

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologies

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement

Thème

*Caractéristiques
Physico-Chimique des Boues d'épuration*

Par :

ABDELBAKI Yakout

OULAD SIDI OMAR Ghazala

Jury :

M.^{me} MOULAY Karroumia

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Encadreur

M.^{me} BOUAMEUR Kheira

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Examinatrice

Année universitaire 2013/2014

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos sincères remerciements et nos profondes reconnaissances à notre encadreur Mme. (Moulai K), pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos remerciements s'étendent également à Mr. (BENADDA Lotfi) pour ses bonnes explications, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer. et sa collaboration avec nous dans l'accomplissement de ce modeste travail

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences et Technologiques, et particulièrement Hydraulique pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

A BENADDA, OULED BELKHEIR, MECHRI, DAHEUR, BOUBELLI, MOULAI, BOUAMEUR ET AMIEUR

Et le chef de département M.Hadj Said .A

Nous remercions aussi l'ensemble les personnes de l'unité de l'(ADE) pour l'excellent accueil, les conseils avisés et la bonne humeur partagée autour d'une partie de pétanque,

Nous remercions tout particulièrement notre deux responsables de stage de mémoire : Mr (Makhlouf), et M^{elle} (Safaa) pour m'avoir accueilli dans leur service, pour leurs disponibilités et pour leurs conseils.

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Nous remercions enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

YAKOUT ET GHAZALA

DEDICACES

Avec tout mon amour éternel et avec

l'intensité de mes émotions

Je dédie ce mémoire

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour*

me voir réussir, à toi

.mon père

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de
mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore*

*Ce travail n'est que le fruit de votre soutien, de votre encouragement répéter, de votre prière, de votre amour
.profond. Je souhaite que ce mémoire vous apporte la joie*

*Tous les mots que je pourrais utiliser seraient insuffisants pour vous témoigner l'amour que je vous
.porter*

.Que DIEU vous préserve et vous prête longue vie de joie

; A mes belles sœurs et leurs fils et filles

.Pour votre sympathie, douceur et gentillesse

*Je vous souhaiterai beaucoup de succès, de courage et de bonheur tant professionnel que familial. Je vous
.dédie ce travail en témoignage de mon affection et de mon amour incessant*

.Que DIEU vous procure santé, joie et longue vie

A mes frères ; ses femmes et leurs filles et fils :

.Je vous remercie tous pour votre gentillesse, dans les moments les plus difficiles

.Je vous souhaite une vie prospère, pleine d'amour et de joie, que la vie ne puisse jamais nous séparer

A mon frère Mohammed et sa fiancée

Que je vous souhaite une belle vie pleine de joie et de bonheur

A mes sœur de cœur : Nadia et Soumia

*A mon binôme GHAZALA pour son amitié, et l'aide précieuse qu'il m'a apporté tout au long de ce
.travail*

*A toi, auprès de qui j'ai appris le sacrifice, la générosité, qui m'a aidé et encouragé aux moments
.opportuns*

A mes Amies :

Dalila ; Souad ; Selma ; Khadidja ; Souad

Et mes collègues de promotion d'Hydraulique de 2013/2014

*Pour tous les moments inoubliables qu'on a passés ensemble, Je vous souhaite une vie pleine du succès et
joie*

YAKOUT

DEDICACES

ma mère et mon père, qui m'ont comblé de leur soutien et m'ont voué un amour inconditionnel. Vous êtes pour moi un exemple de courage et de sacrifice continu, que cet humble travail témoigne mon affection, mon éternel attachement et qu'il appelle sur moi votre continuelle bénédiction.

Que ce modeste travail, soit l'exaucement de vos vœux tant formulés et de Vos prières quotidiennes.

Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à
Mon frère et mes sœurs*

A leurs fils et filles

Pour tout l'amour dont vous m'avez entouré, pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Vous occupez une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.

A mon fiancé ;

Que ce modeste travail, soit pour vous une petite compensation et reconnaissance envers ce que vous avez fait d'incroyable pour moi.

A mes très chers ami(e)s

En témoignage de l'amitié sincère qui nous a liées et des bons moments passés ensemble. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux et plein de bonnes promesses.

A Aïcha ; Messouda ; Safia ; Amara ; Fadila ; Zineb

A mon binôme Yakout ;

En souvenir des bons moments et des nuits blanches.

En souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble **GHAZALA**

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE02

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES EAUX USEES

I.1 Le rôle d'assainissement04

I.1.1. Les eaux usées04

I.1.1.1. Les eaux usées domestiques.....05

I.1.1.2. Les eaux industrielles05

I.1. 1.3. Les eaux pluviales.....06

I.2 Traitement des eaux usées.....06

I.2.1 Prétraitement07

I.1.2 Traitement primaire07

I.2.3 Traitement secondaire08

I.2.4. Traitement tertiaire08

I.2.5. Traitement biologique09

CHAPITRE II : LES BOUES

II.1 Classification des boues.....12

II.2 Qualité des boues.....15

II.3 Composition des boues.....15

II.3.1 Matière organique.....16

II.3.2 Eléments fertilisants et amendements.....16

II.3.3 Contaminants chimiques inorganiques et organiques.....	17
II.3.4 Les micro-organismes pathogènes	18
II.4 Nature des boues.....	18
II.4.1 Facteurs caractérisant la nature des boues.....	18
II.4.1.1 Concentration en Matière Sèche.....	18
II.4.1.2 Teneur en matière volatile.....	19
II.4.1.3 Composition élémentaire pondérale.....	19
II.4.1.4 Composition de l'eau interstitielle.....	19
II.4.1.4.1 Facteurs caractérisant la structure des boues.....	19
❖ Viscosité apparente le rapport.....	19
II.4.1.4. 2 Nature de l'eau contenant dans les boues.....	20
II.4.5 Analyse des boues.....	21
II.4.5.1 Les paramètre organo-liptiques	21
II.4.5.2 Les paramètres physico-chimiques.....	21
II.4.5.3 Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les boues destinées à l'utilisation en agriculture.....	22
II.5 Valorisation des boues	22
II.5.1 Compostage.....	22
II.5.2 Epannage	23
II.6 Utilisation agricole des boues	23

CHAPITRE III : MATERIELLES ET METHODES

III.1 La situation de STEP d'ELATTEUF.....	25
III.2 Le prélèvement d'un échantillon.....	26

III.3 L'analyse des boues.....	27
III.3.1 Les paramètres physico-chimiques	27
III.3.1.1 Le pH.....	27
III.3.1.2 La conductivité.....	27
III.3.1.3 La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	28
III.3.1.4 Les matières en suspension (MES)	29
III.3.1.5 Les Matières Organiques : MO.....	30
III.3.1.6 Les Matières Minérales : MM.....	30
III.3.1.7 Les composés phosphorés	31
III.3.1.8 Les matières azotées	32
III.3.1.8.1 Ammonium NH ₄	33
III.3.1.8.2 Nitrite NO ₂	33
III.3.1.8.3 Nitrate NO ₃	34
III.3.1.9 Le Titre Alcalimétrique Complet TAC	35
III.3.1.10 Dosage de Sulfate SO ₄	36
III.3.1.11 Dosage de K ⁺ et Na ⁺	37
• Spectroscopie à flamme.....	37
III.3.1.12 Dosage de Chlorure Cl ⁻	38
III.3.1.13 Dosage de Ca ⁺	39

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction.....	42
IV.1 Les résultats des paramètres analysés.....	43
IV.2 Résultat de DBO ₅	44
IV.3 Discussion.....	44
CONCLUSION GENERALE.....	47

ANNEXES

Annexe I.....	49
Annexe II.....	50
Annexe III.....	50
Références bibliographiques.....	64

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau II.1 : Caractéristiques des boues en fonction de la siccité et de certaines propriétés

Tableau II.2 : Caractéristiques des boues en fonction de leur origine et traitement

Tableau II. 3 : Production de boues en traitement d'ERU.

Tableau II.4 Les paramètres physico-chimiques

Tableau II. 5 : Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les boues

Tableau IV.1 : Résultats des paramètres d'analyse.

Tableau IV.2 : Résultat de DBO₅

LISTE DES FIGURES

Figure II.1. Les étapes de traitement des eaux usées

Figure II.1 : les compositions des boues.

