtenues vont ensuite être traitées en vue de leur utilisation :

- ✓ par un traitement tertiaire comprenant des étapes de filtration, désinfection etc.
- ✓ par des traitements complémentaires modifiant les caractéristiques des boues, permettant une désodorisation etc (C. Chassande, 2000).

1.3. Boues résiduaires

I.3.1. Définition des boues

Les boues se situent à la frontière des domaines respectifs des déchets solides et des eaux résiduaires. On les assimile généralement à des déchets solides. Ce sont des mélanges de solides et de liquide (l'eau dans la plupart des cas), dont la fraction solide est constituée de fines particules (de la fraction de micromètre à quelques millimètres (ADEME, 2001, A. Damien, 2013).

I.3.2. Composition des boues résiduaires

La composition des boues varie selon l'origine des eaux usées, la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqué au sein de la station d'épuration. Elles représentent un réservoir important de matière première composée de différents éléments organiques et inorganiques (éléments fertilisants N, P., éléments en traces métalliques). En plus de ces éléments valorisables, on trouve dans des boues des composés toxiques comme les éléments traces métalliques (ETM), des micropolluants organiques (Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques (HPA) et les Polychlorobiphényles (PCB)) et des agents pathogènes (micro-organismes pathogènes, parasites...etc.) en relation avec la nature des activités raccordées au réseau d'assainissement.

Le tableau (I.1) indique le pourcentage des éléments fertilisants ainsi que le pourcentage de la matière organique contenue dans les boues.

Tableau I.1 : Composition générale des boues d'épuration (Ademe, 1999).

Matière sèche (MS)	2 à 95 % selon la siccité
Matière organique 50 à 70 de la MS	(30% si boues chaulées)
Azote (N)	3-9 % de la MS
Phosphore (P)	4- 6 % de la MS
Potasse (KOH)	< 1 % de la MS
Magnésie (Mg)	< 1 % de la MS
Chaux (CaO)	4 à 8 % de la MS (25% si boues chaulées)

I.3.3. Différents types de boues

Au cours des traitements primaires et secondaires des boues sont produites, elles sont classées en trois grandes catégories de boues urbaines (figure I.1) qui diffèrent par une grande hétérogénéité, de nature et de composition.

I.3.3. 1. Les boues industrielles

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production (S. Salhi, 2003).

I.3.3. 2. 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 (Ademe, 1999).

I.3.3. 3. Les boues biologiques ou secondaires

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 (M. Murillo 2004).

✓ 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 (Ademe, 1999).

✓ Les boues d'aération prolongées

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

I.3.3. 4. 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 (Ademe, 2001).

I.4. Caractéristiques des boues

I.4.1. Caractéristiques chimico-physiques des boues

I.4.1.1. Matière sèche MS et siccité S

Le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer MS. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement (R.A.Kormanik, 1972).

I.4.1.2. Matières en suspension (MES)

Les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES) (E. Jerde, 2002), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$$\text{MES} = \text{MS} - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]$$

I.4.1.3. Indice de boue SVI (Sludge Volume Index)

Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique. Il est à relier indirectement aux MS et MV. (H. Amadou, 2007).

I.4.1.4. Fraction volatile FV (en % des MS)

Le rapport des matières volatiles MV sur les matières sèches MS. Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) (A. Dudkowski, 2000).

I.4.1.5. Consistance

La consistance de la boue est un critère essentiel pour le stockage, l'homogénéisation, la manutention et l'enfouissement. Elle est liée à son état physique (S. Karoune, 2008). Quatre états physiques sont généralement définis en tenant compte de la siccité (tableau I.2).

Tableau I.2 : Consistance des boues (C.T.E.S, 2010)

Type de boues	Taux de siccité %
Liquides	De 3 à 10
Pâteuses	De 10 à 25
Solides	>30
Sèches	De 85 à 95

I.4.2. Caractéristiques biologiques des boues

Les boues résiduaires contiennent une grande quantité de micro-organismes (virus, bactéries et parasites). Ils sont éliminés de l'eau avec les boues qui décantent. La concentration de pathogènes peut être réduite significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et le compostage (C. Tauzin, 1986).

I.4.2.1. Bactéries

On dénombre de différents types de bactéries dans les boues, une partie de celles-ci est d'origine fécale et porteuse de germe. Elles peuvent donc être pathogènes. On les classé en quatre familles:

-Aérobies strictes qui développent qu'en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées.

-Aérobies facultatives qui peuvent se développent en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (aéromonase).

-Anaérobies facultatives qui peuvent supporte la présence de l'air mais ne se développement que grâce à des processus anaérobies (lactobacillus).

-Anaérobies stricte dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (clostridium).

I.4.2.2. Virus

On trouve des entérovirus, des adénovirus adsorbés sur la matière organique solide des boues dans une proportion non négligeable environ 30% des échantillons de boues.

Leur élimination n'est pas facile selon l'utilisation ultérieure des boues, il faut s'en préoccuper (C. Tauzin, 1986).

I.4.2.3. Parasites

On trouve de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique, ce sont des œufs d'ascaris.

I.4.2.4. Micropolluante

Les boues contiennent, en faible quantité de nombreux produits qui peuvent être toxiques pour les plantes qui présentent des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes.

I.4.3. Composition des matières organiques

Les boues sont constituées de matière organique complexe non dégradée.

La matière organique est principalement constituée de quatre grandes familles : les protéines (acide aminé), les lipides (méthanol), les carbohydrates (glucose) et les acides gras.

I.4.4. Composition des matières minérales

Il s'agit essentiellement de ce qu'on nomme des métaux lourds, qui ont été très largement étudié en laboratoire et sur le terrain pour leur rôle dans le développement des cultures irriguées par des boues liquides ou par des boues sèches.

I.5. Différentes filières de traitement des boues

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale.

I.5.1. Epaissement

L'objectif de cette étape est de réduire la quantité d'eau pour diminuer le volume des boues pour les étapes suivantes de traitement. Très souvent l'épaississement est réalisé par des moyens physiques tels la flottation, la centrifugation ou la mise dans des bassins pour un simple traitement.

Il existe deux types d'épaississement :

- Epaissement gravitaire
- Epaissement dynamique

I.5.1.1. Epaissement gravitaire (la décantation)

Cette technique est la plus utilisée pour la concentration des boues, elle est très répandue dans les grandes stations (10 000 - 100 000 EH). Une hauteur de 3,5 à 4m

est préconisée pour le bassin de décantation, en tenant compte du volume de stockage, afin de faciliter le tassement de la boue. La siccité des boues à la sortie de ce procédé varie de 2 à 10% selon la nature des boues traitées.

Ce procédé est peu coûteux (consommation énergétique de l'ordre de 1 à 7 kWh/t MS) et d'exploitation simple mais de faible performance sur les boues biologiques (boues très fermentescibles) avec une siccité seulement de 1,5 - 2,5%. De plus, la mise en place la boue nécessite une surface et un volume très importants. Le temps de séjour des boues dans l'épaississeur est d'environ 48h. La performance est variable selon la nature des boues : pour les boues primaire, 40 - 80kg de MS/m²/jour.

I.5.1.2.Épaississement dynamique

Au classique épaississement par décantation statique sont venues s'ajouter, depuis quelques années, trois techniques d'épaississement dynamiques qui, en particulier avec les boues légères, permettent d'obtenir des meilleurs taux d'épaississement au prix. Il est d'une plus forte dépense d'énergie électrique et éventuellement de réactifs flocculant. Il s'agit de la flottation, de la décantation et centrifuge, plus récemment, des grilles et tamis d'égouttage.

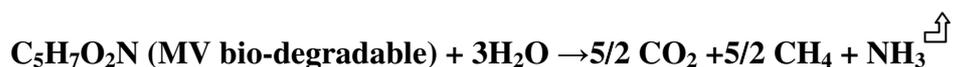
I.5.2. stabilisation des boues

Elle vise la neutralisation des matières organiques susceptible de subir des phénomènes de fermentation. Quand la composition des boues reste constante au cours du temps, celles-ci sont alors dites stabilisées. La stabilisation des boues peut être biologique aérobie ou anaérobie ou chimique (O, I, E. 2001).

Elle permet d'éliminer 20 à 50% de la matière organique et peut se faire :

I.5.2. 1. Par digestion anaérobie

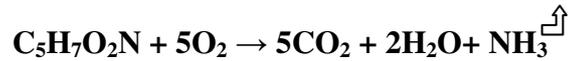
A lieu dans le digesteur où la matière organique subit une transformation en dioxyde de carbone et en méthane avec également une production d'ammoniac (M. Merciecca, 1984).



I.5.2. 2. Par digestion aérobie

C'est une transformation de la matière organique par oxydation en milieu aérobie avec dégagement de chaleur et production de dioxyde de carbone.

Pour cela les boues séjournent dans des bassins dites stabilisent (M. Merciecca, 1984).



I.5.3. Déshydratation

La déshydratation est une étape du traitement des boues faisant passer les boues de l'état liquide à un état solide.

Elle 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 primaires, secondaires voire tertiaires.

Il existe deux types de déshydratation des boues (G. Antonini, 2000) :

- ❖ La déshydratation mécanique
- ❖ La déshydratation naturelle

I.5.3.1. Déshydratation mécanique

Dans les stations d'épuration, l'étape de traitement finale des boues est leur déshydratation mécanique afin d'éliminer un maximum d'eau. Une teneur en matières sèches située entre 15 et 35% est obtenue, ce qui signifie que les boues contiennent encore jusqu'à 85% d'eau. Il est donc impératif d'optimiser cette étape afin d'assurer la plus grande élimination possible d'eau.

