



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة العربي التبسي - تبسة
Université Larbi Tebessi - Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Minéralurgie

Valorisation des boues de la station d'épuration de Bathioua Oran

Présenté et soutenu par

HARIR Israà

NEDDER Nour Djihane

Devant le jury:

		Grade	Etablissement
Président :	AOUATI Morad Salim	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	BENZIAT Hamza	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Examineurs :	Bouzenzana Abdelali	MCA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

Promotion 2019-2020

Remerciement

Ce travail a été effectué à La (STEP) des eaux usées de Bathioua la wilaya d'ORAN.

Nous remercions tout d'abord MonsieurTeffahi MEHDIlle Responsable de process ainsi que tout le personnel de la station d'avoir été très aimable et serviable avec nous pendant la durée denotre stage.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à Mr. BENZIAT ,d'avoir accepté de nous encadrer, De nous avoir suivi avec intérêt et pour a voir fait confiance en nous de mener à terme cette recherche. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.

Nous voudrions remercier Mr.Bouzenzana de nous avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner ce mémoire.

Nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance à M.AOUATI pour avoir acceptée de présider le jury de ce mémoire.

Nos plus vifs remerciements vont également à nos collègues de la spécialité Master Minéralurgie

A la fin nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Grace à dieu tout puissant, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire plus particulièrement :

A mes très chers parents, tout mon respect et affectation en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.

A toute ma famille, mes chères sœurs : Hafida, Siham, Sara, Djamila et leurs maris

A mes frères : Fayçal, Yahia, Islam

A mes neveux : Younes, Mohamed et mon ange Nadir

A mes nièces : Fatima, Doha, Soundess et ma petite fleur Ritaj

A mon fiancé Yassin et toute sa famille

A chère amie Israa

Tous mes enseignants

Tous mes amis

NOUR DJAHANE

DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Ma famille avec ma profonde gratitude et grand amour,

Ma chère maman MALIKA, pour lequel j'exprime ma sincère reconnaissance pour Son soutien moral et son encouragements tout au long de mes études même dans les moments difficiles, elle a toujours été présente lorsque j'ai eu besoin d'elle, que dieu la protège, je la serai éternellement reconnaissant,

Ma chère deuxième maman Fafa qui est la lumière de mes jours et le soleil qui ne cesse jamais de briller merci pour ton soutien

Ma Binome, ma copine Djihane

Sans oublier mes très chers amis(es) et tous les collègues de la section Master

option: Minéralurgie

Et à tous ceux que j'ai oublié

Et à tous ceux que j'aime

ISRAA

RESUME

Le traitement des eaux usées s'accompagne de la production d'une quantité énorme de Boues résiduaire. Cependant, lorsque certaines valeurs limites en éléments métalliques sont dépassées, leur valorisation agricole devient interdite. L'objectif principal de cette étude est de déterminer les sources d'émission des métaux dans les eaux usées qui déclasse la qualité des boues. Plusieurs origines peuvent être identifiées tel que les activités domestiques, industrielles et urbaines. On s'intéresse à étudier les contraintes d'exploitation dues à la présence de boues contaminées ainsi que le risque sanitaire et environnemental. Dans une autre partie, on s'intéresse à identifier les différentes filières de valorisation autre que l'épandage agricole.

MOTS CLES: boues d'épuration, métaux lourds, station d'épuration réseau d'assainissement, eaux usées.

Abstract

Waste water treatment results in the production of large amounts of surplus sludge. However if certain limits for the content of heavy metals in sludge are exceeded their agricultural reuse become prohibited. The primary objective of this study is to determine the sources of metal emission in urban wastewater. Several origins could be identified such as domestic, industrial and urban activities. In the second part we will study the impact of contaminated sewage sludge on wastewater treatment and also on health and environment. Another part is devoted to identify the different ways of sludge reuse.