Figure III.1: la step d'épuration d'ATTEUF

Figure III.2 : le bassin anaérobie

Figure III.3 : l'échantillon

Figure III.4 : pH-mètre

Figure III. 5 : conductimètre

Figure III.6 : La DBO₅ mètre

Figure III.7:étuve de calcination

Figure III.8 : échantillon à analyser

Figure III.9 : échantillon à analyser

Figure III.10 : spectrophotomètre UV

Figure III .11: Titrage de solution par HCl

Figure III.12 : résultat de titrage

Figure III.13 : spectrophotomètre à flamme

Figure III.14 : titrage de chlorure par AgNO₃

Figure III.15 : résultat de titrage

Figure III.16 : titrage de solution par l'EDTA

LISTE DES ABREVIATIONS

Step : Station d'épuration

UV : Ultra Violet

MS : Matière Sèche

ER : Eaux Résiduaires

ERU : Eaux Résiduaires Usées

MES : Matières En Suspension

DP : Décanteur Primaire

Dig. An : Digesteur Anaérobie

L.B : Lit Bactérien

BA : Boues Activées

MV : Matières Volatiles

MO : Matière Organique

MM : Matière Minérale

°C : Degré Celsius

µS : Micro Siémens

DCO : Demande Chimique de l'Oxygène

DBO : Demande Biologique de l'Oxygène

pH : potentiel d'Hydrogène

AFNOR : Association Française de NORmalisation

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TA : Titre Alcalimétrique

TH : Titre Hydrométrique

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique

ADE : Algérienne Des Eaux

ADEME : Agence de l'environnement et la Maîtrise de l'Energie, France

Introduction générale

L'assainissement des eaux usées est devenu au cours de ces dernières années un enjeu considérable pour les sociétés actuelles ; d'une part pour assurer un service de l'eau visant la collecte et l'épuration des eaux usées ainsi que l'approvisionnement en eau potable et d'autre part, pour protéger l'eau en tant que patrimoine naturel. En parallèle s'est développé un problème tout aussi important : La gestion des boues d'épuration. En effet, le traitement des eaux usées génère un sous-produit appelé « boues », issu des différentes étapes d'épuration.

Les volumes des boues d'épuration enregistrent une forte croissance liée à l'augmentation de la quantité d'eaux usées à traiter, les réseaux de collecte s'étant, en effet, améliorés ; la législation également se durcit, rehaussant constamment les niveaux de traitement, générant ainsi une quantité de sous-produit plus importante qu'auparavant.

Les éléments polluants et leurs produits de transformation retirés de la phase liquide au cours de tout traitement d'eau, quelle qu'en soit la nature, se trouvent finalement rassemblés dans la très grande majorité des cas dans des suspensions plus ou moins concentrées dénommées "boues":

Le caractère commun de toutes ces boues est de constituer un déchet encore très liquide, de valeur généralement faible ou nulle. Certaines d'entre elles sont chimiquement inertes, mais celles qui proviennent de traitements biologiques sont souvent fermentescibles et nauséabondes.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées.

En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduelles qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

I.1 Rôle de l'assainissement :

L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie. C'est dans la détérioration de leur qualité que réside le risque. Trop polluées, nos réserves d'eau pourraient ne plus être utilisables pour produire de l'eau potable, sinon à des coûts très élevés, du fait de la sophistication et de la complexité des techniques à mettre en œuvre pour en restaurer la qualité. C'est pourquoi il faut "nettoyer" les eaux usées pour limiter le plus possible la pollution. Dans toutes les agglomérations de plus de 2 000 habitants, les eaux usées rejetées par les utilisateurs devront être traitées dans des stations d'épuration. Tout le monde est concerné, puisque même ceux qui ne dépendront pas d'un réseau d'assainissement collectif devront disposer d'un système d'assainissement autonome.

Autrement dit ; L'assainissement des eaux usées a pour objectif de collecter puis d'épurer les eaux usées avant de les rejeter dans le milieu naturel, afin de les débarrasser de la pollution dont elles sont chargées.

I.1.1 Les eaux usées :

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées dont les propriétés naturelles sont transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres.

On distingue trois grandes catégories des eaux usées : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux pluviales.

I.1.1.1 Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- de 70 à 90 g de matières en suspension
- de 60 à 70 g de matières organiques
- de 15 à 17 g de matières azotées
- phosphore 4 g
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml.

I.1.1.2 Les eaux industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

I.1.1.3 Les eaux pluviales :

Elles peuvent, elles aussi, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles d'épuration, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques. En cas de fortes

précipitations, les contraintes de préservation des installations d'épuration peuvent imposer un déversement ("délestage") de ce "mélange" très pollué dans le milieu naturel. Enfin, dans les zones urbaines, les surfaces construites rendent les sols imperméables et ajoutent le risque d'inondation à celui de la pollution

I.2 Traitement des eaux usées

Les cours d'eau ont une capacité naturelle d'épuration. Mais cette capacité a pour effet de consommer l'oxygène de la rivière et n'est pas sans conséquences sur la faune et la flore aquatiques. Lorsque l'importance du rejet excède la capacité d'autoépuration de la rivière, la détérioration de l'environnement peut être durable. Les zones privées d'oxygène par la pollution entraînent la mort de la faune et de la flore ou créent des barrières infranchissables empêchant notamment la migration des poissons. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est-à-dire la prolifération d'algues qui nuisent à la faune aquatique, peuvent rendre la baignade dangereuse et perturbent la production d'eau potable.

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étape faisant appel à des traitements physique, physico chimiques et biologique. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure mis en œuvre, trois niveaux de traitement sont définis, présentées ci-dessous, le prétraitement, les traitements primaires et secondaires parfois suivis par un quatrième niveau de traitement, appelé traitement tertiaire.

Ainsi, à la sortie de la station il en résulte d'une part une eau épurée rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduaires (Werther et Ogada, 1999) [1].

I.2.1 Prétraitement

Après collecte et acheminement vers les stations d'épuration, le processus d'épuration des eaux usées peut débuter. A ce stade, elles contiennent de nombreuses matières très hétérogènes, grossières, et potentiellement dangereuses pour les machines. La première étape de traitement consiste en un prétraitement visant à éliminer les déchets volumineux susceptibles d'endommager les équipements, par simples procédés de séparation physique.

Ainsi on y retrouve une étape de dégrillage au cours de laquelle les eaux usées passent à travers d'une grille dont les barreaux sont plus ou moins espacés, retenant ainsi les matières les plus volumineuses. L'étape de dessablage vient ensuite débarrasser les eaux usées desables et graviers par sédimentation.

Les matériaux récupérés sont alors lavés puis, selon la qualité du lavage, seront soit réutilisés soit envoyés en décharge. Une étape de dégraissage (ou encore appelée déshuilage) vient parachever ces prétraitements. Elle consiste à racler les particules graisseuses se trouvant en surfaces des eaux naturellement ou par flottation via une injection d'air au fond de l'ouvrage.

I.2.2 Traitement primaire

Une fois ces étapes de dégrossissage réalisées, les eaux usées vont subir des procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer, par décantation la charge de matière organique et minérale en suspension. C'est ce que l'on appelle le traitement primaire.

Ces traitements ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées.

L'eau va alors passer au travers de bassins décanteurs, à faible vitesse permettant ainsi la sédimentation des particules au fond des bassins, et leur enlèvement via des pompes.

Une étape de coagulation-floculation préalable à la décantation permet d'améliorer l'épuration. C'est le traitement physico-chimique Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif (sels de fer ou d'aluminium) qui provoque l'agglomération des particules en suspension, provoquant ainsi leur chute au fond de l'ouvrage. 90% des matières en suspension peuvent alors être éliminées (Soumia AMIR. 2005)

I.2.3 Traitement secondaire

Les étapes de traitement primaire permettent l'enlèvement des matières en suspension, l'eau n'est pour autant pas traitée complètement. Une quantité certaine de matière organique dissoute est toujours contenue dans l'eau. Le traitement secondaire, qui fait suite au traitement primaire dans le déroulement séquentiel des procédés d'épuration des eaux usées, vise à épurer l'eau, en réutilisant les méthodes d'auto-épuration existant naturellement. Les bactéries présentes dans l'eau vont, en effet, être mises à contribution pour dégrader la matière organique. Il existe différents systèmes parachevant le traitement biologique. En France, c'est le procédé par boues activées qui est le plus répandu. Celui-ci repose sur l'assimilation des bactéries avec la matière organique au moyen d'oxygène, et sur la réutilisation partielle des boues rejetées pour réalimenter la flore bactérienne contenue dans le bassin.

La séparation biomasse (boues) avec l'eau épurée se fait dans un second clarificateur. Une partie des boues éliminée sera alors réinjectée dans le bassin d'alimentation, l'autre partie étant acheminée vers les unités de traitement des boues.

I .2.4 Le traitement tertiaire

A l'issue du traitement secondaire, l'eau traitée est parfois directement rejetée en milieu naturel. Autrement, elle subit un troisième niveau de traitement, visant soit la réutilisation directe à des fins agricoles ou industrielles voire humaines (comme c'est le cas en Australie), soit la protection des milieux naturels ou des systèmes de captage situés en aval. Ce traitement n'est pas systématique actuellement en Algérie. Ces traitements complémentaires concernent l'azote, le phosphore et la désinfection.

L'élimination de l'azote est obtenue grâce à des traitements dits de « nitrification/dénitrification ». En effet, l'azote organique se transforme en ion ammonium (NH_4^+) dans les eaux usées. Cet ion ammonium est transformé par les cultures bactériennes en nitrates NO_3^- : C'est l'étape de nitrification.

La dénitrification intervient en deuxième lieu, et repose sur l'action des bactéries dénitrifiantes qui vont transformer les nitrates en azote gazeux.