Le procédé de déshydratation généralement utilisés des bandes presseuses, le filtre presse et la centrifugeuse.

a. Filtre à bandes presseuses

C'est la filtration sous pression progressive, de 0,3 à 1 bar. On comprime la boue au moyen de rouleaux entre une bande filtrante et une bande pressante.

Le processus comporte les étapes suivantes :

- floculation avec des poly-électrolytes ;
- égouttage sur un support filtrant de l'eau interstitielle libérée ;
- pressage de la boue drainée, entre deux toiles qui la compriment

progressivement.

b. Filtre

C'est un appareil qui permet de filtrer des boues en chambre étanche sous pression de l'ordre de 5 à 15 bars .Il fonctionne en discontinu.

c. Centrifugeuse

Elle peut être assimilée à une sédimentation accélérée. La centrifugation est précédée d'un conditionnement à l'aide de polymères de synthèse aboutissant à une boue flocculée.

I.5.3.2. Déshydratation naturelle

Le système consiste à sécher les boues à l'air libre sur des lits de séchage drainés.

➤ Lit de séchage

On utilise les lits de séchage pour des boues très minéralisées issues d'une station d'épuration totale ou d'un dispositif de digestion des boues.

On introduit la boue dans des bassins peu profonds contenant des graviers et de sable munis d'un système de drainage, la déshydratation naturelle des boues s'opère en faits de deux façons (O.N.A 2004).

-Filtration naturelle à travers le lit : perte jusqu'à 80% de la teneur en eau.
Evaporation naturelle (Séchage atmosphérique)

-Le lit de séchage est composé de plusieurs couches

-Une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm. (calibre 0,5 à 15 mm). -Une couche intermédiaire de gravier fin de 10 cm (calibre 5 à 15 mm).

-Une couche inférieure de gros graviers de 20 cm. (calibre 10 à 40 mm).

-Les matériaux reposant sur un sol imperméabilisé et nivelé.

-Des grains en ciment ou en plastique sont disposés avec une légère pente sur la couche de base.

La figure I.2 donne la composition principale du lit de séchage.

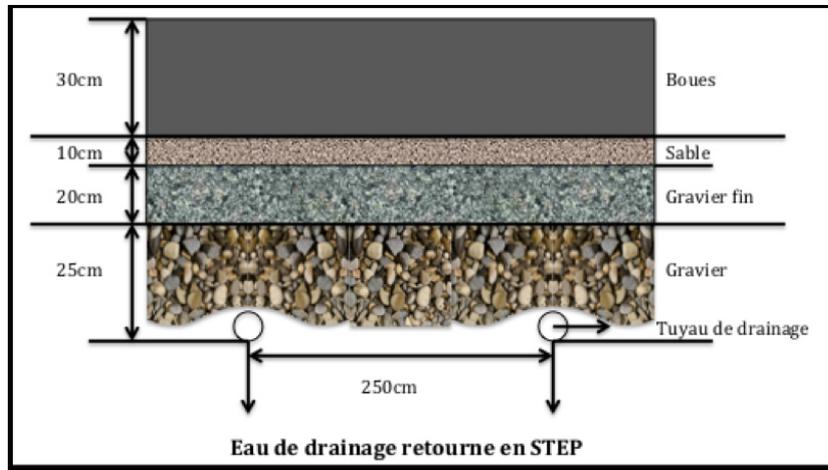


Figure I.2: Schéma de la composition principale du lit de séchage

I.6. Mise en décharge contrôlée

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant compte de certaines conditions telles que compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipement et gestion du site (S. Amir, 2001). Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %).

Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines (Looser et al, 1999; Kjeldsen et al, 2002). Les décharges ne doivent plus accepter que des déchets qui ne peuvent plus être raisonnablement valorisés ou à caractère non dépolluables ou dangereux appelés aussi déchets ultimes (A. Bouamrane, 2014). La directive européenne du 26 avril 1999 impose une diminution d'au moins 65 % de la quantité de déchets organiques.

I.7. Incinération

L'incinération est une oxydation thermique complète de la matière organique qui consiste à brûler les boues dans une chambre (incinérateur) à haute température (plus de 500°C) des boues avec un apport suffisant d'oxygène. Il en résulte de la fumée qui se

dégage et de la matière minérale résiduelle restante nommée « cendre » ou « résidu ». Bien que l'incinération reste un investissement coûteux, ce procédé présente de nombreux avantages. Elle permet non seulement d'écarter les boues de la chaîne alimentaire mais aussi de réduire leur volume et de réutiliser aussi bien les vapeurs dégagées que les résidus résultants. Compte tenu de l'interdiction de la mise en décharge qui commence à se propager dans plusieurs pays dans le monde et de l'épandage agricole. Il semble que l'incinération est la voie de transformation et de recyclage la plus attrayante à moyen et à long terme (Simons, 1994).

I.7.1. Incinération des boues seules ou incinération spécifique

Bien qu'elle puisse se faire dans des fours tubulaires rotatifs ou des fours à soles étagées, l'incinération des boues seules se pratique le plus couramment dans des fours à lit fluidisé. Afin d'atteindre le seuil d'auto-combustibilité, les boues sont préalablement séchées soit par un apport extérieur d'énergie, soit par récupération de chaleur sur les gaz chauds émis par la chambre de combustion (A.B.D. Ramdani, 2011).

I.7.2. Co-incinération avec ordures ménagères

Cette méthode, bien que délicate à mettre en œuvre, est adaptable à la majorité des fours d'incinération des ordures ménagères existants. Il existe deux possibilités de co-incinération :

I.7.2.1. Injection directe dans le four

Les boues sont injectées dans la chambre de combustion en proportion adaptée au pouvoir calorifique des ordures ménagères (environ 15 à 20% du poids des ordures pour des boues à une siccité de 12 à 40%). Il n'y a pas d'influence sur la capacité thermique du four et la qualité des mâchefers est identique. Cette méthode est généralement contraignante vis-à-vis de l'exploitation mais présente l'avantage d'utiliser des boues peu déshydratées (diminution des coûts de conditionnement).

I.7.2.2. Incinération en mélange avec les ordures ménagères

Les boues sont préalablement déshydratées afin d'avoir les mêmes caractéristiques, en termes de combustion, que les ordures ménagères (la siccité des boues doit être d'environ 65%). Dans ce cas la déshydratation pourra être effectuée dans un sécheur dont l'énergie est issue de la chaleur de la chambre de combustion (le conditionnement des boues en station ne nécessite donc pas de frais de déshydratation trop élevés). Cette pratique est couramment employée car elle permet la récupération de chaleur du four et n'entraîne pas de difficulté d'exploitation. Elle est par ailleurs simple

à adapter à des fours existants ou en projet puisqu'il n'y a pas de modification de fonctionnement du four lui-même.

I.8. Valorisation des boues

La valorisation des boues de stations d'épuration des eaux usées est devenue une préoccupation du monde entier, vue l'augmentation de leur production et leur composition diversifiée qui leur révèlent un intérêt économique et environnementale important. Cette valorisation permet de faire passer les boues de STEP d'un statut de "déchet" au statut de "produit". Elle est donc une nécessité primordiale pour la protection de l'environnement.

I.8. 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 de 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.

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 (K. Vaucher, 2012).

c. 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 plus de 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 (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux de construction.

1.8.2. 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 d'autant 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.

1.8.3. Utilisation agricole des boues

La valorisation agricole peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour équilibrer les cycles biogéochimiques (C, N, P, ..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise surtout à ménager les ressources naturelles et à éviter toute pollution et gaspillage de matières organiques dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (D.

Lambkin et al. 2004). Les boues résiduairees peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

La figure III.3 montre les performances de divers procédés de traitement de la boue de la station d'épuration.