KEYWORDS: Sewage sludge, heavy metals, wastewater treatment plant, sewer system, wastewater

Liste des tableaux

Tableau I.1: composition en éléments utiles des boues	8
Tableau I.2: Exemple de performance en déshydratation des boues.....	14
Tableau II.1 : Les différents débits des eaux usées de la STEP de Bathioua.....	38
Tableau II.2 : La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques.....	39
Tableau II.3 : Les dimensions d'une grille.....	43
Tableau II.4 : Dimensions d'un déssableur, canal de déshuilage.....	44
Tableau II.5 : Dimensions d'un décanteur primaire.....	45
Tableau II.6 : Dimensions d'un bassin d'aération	46
Tableau II.7 : Dimensions d'un épaisseur gravitaire.....	49
Tableau II.8 : Dimensions d'un digesteur anaérobie.....	51
Tableau II.9 : Dimensions d'un épaisseur final.....	53
Tableau II.10 : Dimensions d'un gazomètre.....	56
Tableau III.1 : Analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua (2011).....	57

TableauIII.2 : Analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua(2012).....	57
TableauIII.3 : Analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua(2013).....	58
TableauIII.4 : Déshydratation mécanique par filtres à bandes.....	59
Tableau III.5 : Les indices déduit à partir de la courbe granulométrique.....	63
Tableau III.06 : Récapitulation des résultats d'analyses.....	79

Liste des figures

Figure I.01 : Etapes d'une filière de traitement des eaux.....	4
Figure I.02 : les boues primaires.....	5
Figure I.03 : les boues physico-chimiques.....	6
Figure I.04 : les boues biologiques.....	7
Figure I.05 : traitement général des boues.....	15
Figure I.06 : Représentation schématique des différentes étapes de dégradation de la matière organique en méthane et dioxyde de carbone lors de la réaction de digestion anaérobie des boues d'épuration.....	22
Figure I.07 : les différentes formes des digesteurs.....	27
Figure I.08 : Schéma de fonctionnement d'un digesteur.....	29
Figure I.09 : Représentation schématique de la chaîne du digesteur.....	30
Figure I.10 : Schéma de la valorisation de la boue.....	33
Figure II.01 : Schéma de la localisation de la step de bathioua.....	37
Figure II.02 : Schéma général de la station de Bathioua.....	42
Figure II.03 : Les grilles.....	43
Figure II.04 : Dessablage-Déshuilage.....	44
Figure II.05 : Décanteur primaire.....	45
Figure II.06 : Bassin d'aération.....	47
Figure II.07 : Décantation Secondaire.....	48
Figure II.08 : Epaissement gravitaire.....	49

Figure II.09 :Table d'égouttage.....	50
Figure II.10 : Digesteur anaérobie.....	51
Figure II.11 :Epaississement final.....	52
Figure II.12 :Filtre à bande.....	54
Figure II.13 :Gazomètre.....	55
Figure III.01 :courbe granulométriquedelaboue de bathioua.....	61
Figure III.02 :Le programme de calcination.....	70
Figure III.03 :Les matériels utilisés pour le MS.....	72
Figure III.04 :Les matériels utilisés pour le MVS.....	74
Figure III.05 :Les matériels utilisés pour le PF.....	78

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
Chapitre I: Synthèse Bibliographique	
I.1. Notion sur le traitement des eaux usées.....	2
I.1.1. Définition des eaux usées.....	2
I.1.2. Les différents types des eaux usées.....	2
I.1.3. Caractéristiques des effluents.....	3
I.1.4. Types de traitement des eaux usées	3
I.1.5. Objectifs de traitement des eaux usées.....	5
I.2. Définition des boues.....	5
I.2.1. Origine des boues.....	5
I.2.2. Composition des boues.....	7
I.2.3. Les caractéristiques des boues.....	8
I.2.3.1. Les caractéristiques chimiques des boues.....	8
I.2.3.2. Les caractéristiques biologiques des boues.....	9
I.2.3.3. Les caractéristiques physiques des boues.....	11
I.3. Traitement des boues.....	11
I.3.1. Méthodes de séparation physico-chimiques.....	12
I.3.2. Méthodes de réduction des nuisances olfactives par stabilisation.....	15

I.4.Effets sur la santé des diverses filières de traitement.....	18
I.4.1. Risque sanitaire de la mise en décharge.....	18
I.4.2.Risque sanitaire de l'épandage.....	19
I.4.3.Risque sanitaire lié à l'incinération des boues.....	19
I.5.La digestion anaérobie des boues urbaines.....	20
I.5.1. Description du digesteur.....	20
I.5.2. Principe de fonctionnement.....	21
I.5.3.Conditions physico-chimiques nécessaires à la digestion anaérobie.....	24
I.5.4.Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie.....	25
I.5.5.La chaîne de digestion.....	26
I.5.5.1.L'épaississement des boues avant la digestion.....	26
I.5.5.2.Digesteur.....	26
I.5.5.3.Stockage du gaz.....	29
I.5.6.Paramètres de contrôle de la digestion anaérobie de boues...	30
I.5.7. Performances de la digestion anaérobie.....	32
I.5.7.1. Abattement de la matière volatile.....	32
I.5.7.2. Abattement de la matière sèche.....	32
I.5.7.3.Production de méthane, une énergie valorisable.....	32