L'élimination du phosphore ou « déphosphatation » consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues afin d'y être piégées. Le principe se base Estimation de performances épuratoires : Caractérisation

de boues de station d'épuration Anaëlle Poney sur l'addition de sels d'aluminium qui va faire précipiter les composés phosphatés au fond du réacteur d'où ils pourront être enlevés. La désinfection vient parachever le traitement en éliminant les germes potentiellement pathogènes encore présents dans l'eau. L'éventail des techniques de désinfection sont assez large. On y retrouve le traitement à l'ozone, à l'UV pour les plus courantes.

L'épuration des eaux usées, nous venons de le voir produit d'un côté de l'eau épurée et de l'autre, à peine mentionné précédemment, des sous-produits que l'on appelle « boue ».

Nous allons maintenant nous attarder plus longuement sur ce sujet, qui par ailleurs est tout l'objet de ce mémoire.

I.2.5 Le traitement biologique

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats).

Il est ainsi possible d'utiliser systématiquement cette microflore dans un processus contrôlé pour réaliser l'épuration des eaux résiduaires.

Le principe de l'épuration biologique consiste à réaliser par voie biologique l'élimination de la pollution dissoute contenue dans les eaux usées. Pour cela, il faut mettre en contact des micro-organismes épurateurs (bactéries) et de l'eau à traiter. Le paramètre essentiel consiste à fournir de l'oxygène aux microorganismes pour permettre leur développement.

La transformation de la pollution en matière vivante provoque un accroissement de la biomasse et donc une production de boues. Pour assurer un équilibre biologique, il est nécessaire de limiter cette quantité de biomasse, ce qui implique d'extraire des boues.

Dans un bassin d'aération, la matière organique est consommée par des microorganismes qui sont des bactéries floculées. Ce milieu est appelé " boues activées ". Une seconde décantation est effectuée dans un ouvrage dit " décanteur secondaire " ou " clarificateur ", d'où s'écoule, par sur verse, l'eau épurée biologiquement.

La technique des lits bactériens consiste à faire percoler les eaux à traiter au travers de matériaux filtrants qui servent de support aux bactéries aérobies concourant à l'épuration des eaux à traiter.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité (Soumia AMIR. 2005)^[2].

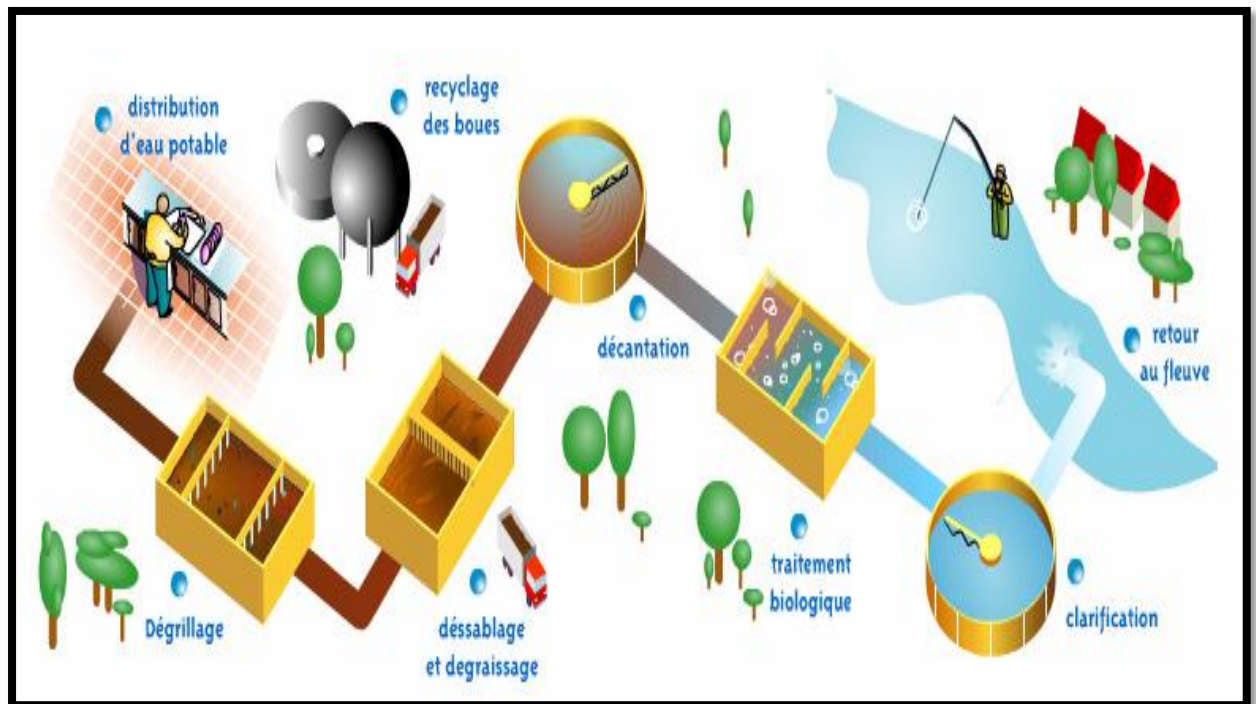


Figure I.1. Les étapes de traitement des eaux usées

Les éléments polluants et leurs produits de transformation retirés de la phase liquide au cours de tout traitement d'eau, quelle qu'en soit la nature, se trouvent finalement rassemblés dans la très grande majorité des cas dans des suspensions plus ou moins concentrées dénommées "boues"

II.1 Classifications des boues

Pour appréhender le problème des boues, il faut d'abord préciser une définition et pour cela il convient de considérer les typologies existantes. Nous considérerons 3 mais d'autres peuvent être imaginées. En considérant d'une part les boues seules et sur la base d'une relation matière sèche/eau, il est possible de distinguer plusieurs classes :

- Boues organiques hydrophiles
- Boues huileuses hydrophiles (raffinerie, mécanique)
- Boues huileuses hydrophobes (laminage)
- Boues minérales hydrophiles (eaux superficielles, traitement de surface, tannerie)
- Boues minérales hydrophobes (forage, eaux superficielles, lavage de gaz) boues fibreuses (papeterie)

A. En considérant la siccité des boues, une classification a été développée que rappelle le tableau ci-après :

	Siccité	Caractéristiques	type de transport
boues liquides	1 à 2 %	Liquide	pompage et citerne
Boues liquides épaissies	8 à 12 %	Liquide	pompage et citerne
boues pâteuses	18 à 30 %	Pelletable	pompage et benne
boues solides	30 à 90 %	pelletable, gerbable et émottable	transport par tapis
Boues sèches	> 90 %	pulvérulante ou granulée	transport par tapis ou système pneumatique
Boues compost	50 à 60 %	pelletable, gerbable et émottable	transport par tapis

Tableau II.1 : Caractéristiques des boues en fonction de la siccité et de certaines propriétés

B. Caractéristiques des boues en fonction de leur origine et traitement :

Caractéristique principale	Origine : industrie	Traitement d'eau Prétraitement des boues	Eléments de la composition
Organique hydrophile	1. station d'épuration ERU	Décanteur I aérobie Décanteur I + digesteur anaérobie Décanteur I + décanteur II Décanteur I + decanteur II + digesteur anaérobie	M.O prédominantes M.O ; MS=30-90% Mat protéiniques Déchets végétaux ou animaux Huiles et graisses animales Hydroxydes (Al,Fe) Hydrocarbures (pétrochimie)
	2. ER Industriels .Agricultures Alimentaires 3. ER industries textiles et chimie organique 4. trait biologique de finition	.décantation biologique : -aération -stabilisation -digestion .traitement physico-chimique (floculation, décantation) .traitement biologique	
Huileuse hydrophile	1. ER raffineries 2. ER Ateliers mécaniques 3. traitement biologique de finition	-désuilage -floculation décantation, flottation -biologique (raffinerie)	-huile et graisse minérales -hydrocarbures -hydroxydes (Al,Fe) -M.O biologique
Huileuses hydrophobes	ER laminoirs sidérurgiques	Décantation	-MS denses et bien décantables -huiles et graisses minérales en forte teneur
Minérale hydrophiles	1. eau potable et appoint industriels -clarification -décarbonatation -Eluats de déminéralisation 2 .ER traitement de surface des métaux 3. ER Industriels Chimie minérale	1. physico-chimique (floculation decantation), Neutralisation (eluats) 2. neutralisation -floculation. Décantation Détoxication	Prédominance d'hydroxydes métalliques hydrophiles (Fe ,Al , Cr)+MO (<30% MS) +CaCO ₃ (décarbonatation) Ou CaSO ₄ (neutralisation Par H ₂ SO ₄)

	4. ER Industriels Colorants teintureries 5. ER Tanneries 6. Traitement globale des ER Industriels pour recyclage	CN ⁻ , Cr ⁺³ -floculation, Decantation 3. id 1 4. Id (1) + TR. Bio. 5. id 4 6. id 1+filtration	Minérales + Organiques Graisses animales et MO
Minérale hydrophobe	1-Appoint industriels 2-sidérurgie 3-lavoirs à charbon 4-incinération des ordures (lavage des gaz de fumée)	-Neutralisation -Floculation -décantation	MM denses faible teneur en hydroxydes (Fe, Al, Mg <5% MS) Faible teneur en MO (< 5% MS)
Fibreuse	1-papeterie 2-ER pâte à papier 3-ER cartonnerie	-Décantation Floculation (récupération Fibre) -floculation - décantation -Traitement biologique Eventuel	Fibres cellulosiques -éventuellement copeaux -hydroxydes hydrophiles - MO biologiques éventuelles