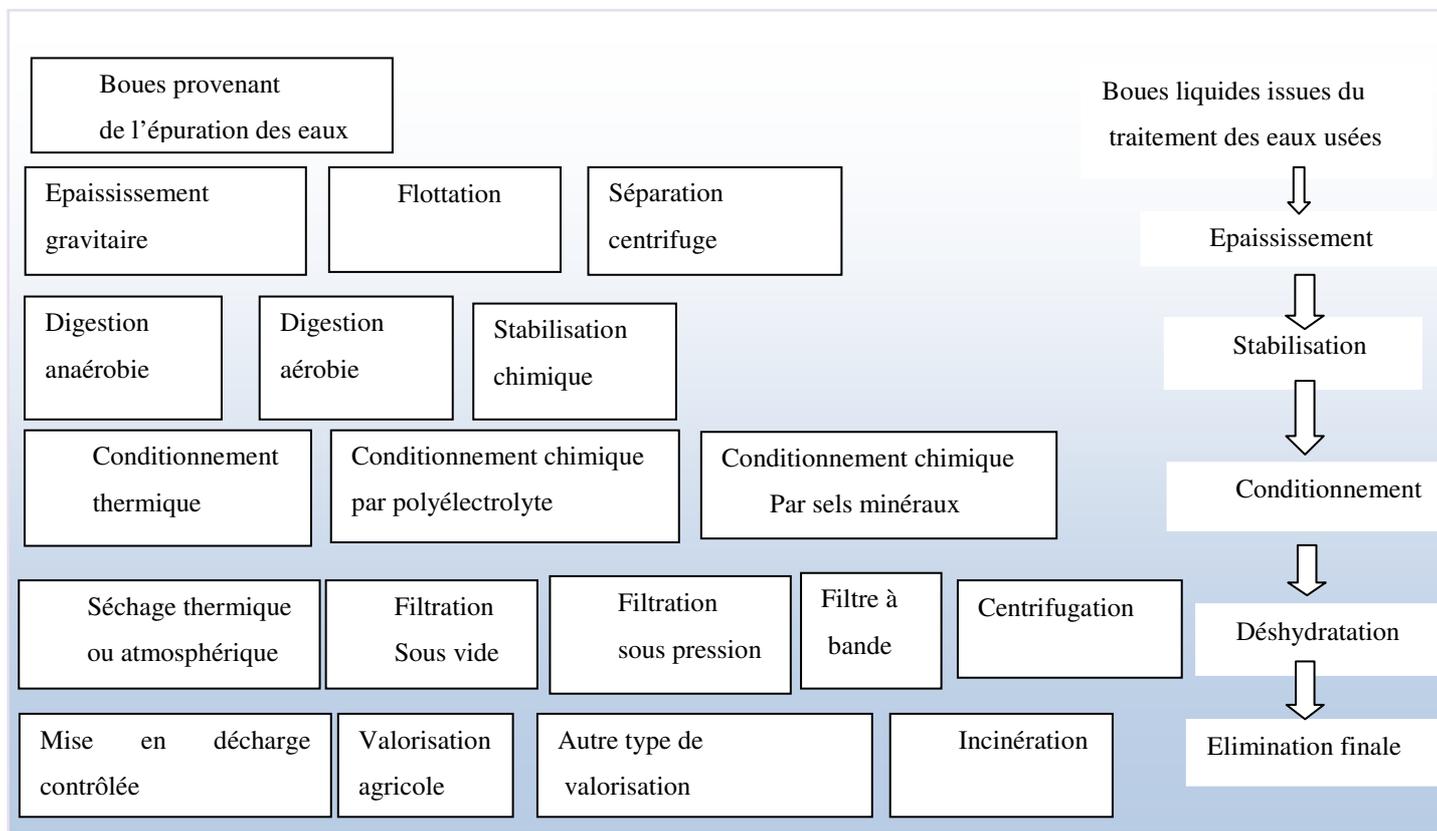


Figure II.3 : Filières de traitement des boues d'épuration

I.9.Conclusion

La synthèse bibliographique montre que les boues d'épuration sont considérées comme des déchets à cause de leurs teneurs en polluants et qu'un grand nombre d'études présentent des développements analytiques visant à réutiliser les boues d'épuration dans différents domaines.

Elle montre également que la mise en décharge et la valorisation agricole ne constituent pas des alternatives à long terme parce qu'elles peuvent poser des problèmes environnementaux et générer des inquiétudes sur les risques potentiels en matière de santé contrairement à la qui calcination permet non seulement de récupérer l'énergie générée par le processus mais aussi de valoriser les cendres.

Références bibliographiques

A.B.D. Ramdani, (2011). Biodégradation du résidu endogène de boues activées, thèse de doctorat, Université de Montréal.

A. Bouamrane, D. Chahidi ELOuazzani, L. Tiruta Barna, K. Mansouri, (2014). Valorisation des boues de papeterie comme matières premières secondaires dans les mortiers de ciment Portland : incidence des conditions d'incinération sur la résistance mécanique des mortiers (Valorization of paper mill sludge as a partial replacement of Portland cement in mortar: the impact of incineration conditions on the strength of mortars), J. Mater. Environ. Sci. 5 (2), 605-614.

Ademe, (1999). L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque, SFSP.

Ademe, (1999). Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris.

A. Damien,(2013) .Guide du traitement des déchets, dunod, Paris.

Ademe, (2001). Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris.

A. Dudkowski, (2000). L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA.

Cahiers Techniques d'Eau Service, (2010). Boues d'épuration, une énergie renouvelable et durable.

A. Guy, (2003). Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France. Office nationale d'assainissement (2004).

C. Chassande, J.M. Merillot, et J.Wiart, (2000). Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Dossier Ademe, Angers.

C. Tautzin, C. Juste, (1986). Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.

D.D. Mara,(1980). Sewage treatment in hot climates. Ed.John willey and sons.

- D. Lambkin**, S. Nortcliff, T. White, (2004). The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework *Trends in Analytical Chemistry*, 23, 10-11.
- D. P. Komilis**, R. K. Ham, R. Stegmann, (1999). The effect of municipal solid waste pretreatment on landfill behavior: a literature review. *Waste Management and Research*, 171, 10–19.
- E. Jarde**, (2002). Composition organique de boues résiduelles de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.
- G. Antonini**, (2000). Les procédés de valorisation thermique des boues, Actes Du Colloque. Quels Enjeux ? Quelles Solution ?, Pau, France.
- G. Ningbo**, L. Juanjuan, Q. Benyu, L. Aimin. D. Yue, W. Ze, (2014). Thermal analysis and products distribution of dried sewage sludge pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 105, 43–48.
- H. A. Simons**, (1994). Méthodes de gestion des boues générées par les fabriques des pâtes et papiers. Rapport Synthèse Gouvernement du Québec, Ministère de l'environnement et de la faune.
- H. Amadou**, (2007). Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur.
- K. Vaucher**, (2012). Valorisations des boues papetières et du peuplier hybride dans la fabrication de panneaux de fibres de moyenne densité (MDF). Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Canada.
- M. Merciecca**, (1984). Hygiène et sécurité du travail dans les stations d'épuration, 84.
- M. Murillo**, (2004). Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- M. O. Looser**, A. Parriaux, M. Bensimon, (1999). Landfill underground pollution detection and characterization using inorganic traces. *Water Research*, 33, 17, 3609-3616.
- Office International de l'Eau**, (2001).
- Office Nationale d'Assainissement**, (2004).
- P. Godin**, (1982). Sources de contamination et enjeux, Séminaire Eléments traces et pollution des sols , paris.

P. Kjeldsen, M. A. Barlaz, A. P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, T. H. Christensen, (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.* 32, 4, 297-336.

R. A. Kormanik, (1972). Estimating solids production for sludge handling *Water & Sewage Works*, 72-74.

R. Gourdon, (2001). Traitement biologique des déchets, *Techniques de l'Ingénieur*, traité Environnement G2.

S. Amir, M. Hafidi, (2001). Valorisation de boues de stations d'épuration des eaux usées par un bioprocédé aérobie "compostage", *Ann. Chim. Sci. Mat.* 26, S 409 – S 414.

S. Amir, (2005). Contribution a la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, thèse doctorat l'institut national polytechnique de Toulouse.

S. Karoune , (2008). Effets des boues résiduelles sur le développement des semis du chêne liège. Mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine.

www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.htm

Chapitre II

Matériels et méthodes

II.1. Introduction

Ce fait, ce chapitre décrit dans un premier temps la problématique, les échantillons de boues, la procédure d'échantillonnage ainsi que les techniques utilisées pour la détermination des différents paramètres physico-chimiques des boues prélevé. La deuxième partie représente l'étude de combustion des échantillons à différentes températures (500, 600,700, 800, 900 et 1000 °C) et la présentation la technique d'analyse utilisée pour la caractérisation des résidus de combustion (cendres) et puis leur caractérisation par Infra-rouge.

II.2. Problématiques

En fonction des critères clés qui permettront de savoir quelle filière répondra le mieux à nos priorités et nos objectifs :

Tout d'abord le domaine d'applicabilité du procédé donne une présélection de tous les procédés envisageables à partir des caractéristiques principales des boues les critères d'entrée :

- Les quantités annuelles des boues;
- La teneur en matière sèche ;
- La matière organique ;
- Valorisation agricole envisageable (contraintes réglementaires et normes) ;
- État de stabilisation ou hygiénisation ;

Ensuite d'autres aspects sont pris en compte des boues (minimalisation des coûts et des risques économiques, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux, problèmes spécifiques liés à la composition des boues pour un procédé donné, limitations des procédés, ...).

Pour prendre la caractérisation détaillée des boues afin de déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques est obligatoire. Dans cet égard, leur analyse est envisagée.

Cette analyse a été faite sur deux types de boues : une boue fraîche qui a été récupérée juste après le traitement des eaux, une deuxième qui est stockée pendant huit ans dans les lits du séchage.

Ces deux boues ont été prélevées afin de pouvoir suivre l'évolution de leurs caractéristiques physico-chimiques et pouvoir ainsi noter les changements dans leur état et la possibilité de leur valorisation.

II.3. Station d'épuration de Sour el ghoulane

II.3.1. Présentation du milieu d'étude

La station d'épuration (STEP) de Sour el ghoulane, se situe à la sortie nord de la ville de Bouira, avec une capacité d'épuration de 75000 EH, un volume journalier de 11367m³/jours.

Elle a été réalisée par la société Algéro-Tunisienne, mise en service en 2009 actuellement gérée et exploitée par l'Office National de l'Assainissement (ONA) et fait partie de l'unité d'assainissement de Bouira qui compte trois (03) STEP's : Oued housse, El khalaria et Sour el ghoulane.

La mise en place de ce système de management environnemental relatif l'assainissement a pour objectif la protection du milieu récepteur. En effet, la STEP de Sour el ghoulane est en charge de traiter les eaux usées de la ville de Sour el ghoulane et les eaux utilisées dans l'irrigation des terres agricoles des plateaux d'El Esnam et du Sahel. Les eaux usées urbaines et industrielles arrivant à cette station via un réseau d'assainissement unitaire, sont traitées biologiquement par boues activées.

La STEP est exploitée par l'Office National de l'Assainissement (ONA) depuis 2005. A noter que l'ONA a été créé en avril 2001 sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eau, qui est une entreprise publique nationale à caractère industriel et commercial, dont les principales missions sont : la gestion, l'exploitation et la maintenance des infrastructures d'épuration.