Tableau II.2 : Caractéristiques des boues en fonction de leur origine et traitement

II.2 Qualité des boues

Apprécier la qualité d'une boue, revient à quantifier les paramètres chimiques, physiques et biologiques :

- Les propriétés biologiques
- Les propriétés chimiques
- Les propriétés physiques

II.3 Composition des boues

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999 ; Jarde et al., 2003 ; Singh et al., 2004)_[3]. Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière

organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

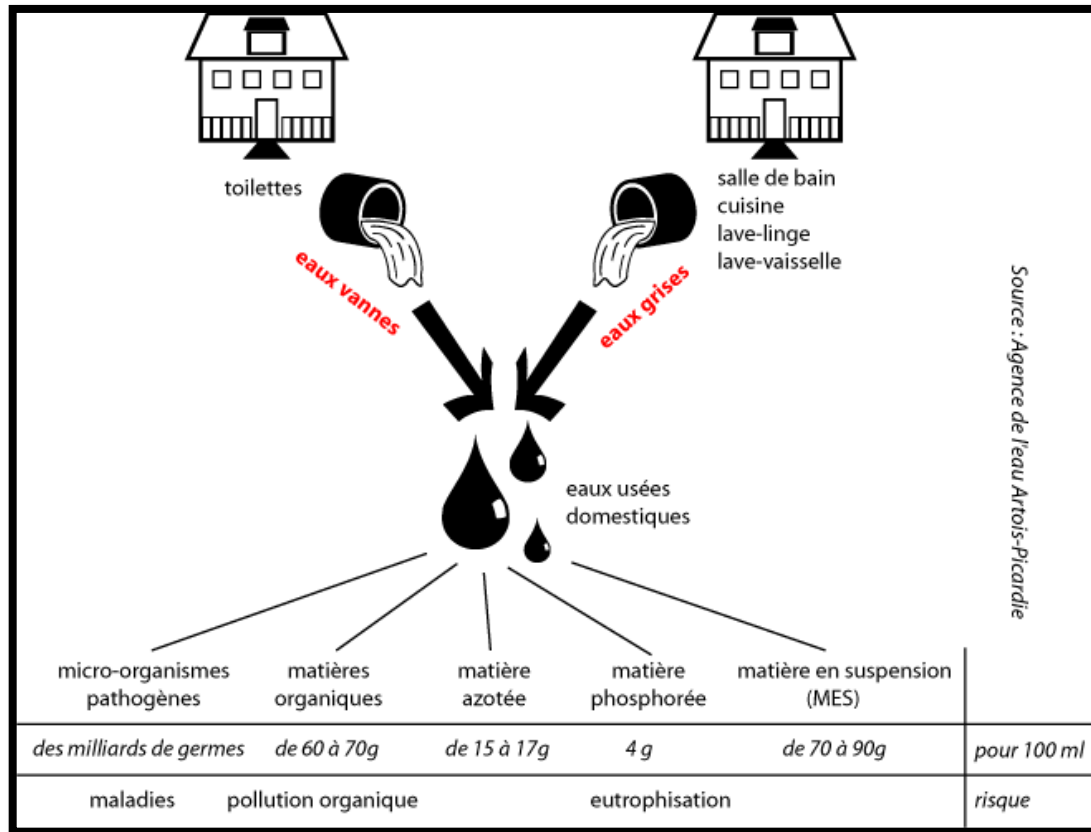


Figure II. 1 : les compositions des boues.

II.3.1 Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires 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 (digestion, stabilisation) (Kakii et al., 1986 ; Inoue et al., 1996 ; ADEME, 2001 ; Jarde et al., 2003)^[4].

II .3.2 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 magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium (Zebarth et al., 2000 ; Su et al.,

2004 ; Warman et al., 2005)^[5]. 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.

II.3.3 Contaminants chimiques inorganiques et organiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (Chang et al., 1992 ; Cripps et al., 1992)^[6]. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (Alloway, 1995; McBride, 2003)^[7]. 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 peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de 1g/kg MES

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 (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). 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 (Klöpffer, 1996)^[8].

II.3.4 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 (Klöpffer, 1996)^[9].

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.

D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (Garrec et al., 2003)_[10].

II.4 Nature des boues

II.4.1 Facteurs caractérisant la nature de la boue

II.4.1.1 Concentration en matières sèches (MS):

Elle s'exprime généralement en grammes par litre ou en pourcentage en poids et est déterminée par séchage à 105°C jusqu'à poids constant. Pour des boues liquides, elle est généralement proche de la teneur en matières en suspension (MES), déterminée par filtration ou centrifugation.

La quantité de boues produites dépend directement de la quantité de MES éliminée et de celle des réactifs de traitement utilisés dans le traitement biologique.

Cependant, une partie importante des éléments dissous est assimilée par la population bactérienne et utilisée à la synthèse de matière vivante.

Le traitement des ERU conduit à la production des quantités de boues moyennes indiquées dans le tableau suivant :

Traitement	MES (g/hab)	Volume (l/hab.j)
D.P.	40 – 60	0,4 - 0,8
D.P + Dig. an.	25 – 40	0,35 - 0,7
D.P + L.B.	65 – 75	1 - 1,9
D.P + L.B. + Dig. an.	40 – 55	0,9 - 1,8
D.P + B.A.	75 – 90	1,3 - 2,6
D.P.+B.A.+Dig.an.	50-65	1,2-2,5

Tableau II.3 : Production de boues en traitement d'ERU.

II.4.1.2 Teneur en matières volatiles (MV) :

Exprimée en pourcentage en poids des M.S., elle se détermine par gazéification dans un four à 550 - 600°C. Pour les boues de la classe organohydrophile notamment, elle est souvent proche de la teneur en matières organiques (MO) et est caractéristique de la teneur en matières azotées.

II.4.1.3 Composition élémentaire pondéral (surtout pour les boues organiques)

- C et H pour apprécier le degré de stabilisation ou calcul le pouvoir calorifique inférieur,
- N et P pour apprécier la valeur agricole de la boue,
- Autres composés (métaux lourds par exemple). Pour les boues minérales, sont souvent utiles les teneurs en Fe, Mg, Al, Cr, en sels de calcium (carbonates et sulfates), et en silice.

II.4.1.4. Composition de l'eau interstitielle

- substances dissoutes, - TAC, TA, - DCO, DBO₅, pH, etc

II.4.1.4. 1 Facteurs caractérisant la structure de la boue

❖ Viscosité apparente en rapport avec le comportement rhéologique :

Les suspensions boueuses sont des liquides non newtoniens: la valeur trouvée pour la viscosité est toute relative et dépend de la contrainte de cisaillement appliquée. Pour certaines boues, et sous certaines précautions, il peut être déduit une viscosité dite de Bingham

La viscosité peut être considérée comme une mesure de l'intensité des forces interparticulaires. Elle permet également d'évaluer le caractère thixotropique d'une boue (aptitude de cette boue à se prendre en masse en l'absence de brassage, et à devenir fluide dès qu'elle est légèrement agitée). Cette caractéristique est très utile pour apprécier les possibilités de collecte, de transport et de pompage d'une boue.

II.4.1.4. 2. Nature de l'eau contenue dans la boue

L'eau contenue dans une boue est la somme:

- D'une eau libre assez facilement éliminable,
- D'une eau liée comprenant: l'eau capillaire, l'eau d'hydratation colloïdale, l'eau cellulaire et chimiquement liée.

La libération de l'eau liée nécessite une énergie assez forte. L'eau cellulaire n'est séparable que par des moyens thermiques puissants (conditionnement thermique, séchage ou incinération).

La proportion d'eau libre et d'eau liée est donc déterminante dans l'aptitude d'une boue à la déshydratation. Elle peut être approchée par thermogravimétrie, c'est-à-dire par l'établissement de la courbe de perte de poids d'eau à température constante d'un échantillon de boue épaissie dans des conditions précises de manipulation.

La thermogravimétrie permet donc d'estimer la tendance hydrophile d'une boue, mais aussi :

- De suivre l'évolution du taux d'eau liée en fonction de divers conditionnements, - d'évaluer en laboratoire les performances des appareils de déshydratation avec un précision suffisante,
- De déterminer, par études comparatives, une siccité limite pour chaque type de traitement,
- Éventuellement de calculer l'énergie de liaison des différentes natures d'eau avec la matière boueuse.

L'interprétation des thermogrammes de boues d'hydroxydes est plus complexe à cause de la présence d'une assez grande proportion d'eau chimiquement liée.

Les analyses physico-chimiques des boues utilisées mettent en évidence une teneur en matière organique acceptable qui montre leur aptitude à être utilisées à des fins agricoles. Les teneurs en éléments fertilisants trouvées permettent de subvenir aux besoins des cultures même les plus exigeantes. Les métaux lourds sont présents en faibles concentrations, sous forme de traces n'excédant pas les valeurs indiquées dans la norme AFNOR, ce qui limite donc les risques vis-à-vis de la contamination de la culture en place et l'homme (A. LEILA et B. A. NAIMA 2011)^[11].