Figure II.1: Présentation de la STEP de Sour el ghoulane.

II.4.Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement des eaux usées arrivent dans une cuve en béton équipée par des pompes électrique immergées.

Un panier de protection retient les gros déchets pour protéger les pompes.

Plusieurs flotteurs vont régulariser le niveau d'eau dans la cuve, la remontée les flotteurs met en route les pompes, ces derniers sont munis de ventilateurs :

- ✓ Une échelle permet de descendre dans la cuve.
- ✓ L'alimentation électrique se trouve à l'extérieur de l'installation.
- ✓ Un tampon de fermeture assure la sécurité du dispositif.

Les eaux usées vont alors être aspirées et transférées par des tuyaux verticaux.

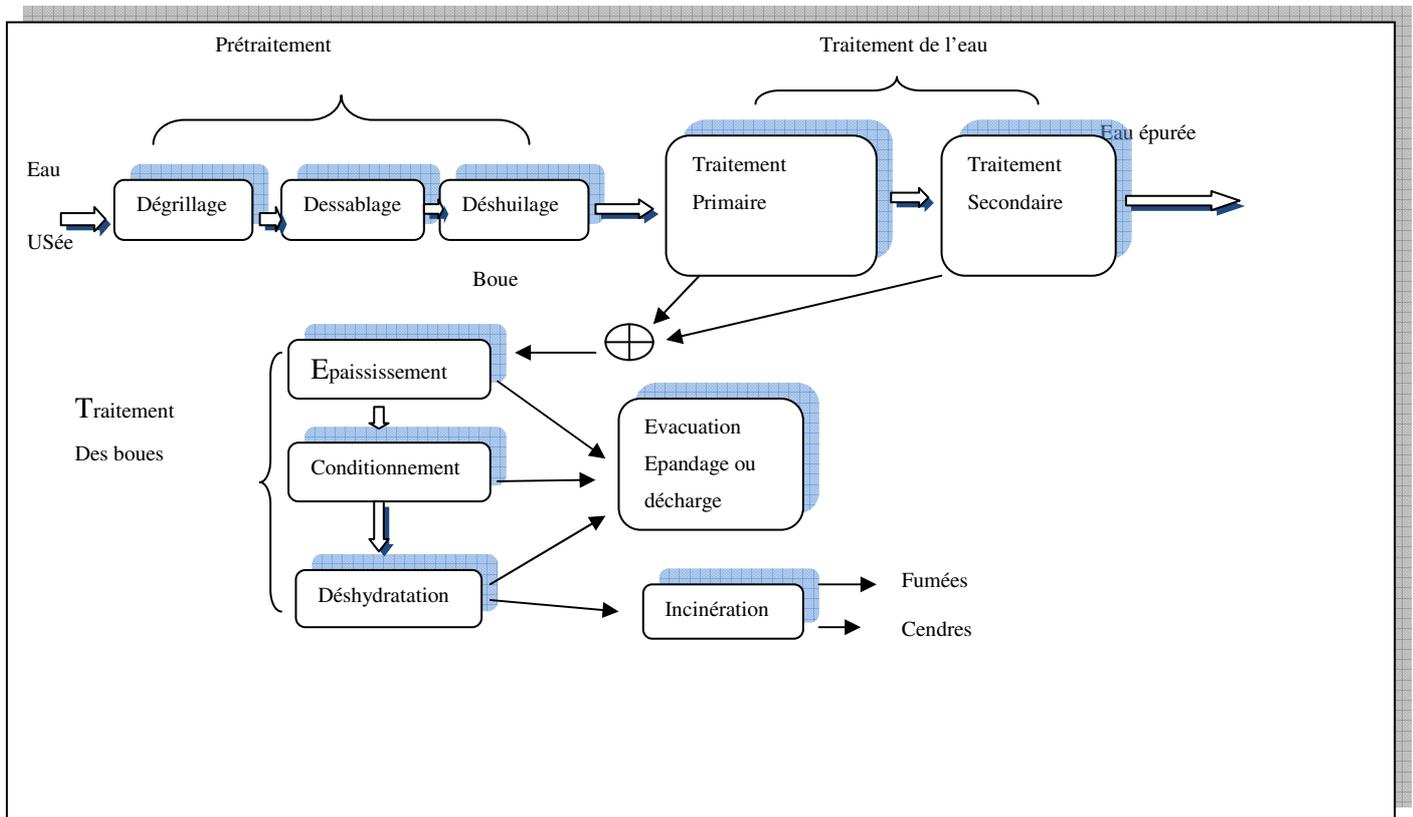


Figure II.2 : Schéma du processus de traitement des eaux usées dans la STEP de Sour el ghoulane (Bouira).

II.5. Échantillonnage (point, méthode et matériels de prélèvement)

Les boues étudiées dans ce travail proviennent de la STEP qui se situe au niveau Sour el ghoulane (Bouira). Il s'agit d'une station de traitement par boues activées à faible charge.

Les prélèvements ont été effectués manuellement et sont mis dans des boites en plastique pour la caractérisation. Les boues déshydratées sont recueillies à la sortie de la bande presseuse et le deuxième échantillon est prélevé du lit de séchage phase finale du traitement de boues on l'appelle boue du lit de séchage (BLS).

L'échantillonnage a été effectué manuellement à l'aide d'une pelle et un récipient en plastique



Déshydratation



lit de séchage

Figure II.3 : Images représentatives des lieux de prélèvement des boues



Boue déshydratée



Boue du lit de séchage

Figure II.4 : Images représentatives des formes des boues prélevées

II.6. Préparation des échantillons aux analyses

Les échantillons composites de boues sont collectés, puis séchés dans une étuve pendant 24 heures à 105°C puis broyés dans un mortier.

La première partie du travail expérimental consiste à caractériser les boues. Certains paramètres sont étudiés sur les boues fraîches puis sur les boues séchées.

Dans la seconde partie de ce mémoire les boues prélevées en mois de Juin, préalablement séchées et broyées, vont subir des traitements thermiques à différentes températures. Les échantillons traités seront caractérisés et comparés avec les boues séchées non traitées afin de suivre et de mieux comprendre les différents changements et transformations observés pendant le processus de combustion. La combustion est réalisée au laboratoire dans un four à moufle programmable dans des creusets en céramique de type Nabertherm HTC 03/15 380-415 3/N/PE.

Les boues sont calcinées à différents paliers de températures : 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 et 1200°C. La vitesse de montée en température à la température désirée est de 10°C/min. La durée de chaque palier est de 3 heures pour une calcination complète des échantillons. Ce temps a été choisi après avoir effectué plusieurs essais au laboratoire. L'objectif de la calcination à différentes températures est de déterminer la ou les températures optimales pour une valorisation.

Les boues séchées et broyées de départ se présentent sous forme de poudre de couleur grise alors que les boues calcinées ont des couleurs différentes figure II.5 et figure II.6. En effet au fur et à mesure que la température de combustion augmente les grains composant le matériau passe du gris-noir vers le brun-orangé jusqu'à ce qu'ils deviennent tous bruns-orangés, visuellement, à partir de 800°C. Ce changement de couleur vers l'orangé est dû principalement à la calcination des oxydes de fer (**C. Tribout, 2010**).

De plus, l'examen visuel montre que les grains formant les échantillons s'agglomèrent et la friabilité devient plus difficile par pression aux doigts avec l'élévation de la température. Ceci

est un début de frittage thermique engendré par la calcination. Cependant la température de combustion n'est pas suffisamment élevée pour une forte cohésion des agglomérats.

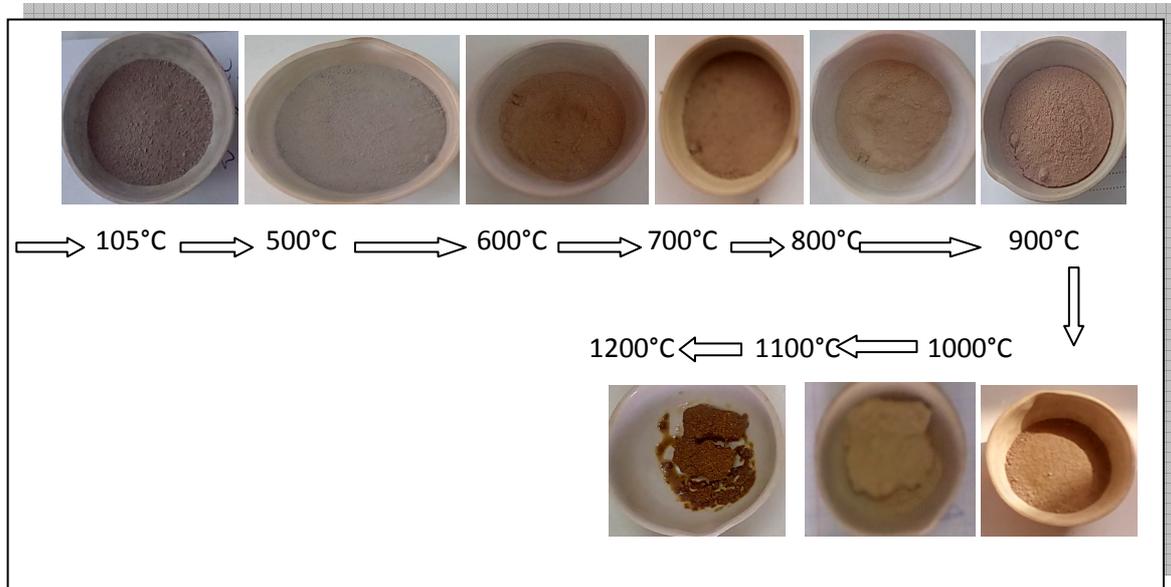


Figure II.5 : Aspect visuel des boues du lit de séchage séchées et calcinées.