II.4.5 Analyse des boues

II.4.5.1 Les paramètre organo-liptiques :

Celles que possèdent les corps qui font directement impression sur les organes des sens.

- **Goût** : Ensemble complexe des sensations olfactives, gustatives perçues au cours de la dégustation

- **Odeurs** : Propriété organoleptique par l'organe olfactif en flairant

Certaines substances volatiles.

- **La turbidité** : La turbidité traduit la présence de matières étrangères en suspension dans l'eau.

Elle est due à la présence de matières en suspension finement divisées (argiles limons grains de silice, matières organiques etc...).

II.4.5.2 Les paramètres physico-chimiques :

Paramètres	Valeurs limites(AFNOR)
Matière sèche.	-
Matière organique.	-
pH.	6,5 – 8,4
TAC	-
Mg ⁺²	0-5
Ca ⁺²	0-20
Na ⁺ meq	0- 40
K ⁺	0- 2
TH ;	-
P	0-2
Cl ⁻	0-30
SO ₄ ⁺²	-
Conductivité	-
NO ₂ ⁻ ; NO ₃ ⁻ ; NH ₄ ⁺	0-5

Tableau II.4 Les paramètres physico-chimiques

II.4.5.3 Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les boues destinées à l'utilisation en agriculture (mg/kg de matière sèche)

Paramètres	Valeurs limites (mg/kg de matière sèche)
Cadmium	20 à 40
Cuivre	1 000 à 1 750
Nickel	300 à 400
Plomb	750 à 1 200
Zinc	2 500 à 4 000
Mercure	16 à 25
Chrome	—

Tableau II. 5 : Valeurs limites de concentration en métaux lourds dans les boues

II.5 Valorisation des boues

La valorisation agricole des boues de station d'épuration dans le strict respect des conditions réglementaires, représente une solution intéressante en matière de fertilisation et de recyclage des déchets. Il est souhaitable cependant qu'elle soit accompagnée d'études complémentaires sur le terrain, afin de vérifier d'une part que les valeurs maximales fixées garantissent effectivement la sécurité alimentaire, d'autre part que l'épandage n'a pas impact négatif sur la fertilité des sols.

II.5.1 Compostage

Le compostage peut être appliqué sur les boues organiques déshydratées ou sur des mélanges de boues avec d'autres déchets solides. Au cours de cette opération, il se produit une conversion des matières organiques en matières humiques utilisables comme fertilisants dans l'agriculture (procédés unitaires biologiques et traitement des eaux ; sep 1994)^[12].

Le compostage est en réalité une biodégradation aérobie thermophile des matières organiques contenues dans la boue ; cette biodégradation se produit sous certaines conditions :

Humidité du mélange à composter de 50 à 60 % ; Rapport C/N <35

La digestion thermophile provoque une élévation de température à 45 – 70°C, ce qui a pour effet de stériliser les boues soumises au compostage.

La durée de compostage est de 1 jour à 3 semaines et dépend de l'intensité du traitement et la nature de matières à composter.

Le compostage peut être effectué de manière traditionnelle (meules)ou accélérée dans des tambours rotatifs et des réacteurs verticaux à niveaux superposés ; la mécanisation permet de réduire la durée de l'opération à 1 à 2 jours seulement.

II.5.2 Epandage

La décharge sur terrain de boues humides peut être faite de plusieurs manières :

- Lagunage
- Epandage sur terrain par système d'aspersion
- Evacuation par canalisation vers des décharges sur terrain éloigné

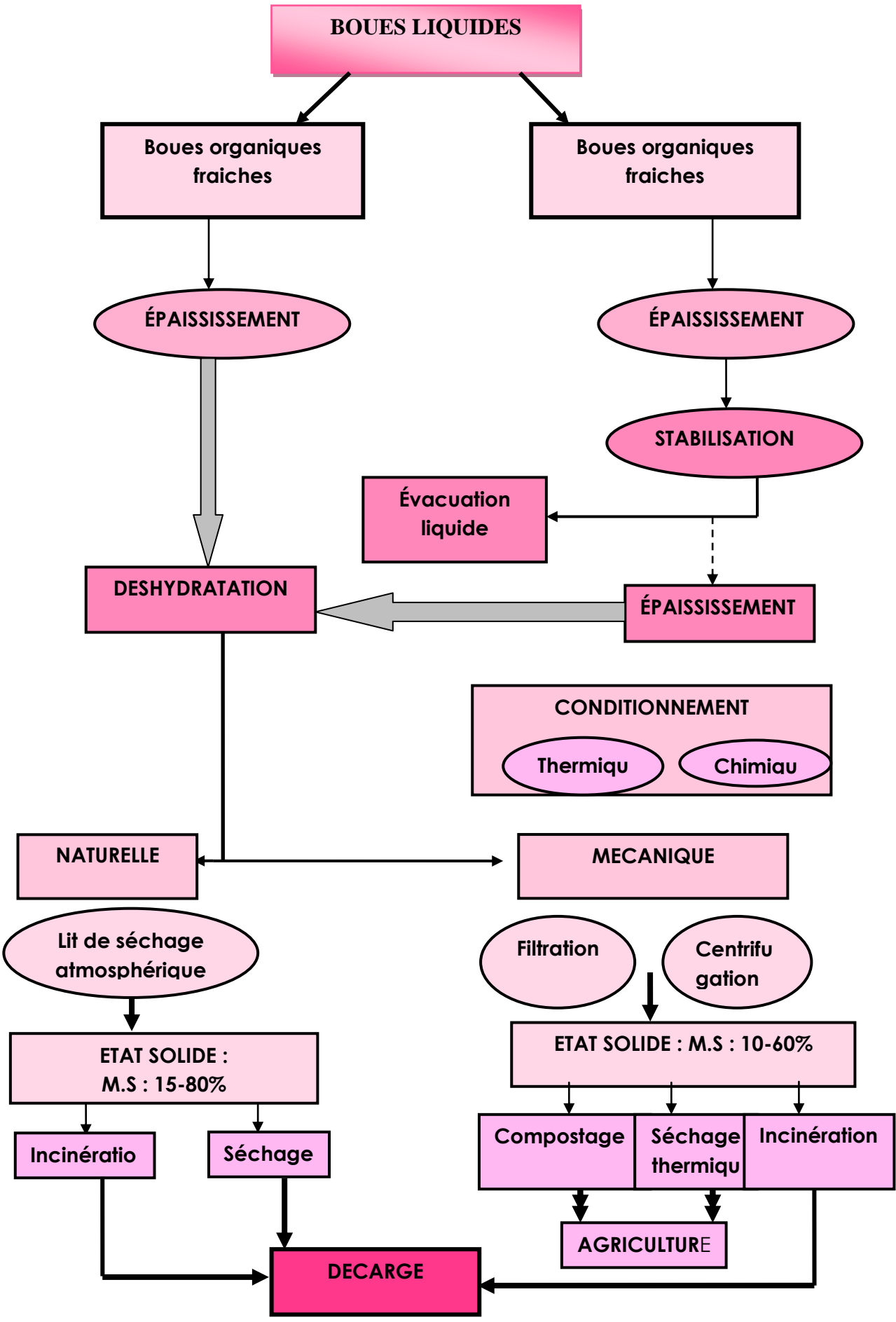
Le lagunage est utilisé pour les boues minérales industrielles. Les boues organiques d'eaux résiduaires urbaines ou industrielles (organiques) subissent avant épandage. Une digestion aérobie ou anaérobie pour éviter les odeurs et les insectes. Les boues résiduaires stockées dans une lagune peuvent être déshydratées de 92 % d'humidité à 55 – 60 % d'humidité en deux à trois ans.

L'épandage après digestion des boues sur des terrains agricoles se fait à des charges moyennes de 220 t/ha à 670 t/ha en zone de faible pluviosité.

II.6 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 (Komilis et al.,1999; Semple et al., 2001)^[13].

Cette utilisation va assurée après traitement des boues représentée sous forme d'un schéma ci-après :



III.1 La situation de STEP d'ELATTEUF

La station de traitement par lagunage des eaux usées de la vallée du M'Zab :

Ce projet a été réalisé au lieu dit Kef El-Doukhane, en aval de l'oued M'Zab dans la commune d'El-Atteuf. Cette installation d'envergure est conçue de manière à traiter les eaux usées, naturellement, sans mécanisation ni apport chimique, au moyen de lagunage et à réutiliser ses eaux traitées pour l'irrigation afin de contribuer efficacement aux efforts de développement durable de la région.

Considéré comme une référence en matière de développement durable, de préservation de l'environnement et des ressources hydriques des quatre communes (Daya Ben Dahoua, Ghardaïa, Bounoura et El-Atteuf) se trouvant dans la vallée du M'Zab, ce projet permet l'abattement de la pollution des eaux usées une fois traitées de plus de 80%, a-t-il précisé.