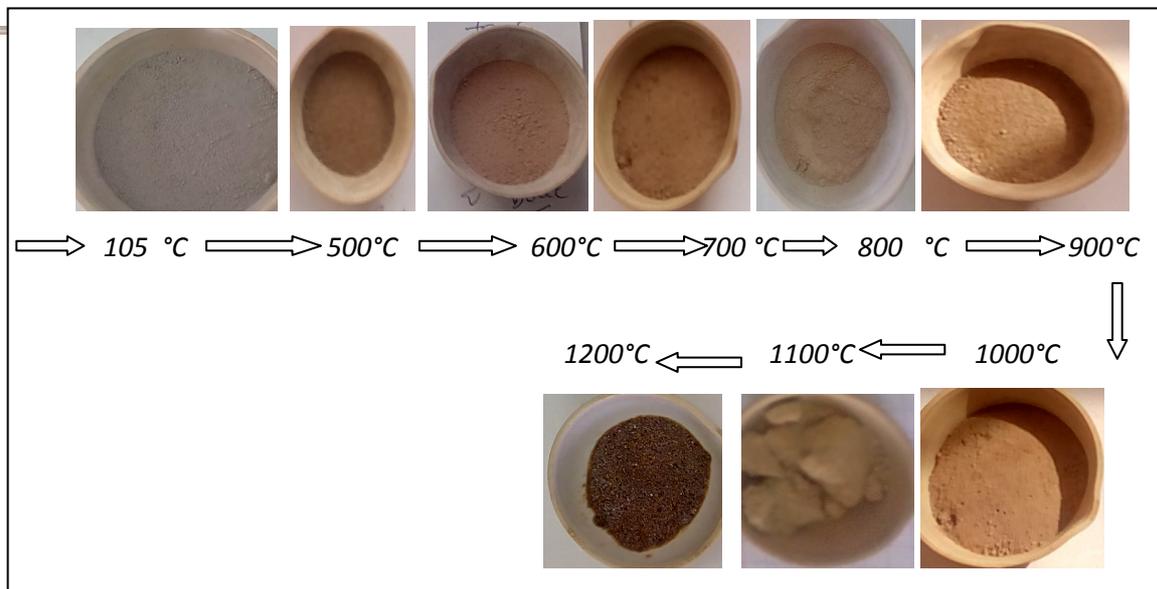


Figure II. 6. Aspect visuel de boues déshydratées séchées et calcinées

II.7. Caractérisation physico-chimique des boues

II.7.1. Caractérisation physique

II.7.1.1. Détermination du pH

Les mesures du pH sont effectuées en milieu aqueux conformément à la norme NF EN 12176 à l'aide d'un pH mètre de type OHAUS , STARTER 2100.

Une masse de 7,25 g de boues dans est dissoute dans de l'eau distillée jusqu'à obtention d'une masse totale égale à 150 g. Le pH est mesuré après 20 minutes d'agitation à température ambiante. L'expérience est répétée trois fois pour chaque échantillon.

II.7.1.2. Détermination de la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique constitue une approximation de la concentration des sels solubles présents dans un échantillon. Les mesures sont réalisées en solution, à l'aide d'un conductimètre de type COND 3110. On pèse 25g d'échantillon et on ajoute 100 ml d'eau distillée. Le mélange est agité pendant 40 min puis filtré et la conductivité électrique dans le filtrat obtenu est ensuite mesurée

Les essais sont effectués en triplicatas pour chaque échantillon.

II.7.1.3. Calcul d'humidité et/ou siccité (NF ISO 11465)

Le taux d'humidité est déterminé par dessiccation dans une étuve maintenue à 105°C jusqu'à ce que la masse devienne constante. La différence de masse correspond au taux d'humidité et le résidu représente la teneur en matière sèche de l'échantillon (siccité).

Pour déterminer le taux d'humidité, une prise d'échantillon d'une masse de 5 g, soit m_0 à l'aide d'une balance de marque Nahita avec précision de 0.0001 g, est mise dans un creuset en porcelaine préalablement sèche et taré p_0 , ensuite l'ensemble ($m_0 + m_1$) est placé dans une étuve de marque BINDER à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse m_2 constante. La capsule est pesée après refroidissement dans un dessiccateur soit le poids obtenu est m_0 . Le taux d'humidité est calculé selon l'expression suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = [(m_1 - m_0) - (m_2 - m_0)] / (m_1 - m_0) \times 100 \quad \dots \text{(II.1)}$$

- m_0 : masse de la capsule vide ;
- m_1 : masse de la capsule + masse des boues ;

- m_2 : masse de la capsule + masse des boues après séchage à l'étuve à 105°C pendant 2h.

II.7.1.4. Teneur en matière sèche (MS) et en eau

On a déterminé la masse volumique apparente (ρ_a), la masse volumique réelle (ρ_r) et la porosité (ϵ).

La masse volumique apparente d'un échantillon correspond à la masse volumique d'un volume de matériau pris en tas y compris tous les vides.

La masse volumique apparente est calculée selon la norme NF ISO 11272 par la mesure de la masse de l'échantillon sec contenu dans une éprouvette de 10 ml. Les valeurs sont obtenues par la relation suivante :

$$\rho_a = m_r - m_0 / V \quad \dots\dots\dots (II.2)$$

m_0 : masse de l'éprouvette (en g) ;

m_r : masse de l'éprouvette et la masse de l'échantillon mis en place (introduit dans l'éprouvette) ;

V : volume de l'éprouvette (en cm³).

La masse volumique réelle est le rapport de la masse par le volume occupé par le solide. Sa détermination se fait à l'aide un pycnomètre à eau conformément à la norme NF ISO 11508. Le principe de mesure repose sur la détermination de la différence de masse entre le volume de l'échantillon sec étudié et celui d'un fluide inerte (l'eau) dans lequel il est immergé.

Un échantillon sec de masse comprise entre 1 et 2 g est pesé et introduit dans un pycnomètre à demi plein d'eau. Le remplissage est complété avec de l'eau distillée et le pycnomètre est pesé. Enfin le pycnomètre est vidé, rempli seulement l'eau distillée puis pesé.

La masse volumique réelle est exprimée par l'équation suivante :

$$\rho_r = m_{ech} \times \rho_e / m_{ech} + m_2 - m_1 \dots\dots\dots (II.3)$$

m_{ech} : masse de l'échantillon sec (en g) ;

m_1 : masse du pycnomètre contenant l'échantillon et l'eau distillée (en g) ;

m_2 : masse du pycnomètre rempli d'eau uniquement ;

ρ_e : masse volumique de l'eau (en g/cm³).

La détermination des densités apparente et réelle permettent de déduire la porosité ε (en %) des échantillons étudiés selon l'équation II.4 (Chen et al, 2013, Gras, 1994).

$$\varepsilon(\%) = V_p / V_{\text{éch}} \times 100 = (1 - \rho_a / \rho_r) \times 100 \dots \dots \dots (\text{II.4})$$

V_p : volume des pores ;

$V_{\text{éch}}$: volume de l'échantillon ;

Les expériences effectuées pour la détermination des masses volumiques absolue et réelle sont répétées trois fois pour chaque échantillon et les valeurs moyennes sont ainsi déduites.

II.7.2. Caractérisation chimique

L'analyse de la composition chimique des boues nécessite leur minéralisation pour préparer une solution qui contient les différents éléments chimiques à analyser.

La minéralisation qui se fait par différentes méthodes qu'on spécifie selon l'objectif du manipulateur.

L'objectif de notre travail est l'analyse des boues. On veut déterminer la composition chimique des boues (principalement les métaux lourds), pour évaluer leur degré de pollution, de s'assurer de leur conformité pour une valorisation agricole ou pour la mise en décharge et à partir de là le choix d'une mise en solution douce avec l'eau régale qui ne libère pas nécessairement tous les éléments (les silicates, certains oxydes, par exemple).

II.7.2.1. Détermination du taux de la matière organique

On détermine le taux de matière organique avec le même échantillon séché (105°C) pour le calcul de l'humidité de masse en le calcinée dans le four à 550°C pendant 2 heures. On le laisse refroidir et on pèse pour obtenir une masse.

$$\text{MO} (\%) = (m_2 - m_1) \times 100 \dots \dots \dots (\text{II.5})$$

m_1 : masse du la capsule avec l'échantillon après séchage dans l'étuve à 105°C pendant 2h;

m_2 : masse du la capsule avec l'échantillon après 2h de chauffage à 550 °C.

II.7.2.2. Analyses chimiques en éléments traces métalliques (ETM)

L'essai de lixiviation consiste à mettre en contact, sous agitation

permanente et pendant 24 heures, l'échantillon à tester 50 g avec 500ml d'eau distillée.

La lixiviation a été réalisée conformément à la norme française X31-210. La solution a été séparée de la fraction solide résiduelle par filtration en utilisant un filtre de porosité de 0,45 μm . Les solutions obtenues serviront ensuite pour les analyses chimiques. La solution est analysée dans le spectromètre à absorption atomique de type (novAA350).

II.7.2. 3. Analyses spectrales

A. Analyse par Spectroscopie Infrarouge IR

Le rayonnement infrarouge (IR) fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Herschel. Ces radiations localisées au-delà des longueurs sont situées entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes. Le domaine infrarouge s'étend de 0,8 μm à 1000 μm .

Il est arbitrairement divisé en 3 catégories, le proche infrarouge (0,8 à 2,5 μm soit 12500-4000 cm^{-1}), le moyen infrarouge (2,5 à 25 μm soit 4000-400 cm^{-1}) et le lointain infrarouge (25 à 1000 μm soit 400-10 cm^{-1}).

Cette technique d'analyse qualitative permet d'identifier les fonctions chimiques, principalement organiques et les éléments mal cristallisés.

L'analyse infrarouge concerne les rayonnements de nombre d'ondes variant entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} . Elle est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. Le spectre obtenu se compose de bandes d'absorption correspondant aux différents modes de vibration dont la fréquence varie selon la nature des liaisons. Chaque bande d'absorption peut être attribuée à un plusieurs groupements caractéristiques. Les mesures par transformée de Fourier des absorbances permet d'effectuer le dosage à des teneurs et quantités de matières très faibles. Les différents montages disponibles permettent d'analyser pratiquement tout type de matériaux.

Nos échantillons ont été analysés par un spectroscope infrarouge à transformée de Fourier de type FT-IR de marque JASCO FT-IR -4200, ATR PRO450-S.

B. Analyse par Absorption atomique

La spectrométrie d'absorption atomique à flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'une analyse (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres.

L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse, d'un brûleur et un nébuliseur, d'un monochromateur et d'un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.

II.8. Détermination de la perte au feu (PAF)

La perte au feu est mesurée sur des échantillons de boues, préalablement séchés à 105°C pendant 2h et broyés, introduits dans un four à moufle à 1200°C pendant 1 heure. La pesée avant et après calcination permet de déterminer la perte au feu exprimée en pourcentage.

L'expérience est établie sur trois échantillons simultanément :

$$\text{PAF (\%)} = [(m_1 - m_2) / m_{\text{boue}}] * 100 \dots \dots \dots (\text{II.6})$$

m₁: masse de la capsule avec l'échantillon après séchage dans l'étuve à 105°C pendant 2h ;

m₂ : masse de la capsule avec l'échantillon après 1h dans le four à 1100 °C ;

m_{boue}: masse de l'échantillon utilisé.

Références bibliographiques

C. Tribout, (2010). Valorisation de sédiments traités en techniques routières : contribution à la mise en place d'un protocole d'acceptabilité, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse.

D. Louati, M. Choura, (2014). Traitement par stabilisation/solidification de boues à l'huile de forages pétroliers générés par la compagnie Agip BV Tunisie résultats, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, 37-50.

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Introduction

Dans le présent chapitre sont exposés les résultats des différents essais expérimentaux physico-chimiques, relatifs à la caractérisation des boues générées au niveau de la STEP de Sour el ghouzlane (Bouira). L'objectif est d'obtenir une meilleure connaissance des propriétés de ce type de déchet et de recueillir un maximum d'informations utiles permettant de leur identifier un traitement adéquat.

III.2. Résultats des analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques de la boue dans cette expérimentation ont été réalisées au niveau des laboratoires chimie de l'Université de Bouira. Le dosage des métaux lourds a été réalisé au niveau de laboratoire chimico-physique des matériaux inorganique à l'Université U.S.T.H.B Alger.

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques de la boue de la STEP sont illustrés dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Résultats des analyses physico-chimique des boues.

Paramètres	Boue déshydratée	Boue du lit de séchage
pH	7,45	7,07
Conductivité (mS/cm)	1,142	0,399
Conductivité (mS/cm) séchage à 105°C	2,03	0,91
Humidité (%)	48,538	13,533
Matière sèche (%)	50,92	86,40
Matière Volatile (%)	15,89	12,15
PAF (%)	10,15	48,76

D'après les résultats représentés dans le tableau III.1, les boues déshydratées et celles du lit de séchage ont un pH neutre.

La conductivité électrique est un bon indicateur de la concentration des sels solubles dans l'échantillon. Les mesures présentées sur le tableau III.1 montrent que la boue déshydratée présente des valeurs de conductivité électrique relativement faibles. Ce qui indique que la concentration des sels solubles est basse. Cependant après séchage des boues à 105°C ces valeurs deviennent plus importantes allant de 2,03 mS/cm pour la boue déshydratée et 0,91

mS/cm pour la boue du lit de séchage ce qui est en accord avec est les résultats trouvés pour les boues sèches étudiées par (Dusza et al, 2009) [0,1 - 4,3 mS/cm].

On constate aussi que la boue déshydratée contient un taux d'humidité beaucoup plus élevé à celui de la boue du lit de séchage, ce qui peut être expliqué par le fait que aux boues du lit de séchage sont exposées à une longue période d'ensoleillement surtout avec le climat semi-aride de Bouira qui accélère le phénomène d'évaporation et augmente la siccité ou bien la quantité de la matière sèche de la boue.

La teneur en matières volatiles permet d'indiquer le taux de matière organique contenu dans l'échantillon considéré. C'est un paramètre qui peut influencer sur le maintien des polluants et notamment des métaux lourds. En effet la rétention de ces derniers est favorisée par une teneur élevée en matières volatiles (Durand, 2003 ; F. Benoudjit, 2016). De plus la détermination de la proportion de la matière organique est primordiale pour une valorisation des boues dans les matériaux de construction.

D'après le tableau III.1 nous constatons des teneurs faibles en matière volatile pour la boue déshydratée et boue du lit de séchage respectivement est l'ordre 15.89 et 12.15 mS/cm. Ce paramètre nous renseigne sur l'exo-thermicité en incinération. En effet, la diminution de la teneur en matière organique augmente le degré de stabilité des boues et facilite leur épaissement ou leur déshydratation mais diminue leur exo-thermicité. Par contre, l'augmentation de la teneur en matière organique des échantillons engendre augmentation leur pouvoir calorifique jusqu'à 16500 KJ/kg (E. Guibelin, 2000). Ceci est avantageux pour la valorisation énergétique par incinération des boues.

Nous constatons aussi, une grande teneur en matière minérale dans la boue de lit séchage près de 48,76% par rapport à la boue de déshydratation qui est près de 10%.

III. 3. Résultats des analyses des éléments traces métalliques

Les métaux provenant d'apport anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes.

La présence des métaux lourds dans les boues provient de la phase de séparation liquide-solide par décantation due à la rétention par absorption de la matière organique, à la formation de complexe insoluble entre cette dernière et la formation minérale et à la précipitation d'hydroxyde métalliques (M.S. Mitahri, 2012).

L'analyse des éléments mineurs par spectrométrie d'absorption atomique permet de connaître le degré de pollution des boues. Les concentrations en éléments mineurs, exprimées en mg/kg de MS, dans les boues sont récapitulées sur le tableau III.2

Tableau III. 2 : Concentrations en métaux lourds des boues fraîches et des boues du lit de séchage de la station d'épuration Sour el ghozlane

Elements	Boue fraiche (mg/kg)	Boue de lit de séchage (mg/kg)
Cuivre (Cu)	3,1	2,64
Zinc (Zn)	89	145
Nikel (Ni)	7	3,2
Cadmium (Cd)	Trace	Trace
Plomb (Pb)	4,21	4,34

Pour préserver les teneurs naturelles du sol en éléments traces métalliques lors de l'utilisation de boues en agriculture de réglementation ont été mises en place et les valeurs limites dans les effluents solides et liquides sont consignées dans le tableau III.2.

L'examen des analyses effectuées concernant les métaux lourds sur les échantillons de boues de la STEP, ne révèlent pas aucune indication (menace de toxicité) par rapport aux normes (G. Miquel, 2003 ; M.S. Metahri, 2012).

L'utilisation de ces boues sur le sol serait avantageuse, car elle permet de lui apporter des quantités non négligeables en matières organiques et minérales (Ca, Mg, K, P).

Tableau III.3 : Teneurs et flux des éléments traces métalliques pour boues et pour sols (Adem, 1999)

Constituants	Valeur limites dans les boues (mg/Kg MS)	Valeur limites dans les sols (mg/Kg MS)
Cd	20	2
Cr	1000	150
Cu	1000	100
Hg	10	1
Ni	3000	300
Pb	20	2
Zn	3000	300

Zn+ Cr+ Cu+ Ni	4000	-
----------------	------	---

III.4. Etude de la valorisation agriculture des boues de la station d'épuration Sour el ghouzlane

Les résultats obtenus montrent que les boues étudiées dans ce travail contiennent des métaux lourds avec des teneurs inférieures aux valeurs maximales admises par la norme, ce qui rend la valorisation ou bien l'élimination de ces boues sans conséquence grave sur la santé humaine et l'environnement.

L'épandage des boues comme amendement organique ne présente donc aucune restriction quant à leur utilisation agricole.

La valorisation agricole peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimie (C, N, P,.....), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise également à ménager les ressources naturelles et à éviter toute pollution et gaspillage de matières organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les déchets qui nécessite des espaces de plus en plus importants (J.C. Baudez, 2010).

Les éléments traces métalliques tels que le Cuivre, Chrome, Zinc, Nickel, Cadmium présentes dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux.

La concentration en matière organique dans les boues peut varier de 30 à 80%. Elle est constituée de matières particuliers éliminés par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à19% de matières organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (Jus qu'à 33%, de matière organique) de la lignine résultant des traitement agricole demeure l'opération la plus pratique et la plus répandue dans de nombreux pays.

III.5. Perte au feu de la boue fraîche et de la boue de lit de séchage

La perte au feu à 1000°C permet non seulement l'oxydation de la matière organique mais aussi la décomposition de la calcite (CaCO_3) à 1000°C, en CaO et en CO_2 .

Les mesures des pertes au feu de la boue fraîche et la boue du lit de séchage sont regroupées sur le tableau III.4.