Réalisée sur une superficie globale de 60 ha sur l'exutoire naturel de l'oued M'Zab, dans le cadre du mégaprojet d'assainissement et de protection contre les crues cycliques de ce oued, cette station de traitement des eaux usées a une capacité de mobilisation de quelques 46.000 m³/ jour d'eaux traitées utilisables à des fins agricoles, a-t-on fait savoir.

Cette station de lagunage comporte 16 bassins de décantation, dont huit primaires, profonds, fonctionnant en "anaérobie", et huit autres secondaires de grandes dimensions fonctionnant en "aérobie". Elle permet d'obtenir des eaux épurées répondant bien aux normes internationales de rejets.

Le projet protège également le milieu récepteur et la ressource en eau de l'ensemble de la vallée et se garde la possibilité de réutiliser l'eau épurée pour l'irrigation des périmètres agricoles et des espaces verts, ainsi que les engrais prélevés dans les bassins de décantation après séchage pour la fertilisation des terres agricoles (Alkama/2012) [13].



Figure III.1 : la step d'épuration d'ATTEUF

III.2 Le prélèvement d'un échantillon:

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

Les échantillons d'eau usée sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de 1 litre. Les analyses ont lieu immédiatement après prélèvement, au laboratoire de chimie de l'eau.



Figure III.2 : le bassin anaérobie



figure III.3 : l'échantillon des boues

III.3 L'analyse des boues :

III.3.1 Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques, dans leur ensemble, correspondent aux caractéristiques du boues. Toute fois, ils vérifient les points suivants

III.3.1.1 Le pH :

Le caractère acide ou alcalin d'une eau est représenté par son potentiel d'hydrogène qui indique la concentration en ions H^+ présents dans l'eau. Le pH influence fortement les processus métaboliques et régit la plupart des réactions chimiques et biochimiques en particulier l'état d'ionisation de certains paramètres.

On le mesure a l'aide d'un pH-mètre :

- Préparer la solution de boue
- Prolonger l'électrode d'appareil dans la solution
- Prendre la mesure



Figure III.4 : pH-mètre

III.3.1.2 La conductivité :

C'est la capacité d'une eau à conduire l'électricité. La conductivité des eaux dépend de leur concentration ionique et de leur température. Cette mesure permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire la quantité de substances dissoutes ionisées présentes. Le résultat est donc exprimé en microsiemens par centimètre ($\mu S/cm$)



Figure III.5 : conductimètre

III.3.1.3 La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ (demande biologique en oxygène en 5 jours) est un paramètre permettant de déterminer la quantité d'oxygène nécessaire pour l'élimination, y compris par autoépuration, de

la pollution organique. Elle mesure la présence de matières organiques présentes dans les effluents et caractérise leur biodégradabilité.

La DBO₅ est mesurée au bout de 5 jours (=DBO₅), à 20 °C et à l'obscurité. Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O₂, le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours.

La DBO₅ est la différence entre ces 2 concentrations. Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé pendant 5 jours à l'obscurité et à 20 °C , en utilisant la méthode de Winkler pour la mesure de l'oxygène dissous dont le principe est de déterminer la quantité d'oxygène dissous dans l'eau à l'aide de la réaction de précipitation dans l'eau de l'hydroxyde de sodium (NaOH) qui absorbe entièrement l'oxygène qui se trouve dans l'eau pour aussi forme de l'hydroxyde de sodium .

➤ **Réactifs et matériels :**

Réactifs :

- 100ml d'échantillon
- 2 pastilles de NaOH

Matériels :

- Aérateur
- Flacons
- Oxymètre
- Baromètre.
- Fiole de 400 ml
- Eprouvette de 100 ml

Mode opératoire :

- ❖ verser dans le flacon 100 ml d'eau prévue d'échantillon;
- ❖ introduit 2 pastilles de hydroxyde de sodium comme un catalyseur dans le capsule ;
- ❖ Fermer le flacon sans y laisser d'air.



Figure III.6 : La DBO₅ mètre

III.3.1 .4 Les matières en suspension (MES) :

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdale, donc retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'effluent. Les techniques d'analyse font appel à la séparation directe par filtration ou centrifugation, le résidu étant séché à 105 °C et ensuite pesé. Le résultat est exprimé en mg/l

III.3.1.5 Les Matières Organiques : MO

Les matières organiques proviennent des êtres vivants :

- Matières végétales ou animales,
- Excréments, urines, ...

On retiendra que les matières organiques qui persistent à haute température (plus de 500°C), les matières organiques brûlent et se transforment en fumée.

III.3.1.6 Les Matières Minérales : MM

Les matières minérales :

- Métaux,
- Sels minéraux, ...

Sont pour la plupart des composés qui évoluent peu dans les conditions naturelles. Elles constituent les résidus (ou cendres) obtenus après calcination à 550°C.

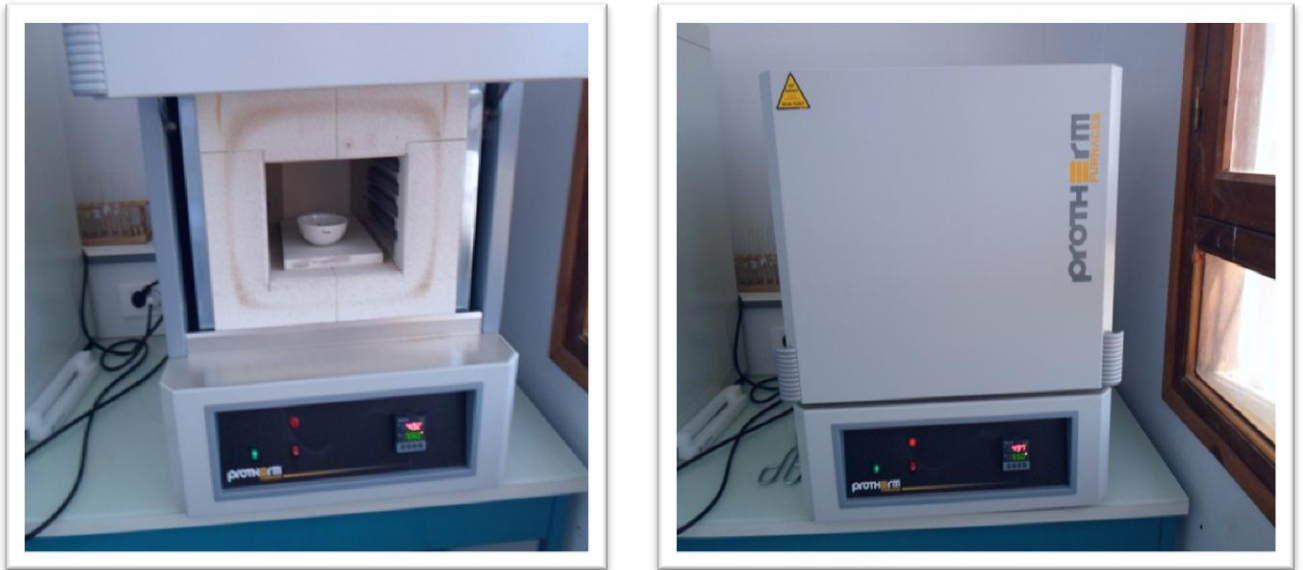
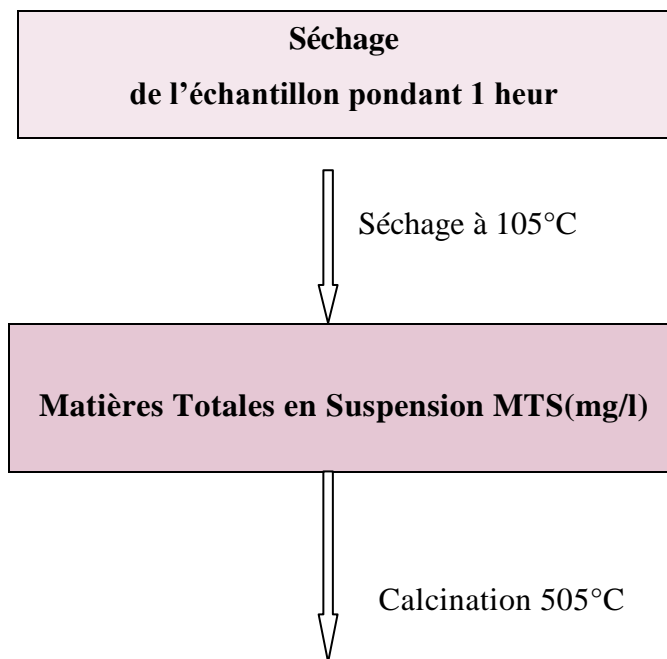


Figure III.7 : l'étuve de calcination



Matières Minérales MM (mg/l)

détermination des Schéma de MTS ;MO et MM

III.3.1.7 Les composés phosphorés :

Le phosphore est mesuré sous forme de phosphore total (Pt). La recherche des fractions minérales (Phosphates issus des produits lessiviels) et organiques (d'origine humaine ou industrielle) permet de juger des conditions de traitement biologique de l'effluent et des risques liés à l'eutrophisation des eaux calmes. Le résultat est exprimé en mg Pt/l

Réactifs et matériels :

Réactifs :

- Acide sulfurique à 9 mol/L (dilution de 1/2)
- Réactif mélange (solution molybdate acide)
- Acide ascorbique, solution, $\rho=100$ g/l

Matériels :

- Balance analytique à 0,1 g et à 0,0001 g prés.