Les cendres sont issues de l'incinération (à différentes températures : 500, 600, 700, 800, 900, 1000et 1100°C) de la boue fraîche et la boue du lit de séchage. Pour calculer la perte

au feu de la boue à différentes températures, nous avons utilisé l'équation II.6. Le tableau III.4 montre les résultats de ces calculs.

Tableau III. 4 : Résultats de la perte au feu des boues incinérées à différentes températures

T (°C)	500	600	700	800	900	1000	1100
PAF boue fraîche (%)	45,95	46,18	48,18	49,22	49,48	52,23	52,49
PAF boue du lit de séchage (%)	40,156	42,55	44,313	45,419	45,971	46,041	47,34

Selon Wang et al, (2012) une haute teneur en matière organique supérieure à 40% indique que les boues fraîches et les boues du lit de sèches étudiées sont riches en matière organique et leur combustion est une source de production d'énergie qui peut être récupérée. Ceci constitue une bonne alternative dans le domaine du développement durable et qui permet une réduction du volume de ce déchet.

III.6. Masses volumiques apparentes, masses volumiques réelles et porosités

Les mesures des masses volumiques apparentes et réelles ainsi que des porosités relatives aux échantillons en poudres de boues sont reportées sur le tableau III.5.

Tableau III.5 : Mesures des masses volumiques et des porosités des boues

Echantillons	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	ε (%)
Boue fraîche	1	1,196	16
Boue du lit de séchage	1,092	1,314	16,9

Les masses volumiques apparentes 1g/cm³ pour la boue fraîche et 1,092g/cm³ pour la boue du lit de séchage et les masses volumiques réelles 1,196 g/cm³ pour la boue fraîche, 1,314 g/cm³ pour la boue du lit de séchage. Ces masses volumiques relativement faibles sont probablement dues à la présence de matière organique dans les boues séchées à 105C°.

La légère différence de ces valeurs entre les deux boues est probablement due à la différence

de composition des échantillons étudiés. Sur la base des masses volumiques obtenues, les porosités des boues calculées s'avèrent importantes et varient entre 16 % pour la boue fraîche, à 16, 9% pour la boue du lit de séchage.

III. 7. Analyse des cendres par Spectrométrie Infrarouge à transformée de Fourier (IR)

L'interprétation des spectres infrarouges s'avère complexe à cause du mélange de matière organique et de matière minérale qui rentre dans la composition des boues. L'interprétation a été établie grâce à des analyses similaires dans des travaux antérieurs (J. O. Silva et al, 2012 ; O. Francioso et al., 2010 ; G. Guibaud et al., 2003 ; V. C. Farmer, 1968). En tenant compte de l'origine urbaine des boues étudiées et de leur teneur non négligeable en matières organiques, elles peuvent contenir différents groupements fonctionnels : hydroxyliques, carboxyliques, amines, amides, aromatiques et méthyléniques (J. Ábrego et al, 2009).

Selon la figure III.1 les spectres IR obtenus pour la boue du lit de séchage séchée à 105°C, calcinée à 600°C et 800°C indiquent la présence des bandes de vibrations analogues. En effet, les bandes situées à 476 et 1015 cm^{-1} ont été attribuée selon la littérature (A. Banerjee, 2009), à la vibration des liaisons dans les oxydes Métal-Oxygène (M-O) dont le pic de vibration devient intense de plus en plus lorsque la température de calcination augmente. Les bandes observées à 1234 et 1398 cm^{-1} caractéristiques de la vibration des liaisons dans les carbonates CO_3^{2-} de la calcite (A. Bouamrane, 2014) et celle observée à 2282 cm^{-1} caractérise la présence des vibrations d'élongation des groupements CO_2 provenant probablement de l'air. En plus de ces bandes, la bande de vibration situées à 2908 est attribuée selon la littérature (A. Bouamrane, 2014) à la vibration des liaisons dans la cellulose ($\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$) et la lignine $[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCH}_3) \text{C}_3\text{H}_6\text{O}]_n$ qui sont des matières organiques, les bandes observées à 3651 et 3846 cm^{-1} indiquent la présence des groupements $-\text{OH}$ isolés et/ou terminaux.

Il est très important de signaler ici que la bande de vibration située à 2908 cm^{-1} n'a pas été apparue sur les spectres de la boue du lit de séchage calcinée à 600°C et 800°C et ceci à cause de la combustion de la matière organique à ces deux températures.

De plus ; l'augmentation de l'intensité des pics de vibration relatifs aux oxydes avec la calcination de

la boue du lit de séchage (vers 476 et 1015 cm^{-1}), nous informe sur une éventuelle valorisation de la cendre cette boue dans le domaine de l'élaboration des matériaux.

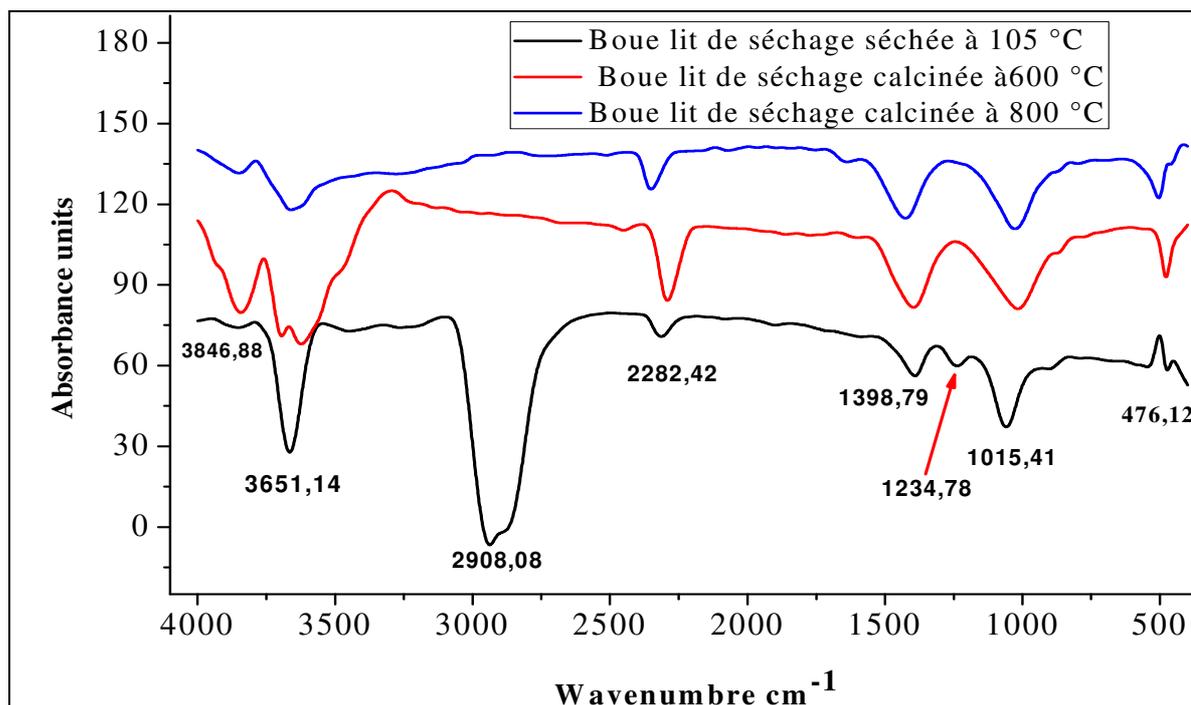


Figure III.1 : Spectre infrarouge des boues du lit de séchage

Les spectres IR-TF figure III. 1 obtenus pour la boue déshydratée séchée à 105°C, calcinée à 600°C et 800° présentent relativement les mêmes bandes d'absorption que la boue du lit de séchage à l'exception de la bande observé entre 3000 et 3600 cm^{-1} qui est une bande large et ceci chose logique vu le taux d'humidité qui existe dans cette dernière.