- Spectromètre doit convenir pour la mesure l'absorbance les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge. La longueur d'onde la plus sensible est 880 nm, mais si une perte de sensibilité peut être admise l'absorbance peut être mesurée à 700nm.

Mode opératoire :

Prélever 50ml d'échantillon à analyser (la dilution : 5ml échantillon→50ml eau distillé).

Introduire 1 ml d'acide ascorbique + 4 ml de Réactif mélange (solution molybdate acide)

Effectuer la lecture au spectrophotomètre UV



Figure III.8 : échantillon à analyser

III.3.1.8 Les matières azotées :

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes : Organique ; ammoniacal (NH_4) ; nitreux (NO_2^-) ; nitrique (NO_3^-). Dans les eaux usées, l'azote se trouve principalement sous forme ammoniacale. Même s'il n'existe pas de critère de toxicité pour l'azote total, une concentration plus élevée que 1,0 mg/l dans les eaux de surface est considérée comme étant indicatrice d'une problématique de sur fertilisation dans le milieu.

III.3.1.8.1 Ammonium NH₄

Réactifs et matériel :

Réactifs

- Réactif coloré
- Réactif Dichlorosocyanurate

Matériel:

- Pipettes
- Fioles
- Bécher

Mode opératoire :

Prélever 40ml d'échantillon à analyse (dilution 5ml →40 ml d'eau distillé).

Ajouter 4 ml de réactif coloré, homogénéiser.

Ajouter 4 ml de réactive Dichlorosocyanurate de sodium.

Après 60 min on prend la lecture au spectrophotomètre UV

III.3.1.8.2 Nitrite NO₂

Réactifs et matériel :

Réactifs

- Solution nitrite

Matériel:

- Pipettes
- Fioles
- Bécher

Mode opératoire :

Prélever 50 ml d'échantillon à analyser (dilution : 5ml →50 ml d'eau distillé)

Ajouter 1ml de solution nitrite.

Effectuer les lectures au spectrophotomètre UV



Figure III.9 : échantillon à analyser

III.3.1.8.3 Nitrate NO₃ :

Réactifs et matériel :

Réactifs :

- Solution d'hydroxyde de sodium 30%

Matériel:

- Pipettes
- Fioles
- Bécher

Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'échantillon (dilution : 5ml → 50 ml d'eau distillé), alcaliniser faiblement avec solution d'hydroxyde de sodium NaOH .effectuer la lectures au spectrophotomètre UV



Figure III.10: spectrophotomètre UV

III.3.1.9 Le Titre Alcalimétrique Complet TAC :

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, la première détermination sert à calculer le Titre Alcalimétrique Complet TAC

Réactifs et matériel :

- **Réactifs :**
 - Solution de chlorhydrique HCl à 0,01N
 - Indicateur méthyle orange
- **Matériel :**
 - Burette manuelle ou burette automatique
 - Agitateur magnétique, barreaux magnétique
 - Bécher se 50 ml

Mode opératoire :

Introduire 50 ml de l'échantillon dans une fiole, placé sur un fond blanc. et titrer la solution par chlorhydrique HCl jusqu'à ce que la solution prenne une couleur orange ; soit V_2 le volume totale d'acide employé.



Figure III.11 : titrage de TAC par HCl



Figure III.12: résultat de titrage

III.3.1.10 Dosage de Sulfate SO₄ :

Réactifs :

- 100ml d'eau de l'échantillon.
- Dilution: - 5ml → 100 ml d'eau distillé 10ml → 100 ml d'eau distillé
- Solution de HCl à 10%
- Solution de BaCl à 10%
- Solution d'AgNO₃ à 10%
- HNO₃ pur
- Alcool Ethyle pur
- Ether

Matériel :

- Pipettes
- Fioles
- Bécher

Mode opératoire :

On prend 100ml d'échantillon et 5ml de HCl et chauffer jusqu'à ébullition avec l'agitation constamment

Ajoute 20 ml goutte à goutte de BaCl₂; prolonger (ébullition) 10 min avec l'agitation et on repose l'essai

On utilise un papier filtre pour filtrer les ions de sulfates précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum BaSO₄ ;

Puis on fait la calcination de ce papier pour calculer le poids de sulfate.

III.3.1.11 Dosage de K⁺ et Na⁺ :

La détermination de la concentration de K⁺ et Na⁺ par l'appareil **spectrophotomètre à flamme**.

• **Spectroscopie à flamme :**

La spectroscopie d'émission atomique utilise une mesure quantitative de l'émission optique provenant des atomes stimulés, pour déterminer la concentration de la substance à analyser. Les atomes de la substance à analyser dans la solution sont aspirés dans la région de stimulation où ils sont dissous, vaporisés et atomisés par une flamme, une décharge, ou un plasma. Ces sources d'atomisation haute température fournissent suffisamment d'énergie pour propulser les atomes à de hauts niveaux d'énergie. Les atomes se désintègrent pour retourner à des niveaux plus bas en émettant de la lumière.

Permet de doser Na, Ca, Li et K.

Dilution de K⁺ est 5ml → 100ml

Dilution de Na⁺ est 5ml → 100ml



Figure III.13: spectrophotomètre à flamme

III.3.1.12 Dosage de Chlorure Cl^- :

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un argent des chromates d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur .cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.

Réactifs et matériel :

- **Réactifs :**

- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3)
- Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/l
- Solution étalon de chlorure de sodium (NaCl) à 0,02 mol/l
- Solution d'acide nitrique (HNO_3)
- Solution d'hydroxide de sodium (NaOH) à 0,1 mol/l
- Carbonate de calcium (CaCO_3) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) en poudre

- **Matériel**

- Burette
- Capsules en porcelaine de 100 ml
- Pipettes
- Fioles
- Bécher

- **Mode opératoire :**

- Introduire 100 ml de l'échantillon (10 ml d'échantillon + 90 ml d'eau distillée) dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole , placé sur un fond blanc. Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.



Figure III.14 : titrage de chlorure par AgNO_3



Figure III.15 :résultat de titrage

III.3.1.13 Dosage de Ca^{+} :

Réactifs et matériel :

Réactifs :

- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH
- Indicateur HSN
- Solution de l'EDTA

Matériel :

- Burette
- Pipettes
- Fioles
- Bécher

Mode opératoire :

Introduire 50 ml de l'échantillon (25ml d'échantillon + 25 ml d'eau distillée) dans une fiole , placé sur un fond blanc. Ajouter 1 mg d'indicateur de HNS (couleur move) et 2 gouttes de NaOH .titrer la solution par addition de l'EDTA. jusqu'à ce que la solution prenne une couleur bleu (Laboratoires de l'ADE MEAC-LAB 19)_[15].



Figure III.16 : titrage de solution par l'EDTA

Introduction

Boues proviennent de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Ghardaïa.

Eaux usées recueillies par les égouts et dirigées vers STEP. Leur traitement dans la station permet de séparer une eau épurée d'un résidu secondaire, les boues, qui présentent les caractéristiques d'un amendement organique bien pourvu en matière organique, azote, phosphore ainsi qu'en oligo-éléments.

Le traitement anaérobie des boues s'avère être une technique efficace pour réduire les charges en polluants et les concentrations en germes pathogènes.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'ADE unité de Ghardaïa, sauf le pH, DBO₅ et matières en suspension ont été réalisés au niveau de laboratoire universitaire.

Les analyses qui on à fait sur un mélange contenant d'eau et boue , on filtre cette mélange pour obtenir un extraction nous permettons de faire les analyses nécessaires .

Les résultats des analyses physiques et chimiques sont représentés dans le tableau comparé avec les normes retenues pour l'utilisation agricole (A.F.NOR. in)Tableau IV.1

IV.1 Les résultats des paramètres analysés des boues

Tableau IV.1 Tableau comparatif les résultats obtenus avec les normes retenues (A.F.NOR)

Paramètre	Résultat	Normes de la valorisation agricoles	Unité	Type de pollution
pH	8,06	–	–	–
Conductivité	3,49	–	mS/cm	–
NO₂⁻³	0,092	–	mg/l	–
NH₄⁺	0,12	–	mg/l	–
NO₃⁻	0,27	–	mg/l	–
P	0,381	0,43	mg/l	Pollution saline
Na⁺	381,818	–	mg/l	
K⁺	41,67	0,16%	mg/l	
Cl⁻	177.265	–	mg/l	
SO₄⁻	32130,12	–	mg /l	
Mg⁺	28,072	–	mg/l de CaCO ₃	
Ca⁺	533,86	–	mg/l de CaCO ₃	
TH	1216	–	mg/l de CaCO ₃	–
TAC	490	–	mg/l de CaCO ₃	–
MTS	19160	–	mg/l	Pollution environnementale
MO	54,74	40	%	

MM	8250	-	mg /l	
DBO ₅	1000	-	mg DBO ₅ /l	Pollution organique
Fe ⁺²	-	-	Ppm	Pollution due aux métaux lourds
Mn ⁺²	-	800	Ppm	
Zn ⁺²	-	3000	Ppm	
Cu	-	1000	Ppm	
Cr	-	1000	Ppm	
Pb	-	800	Ppm	
Hg	-	10	Ppm	

Tableau IV.1 : résultats des paramètres d'analyse des boues.

IV.2 Résultat de DBO₅ :

Jour	1	2	3	4	5
Valeur (mg DBO₅/l)	220	500	740	940	1000

Tableau IV.2 : Résultats de DBO₅

IV.3 DISCUSSION

La composition chimique des boues est spécifique à chaque STEP. En effet, elle varie étroitement avec la nature et l'âge de la STEP. Le type des eaux usées et leur degré de décomposition, la méthode de traitement et les conditions climatiques.

Les boues de la STEP de la ville de Ghardaïa sont de couleur marron foncé et d'odeur fétide indiquant l'influence des boues sur la qualité du compost.

Les résultats des analyses physiques et chimiques qui sont représentés dans le tableau VI.1, montre que la boue étudié porte une charge polluante diversifiée et élevée.

Le pH est de l'ordre 8,06, ceci montre le caractère basique des boues de la STEP.

En effet, la conductivité électrique est de l'ordre de 3,49 mS/cm indiquant la forte minéralisation des boues. Cette minéralisation est principalement attribuable aux ions chlorures (177.265 mg/l), sulfate (32130,12 mg/l) et sodium (381,818mg/l).

On observe que la dureté total (TH) est élevée (1216meq/l), due à la présence des sels solubles de calcium (533,86 mg/l) et magnésium (28,072 mg/l).

Concernant la charge organique, la DBO₅est enregistré une valeur de 1000 mg O₂/l.

On remarque aussi des faibles concentrations des nitrites (0,092 mg/l), ammonium (0,12 mg/l) et phosphore (0,381mg/l) ; et des concentrations élevées de potassium (41,67 mg/l), TAC (490meq/l) et MTS (19160 mg/l). Malheureusement qu'on n'a pas pu déterminée la DCO et les métaux lourds à cause de manque de moyen.

Par comparaison de nos résultats avec les résultats théorique (**tableau IV.1**), nous trouvons que nos valeurs sont toutes inférieures à celle des valeurs théorique, on déduit que notre boue est une boue jeune.

Les analyses physico-chimiques des boues utilisées mettent en évidence une teneur en matière organique acceptable qui montre leur aptitude à être utilisées à des fins agricoles (C. Lacce, 'Analyse des Boues', 1985)^[16].

CONCLUSION GENERALE

Dans les régions sahariennes à sols très peu fertiles et à faible potentiel de mise à la disposition de l'activité agricole des amendements organiques classiques, l'utilisation des boues des stations d'épuration des eaux usées s'avère une alternative pour l'amélioration des propriétés bio-physico-chimiques des sols. L'application de ces boues a en effet permis d'améliorer la richesse du sol en matière organique et d'augmenter la production de la culture expérimentée.

L'utilisation des boues devrait respecter certains principes visant à réduire le plus possible le risque d'effets néfastes pour:

- la santé des hommes, des animaux et des plantes
- la qualité des eaux souterraines et/ou superficielles,
- la qualité du sol à long terme,
- la biodiversité des micro-organismes vivant dans le sol.

Si la concentration d'un ou plusieurs métaux lourds dans les boues dépasse les limites de concentration suggérées à l'annexe I, ou si la concentration d'un ou plusieurs composés organiques dans les boues dépasse les limites de concentration proposées à l'annexe II, il conviendrait de renoncer à leur utilisation.

La caractérisation des boues de la station d'épuration de la ville de GHARDAIA a montré qu'il s'agit d'une boue jeune, véhiculant une importante charge polluante minérale, organique. Le caractère basique de ces boues (pH=8,06), le DBO₅, et matière organique montre leur aptitude à être utilisées à des fins agricoles.

Annexe I: Valeurs limites de concentration des métaux lourds dans les boues destinées à être utilisées sur les sols

Élément	Valeurs limites (mg/kgms)		Valeurs limites (mg/kgP)
	Directive 86/278/CEE	Valeurs proposées	Valeurs proposées
Cd	20 – 40	10	250
Cr	-	1 000	25 000
Cu	1 000 – 1 750	1 000	25 000
Hg	16– 25	10	250
Ni	300– 400	300	7 500
Pb	750 – 1 200	750	18 750
Zn	2 500 – 4 000	2 500	62 500

Le producteur des boues peut choisir de tenir compte des valeurs limites déterminées par rapport à la quantité de matière sèche ou par rapport à la quantité de phosphore.

Annexe II: Valeurs limites de concentration des composés organiques et des dioxines dans les boues destinées à être utilisées sur les sols

Composé organique	Valeurs limites (mg/kgms)
AOX ¹	500
LAS ²	2 600
DEHP ³	100
NPE ⁴	50
HAP ⁵	6
PCB ⁶	0,8

Dioxines	Valeur limites (ngTE/kgms)
PCDD/F ⁷	100

Annexe III :les formules

$$\blacksquare P_{Cl} = \frac{(V_s - V_b)}{V_a} \times C \times f$$

V_s : le volume d'AgNO₃

V_b : le volume d'indicateur de chromate de potassium (K₂CrO₄)

V_a : le volume d'échantillon

C : concentration d'AgNO₃ = 0.02 mol/l

F : facteur de conversion = 35453 mg/mol

$$\blacksquare C_{SO_4} = DP \times 4115,5$$

C_{SO₄} : concentration de sulfate SO₄

DP : différence de poids des creusets

$$DP = (P_2 - P_1)$$

$$P_2 = 24,9379 \text{ mg}$$

$$P_1 = 17,1308 \text{ mg}$$

$$\blacksquare C_{Ca} = 8,01 \times V \times f$$

V : volume versé de solution EDTA.

F : facteur de dilution

$$\blacksquare TH = 20 \times V \times f$$

TH : titre hydrométrique

V : volume versé de solution EDTA.

F : facteur de dilution

$$\blacksquare C_{Mg} = (V_{TH} - V_{Ca}) \times f \times 4,84$$

C_{Mg} : concentration de magnésium

V_{TH} : volume d'EDTA utilisé dans le titre hydrométrique

V_{Ca} : volume d'EDTA utilisé dans le dosage de Calcium Ca^{+}

F : facteur de dilution

$$\blacksquare TAC = (V_1 - 0,5) \times f \times 10$$

TAC : Le Titre Alcalimétrique Complet

V_1 : volume versé de HCl

F : facteur de dilution

\blacksquare MTS : Poids de boue fraîche (après séchage) \rightarrow MTS

\blacksquare MO : le pourcentage de poids de l'échantillon après séchage

Si on considère le pourcentage des MTS est 100% on calcule le pourcentage de MO

$$\blacksquare MM = \text{Poids}_{\text{avant calcination}} - \text{Poids}_{\text{après calcination}}$$

MM : c'est le poids obtenu après calcination

$$\text{Poids}_{\text{avant calcination}} = 10 \text{ g}$$

$$\text{Poids}_{\text{après calcination}} = 1,75 \text{ g}$$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Werther J., Ogada T., 1999. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25 55–116.
- [2] Soumia 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 de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse
- [3] Jarde, E., Mansuy, L., Faure, P., 2003. Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 68-69, 331-350.
- [4] ADEME. 2001. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier documentaire. p. 30.
- [5] Zebarth, B.J., McDougall, R., Neilsen, G., Neilsen, D., 2000. Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. *Can. J. Plant Sci.* 80, 575–582.
- [6] Chang, A.C., Granato, T.C., Page, A.L., 1992. A methodology for establishing phyto-toxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. *J. Environ. Qual.*, 21, 521–536.
- [7] Alloway, A. 1995. Heavy metals in soils. Edition blackie academic&professional, 368 p. Almendros, G., Guadalix M.E., Gonzalez-Vila F.J., Martin F., 1996. Preservation of aliphatic macro molecules in soil humins. *Org. Geochem.* 24, 6/7, 651-659.
- [8] Klöpffer, W., 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33, 1067-1081.
- [9] Klöpffer, W., 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33, 1067-1081.
- [10] Garrec, N., Picard-Bonnaud, F., Pourcher, A.M., 2003. Occurrence of *Listeria* sp. and *L.monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of

dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 35, 3,275-28.

[11] A. LEILA et. B. A. NAÏMA 2011(Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par l'appréciation d'une nouvelle méthodologie de l'essai au bleu méthylène)

[12] polycopie de cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux ; pr.M-S Ouali Septembre 1994

[13] Komilis, D.P., Ham, R.K., Stegmann, R., 1999. The effect of municipal solid waste pretreatment on landfill behavior: a literature review. *Waste Management and Research*, 171, 10–19.

[14] GHARDAIA : MISE EN EAU DE LA STATION D'EPURATION mardi, 13 novembre 2012/ **Alkama**

[15] Laboratoires de l'ADE MEAC-LAB 19

[16] C. Lacce, 'Analyse des Boues', A.F.E.E., Tome 1, 135 p., Tome 2, 127 p., 1985.