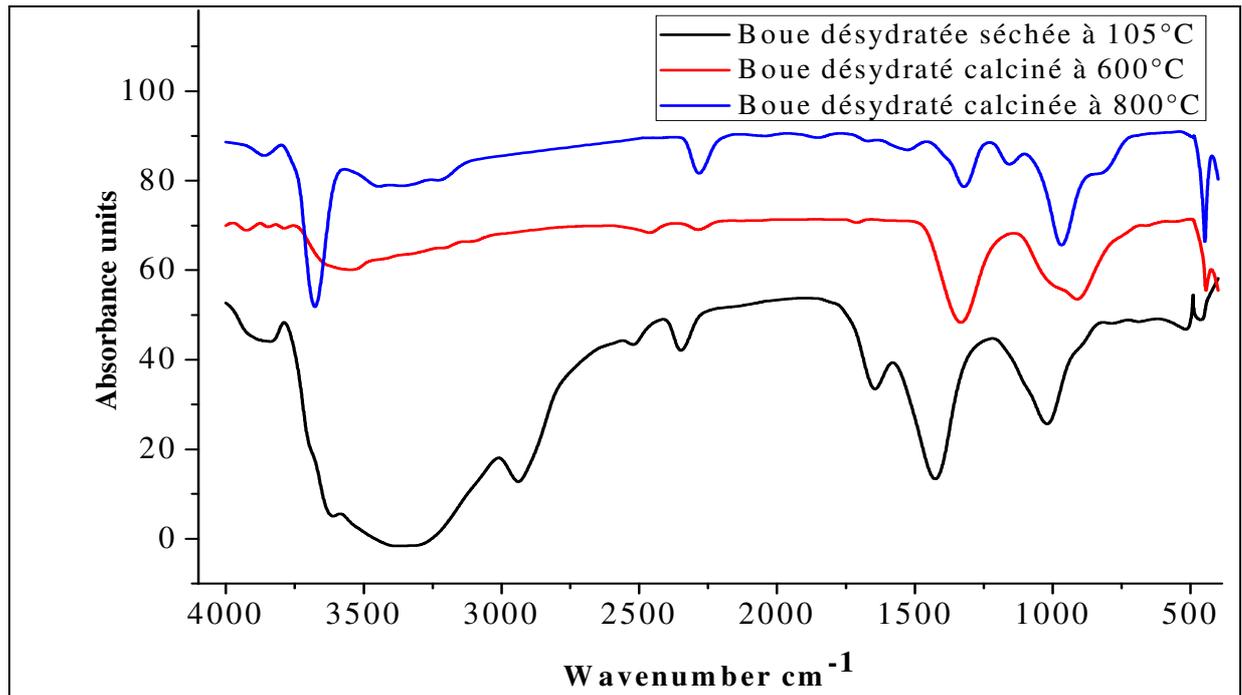


Figure III.1 : Spectre infrarouge des boues déshydraté

III. 7. Conclusion

Les quantités des boues produites sont en augmentation continue suite à la réglementation relative aux normes de rejet des eaux usées, qui exige un traitement de plus en plus poussé. Par ailleurs, leur élimination constitue un enjeu national qui doit faire face à des problèmes de plus en plus aigus en raison de l'évolution des législations. L'un des principaux problèmes est la présence de métaux qui réduit les voies d'élimination et impose des contraintes supplémentaires en termes d'exploitation et des risques sanitaires et environnementaux.

Nous avons caractérisé les boues résiduaire de la STEP Sour el Ghozlane (Bouira). Les résultats ont montré que les concentrations en métaux lourds sont inférieures aux normes requises ; par conséquent elles présentent aucune limite ou nuisance pour utilisation agricole.

La réduction à la source des rejets où des entrées de micropolluants dans le réseau d'assainissement représente l'approche essentielle à privilégier pour préserver la qualité des boues et garantir la diminution des risques sanitaires et environnementaux des différentes filières d'élimination des boues urbaines.

Références bibliographiques

- C. Durand**, (2003). Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques, thèse de Doctorat, Université de Poitiers.
- E. Dusza**, Z. Zablocki, B. Mieszczerykowska-Wojcikowska, (2009). Content of magnesium and other fertilizer compounds in stabilized and dewatered sewage sludge from the municipal sewage treatment plant in Recz. *Journal of Elementology*, 14(1), 63-70.
- E. Guibelin**, (2000). Lutte contre la pollution des eaux – Elimination finale des boues d'épuration, *Techniques de l'ingénieur*, Dossier : G1451.
- G. Guibaud**, N.Tixier, A. Bouju, M. Baudu,(2003). Relation between extracellular polymers composition and its ability to complex Cd, Cu and Pb. *Chemosphere*, 52, 1701-1710.
- G. Miquel**, (2003). La qualité de l'eau et l'assainissement en trace, ed sénat, 254-256, 291.
- J. Ábrego**, J. Arauzo, J. L. Sanchez, A. Gonzalo, T. Cordero, J. Rodríguez-Mirasol, (2009). Structural changes of sewage sludge char during fixed-bed pyrolysis. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48, 3211-3221.
- J.C. Baudez**, P. Coussot, F. Thirion, (2010). Rhéologie des boues de stations d'épuration : études préliminaires pour la maîtrise des stockages et épandages, *Ingénieries - E A T*, 1998, 33 - 46.
- J. O. Silva**, G. R. Filho, C. S. Meireles, S. D. Ribeiro, J. G. Vieira , C. V. da Silva, D. A. Cerqueira, (2012). Thermal analysis and FTIR studies of sewage sludge produced in treatment plants. The case of sludge in the city of Uberlândia-MG. Brazil. *Thermochimica Acta*. 528, 72-75.
- M.S. Metahri**, (2003). Contribution à la valorisation agricole des boues résiduelles de la station d'épuration est de Tizi-Ouzou, thèse d'ingénieur.
- M.S. Metahri**, (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée phosphatée des eaux usées traitées, par de procédés mixtes cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou, thèse doctorat.
- O. Francioso**, M. T. Rodriguez-Estrada, D. Montecchio, C. Salomoni, A. Caputo, D. Palenzona,(2010). Chemical characterization of municipal wastewater sludges produced by two-phase anaerobic digestion for biogas production. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 740-746.

V. C., **Farmer**,(1963). Invited review: Infrared spectroscopy in clay mineral studies. *Clay Minerals*, 7, 1968, 373-387.

Conclusion

Conclusion générale

Lors de la réalisation de ce mémoire de fin d'études, nous avons pris conscience de l'importance de la station d'épuration Sour el ghoulane (Bouira) qui a pour objectif d'épurer les eaux usées (domestiques industrielle et agricole) pour qu'elles ne soient pas directement rejetées dans le milieu récepteur, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Par contre, cette stations génère un autre déchet (boue), riche en huile usagée de nature toxique et ne peut être ni stockée, ni mise en décharge. La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de la station d'épuration.

Les boues sont très riches en matière organique (50 à 70 % de la matière sèche), ce qui favorise la prolifération de microorganismes qui se multiplient et décomposent la matière organique. En absence d'une aération suffisante, la décomposition libère des composés organiques nauséabonds, ainsi que des gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane, . . .etc.).

Le traitement thermique des boues vise l'étude de l'influence de la température sur la composition des boues dans leurs teneurs en matière organique. Sachant que cette dernière peut influencer négativement sur l'agriculture, il a été décidé de l'éliminer par calcination. Les boues préalablement séchées ont de ce fait subi un traitement thermique (calcination) à partir de 500°C. Afin de s'assurer de la dégradation de la matière organique, on a calciné des boues jusqu'à 1100°C pour déterminer la température optimale permettant une valorisation adéquate. Les analyses physico-chimiques de ces dernières ont donné les résultats suivants :

- ✓ Réduction considérable du volume des boues après calcination due principalement à la dégradation de la matière organique dont la teneur est non négligeable (>40%).
- ✓ L'étude de La composition de la boue en métaux lourds a montré que leur concentration est inférieure aux valeurs limites. Autrement dit, ces éléments se trouvent à l'état de traces dans ces boues rejetées, ce qui permet leur valorisation en agriculture sans risque sur l'environnement, et notamment sur la santé humaine.
- ✓ L'analyse des paramètres physico-chimiques des boues on montré que les boues stockées sont les plus favorables pour la valorisation énergétique et agricoles par rapport à celles obtenues directement après le traitement des eaux usées et celles envoyées à la décharge.

Conclusion générale

La valorisation des boues de STEP Sour el ghoulane est encouragée d'après ces premières analyses, mais elle nécessite d'autres analyses plus détaillées pour les boues ainsi que pour les sols de culture. Il faut trouver des solutions en ce qui concerne les contraintes réglementaires et juridiques qui par la quasi-absence d'une loi encadrant la gestion des boues de STEP en général et des textes fixant les modalités de leur utilisation dans tout domaine risque d'être la plus grande contrainte devant cette valorisation. En plus de ces contraintes, il ya les contraintes techniques et économiques qui exigent un matériel et des techniques spécifiques pour pouvoir suivre les changements des caractéristiques de ces boues durant le temps et en fonction de plusieurs facteurs.

✓ L'analyse par la FTIR des cendres issues de l'incinération des boues du lit de séchage et des boues déshydratés à différentes températures, a révélé la présence de phases différentes lorsqu'on passe d'une température d'incinération à une autre, ceci est bien clair par la décomposition de la calcite en CO_2 et CaO qui se combine avec d'autres phases pour former de nouvelles phases à partir de 800°C .

Perspectives

- Réaliser des analyses DRX, fluorescence X, microbiologique et parasitologique de ces boues.
- Effectuer des analyses des sols afin de fixer les conseils de fertilisation.

Tableau 1 : Résultats des analyses physico-chimique des boues

Ce tableau présente les paramètres physico –chimiques des boues. Chaque analyse a été effectuée (trois fois) pour la boue fraiche et la boue de lit de séchage. Les valeurs de chaque essai, ainsi que leur valeur moyenne sont portées comme suit :

Echantillons	Boues fraiches			Moyennes	Boues du lit de séchage			Moyennes
H%	47.08	48.67	49.85	48.53	11.52	13.42	15.66	13.53
S%	51.32	51.32	50.14	50.92	88.47	86.42	84.33	86.40
MO%	16.14	15.78	15.76	15.89	12.07	11.95	12.45	12.15
Ce	1.127	1.303	0.983	1.137	0.423	0.304	0.471	0.399
pH	7.36	7.42	7.58	7.45	7.06	6.92	7.24	7.07
M_a	1	1	1	1	1.092	1.092	1.093	1.092
Pr	1.196	1.196	1.196	1.196	1.314	1.314	1.314	1.314
ε	16	16	16	16	16.9	16.9	16.9	16.9

Courbes d'étalonnages

1/ Une solution on dissous de nickel d'une concentration 2,2ppm a été préparée par dissolution 10, 0495g de NiNO₃ dans 100ml d'eau distillée. Ensuite, des dilutions ont été faites pour obtenir deux autres solutions de concentrations 1,2 et 1 ppm.

2/ Une solution on dissous de plomb d'une concentration 3 ppm a été préparée par dissolution 0.0146 g pb SO₄ dans 100ml d'eau distillée. Ensuite, des dilutions ont été faites pour obtenir deux autres solutions de concentrations de 2et 1 ppm.