Chapitre II :*Présentation générale de la station de Bathioua*

II.1 Situation géographique.....	37
II.2. Historique de la station de Bathioua	38
II.2.1. Données de base	38
II.2.2.Description de la procédure de traitement de la station de bathioua ...	39

Chapitre III :Caractérisation, Discussion et Augmentation

III.1.compositions des boues	57
III.2.production de boue.....	58
III.3.essai d'identification.....	59
III.3.1.les caractéristiques physique.....	59
III.3.1.1.la teneur en eau naturelle.....	59
III.3.1.2.le poids spécifique.....	60
III.3.1.3.analyse granulométrique.....	60
III.3.1.4.Les limites d'Atterberg.....	63
III.3.1.5.Essai de bleu de méthylène.....	65
III.3.2.Les caractéristiques chimiques.....	66
III.3.2.1.Teneur en carbonate de calcium (CaCO ₃).....	66
III.3.3.Caractérisation rhéologique de la boue D'Oran.....	66
III.3.3.1.L'étude rhéologique.....	67
III.3.4.Caractérisation minéralogique de la Boue.....	68
III.3.4.1.Diffraction des Rayons X	68
III.3.4.2.Spectroscopie Infrarouge (IR).....	68
III.3.4.3.Analyses chimiques.....	70
III.3.4.4.Préparation des matériaux à base de boue.....	70
III.4.Méthode d'analyse des boues.....	71
III.4.1.Paramètres à analyser.....	71
III.4.2.Techniques d'analyse.....	71
III.4.2.1.Teneur en Eau et Densité.....	71
III.4.2.2.Siccités ou matière sèche.....	72
III.4.2.3.Teneur en MVS.....	73
III.4.2.4.Teneur en matières minérales.....	75

III.4.2.5.Comportement Mécanique.....	75
III.4.2.6.Potentiel d'hydrogène.....	76
III.4.2.7.Viscosité d'ENGLER.....	76
III.4.2.8.Cendre.....	77
III.5.Interprétations et discussions.....	78
III.6.Principe de la valorisation des boues.....	80
III.7.Récupération de produits.....	80
III.8.Récupération d'énergie.....	80
III.9.Valorisation agricole.....	81
III.9.1.Épandage agricole.....	81
III.9.2.La réhabilitation des terrains.....	81
III.10. Autres voies de valorisation.....	82
Conclusion	84

Introduction Générale

Introduction Générale

La pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement des grandes quantités de produits chimiques dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air et la terre.

Sous la pression des besoins considérables et en raison de l'augmentation de la population et l'évolution des modes de vies, des besoins de plus en plus importants en eau se font sentir d'où le recours au recyclage des eaux usées non seulement à l'alimentation en eau potable humains et des animaux mais aussi pour l'agriculture et l'industrie.

Les eaux usées issues des diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telle quelles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux. Elles doivent donc subir, avant leur rejet dans le milieu naturel, un traitement d'épuration qui conduit à la production des boues résiduaires.

Dans le contexte actuel de protection de l'environnement, l'élimination des boues d'épuration constitue un des enjeux majeurs pour notre pays.

L'accroissement du nombre de STEP en Algérie s'accompagne de production de quantités non négligeables de boues d'épuration. Un problème majeur consiste à trouver une solution pour éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

L'utilisation agricole constitue l'un du mode d'élimination de ces boues. Cependant, cette voie de valorisation se heurte à des défis de plus en plus importants. En effet, la présence de métaux dans les boues aggrave le problème de leur valorisation agricole. Dès que leur concentration dans les boues excède une valeur seuil en éléments traces métalliques, les boues résiduaires sont susceptibles d'exercer des effets toxiques sur les végétaux. C'est ainsi que leur utilisation est interdite dans l'épandage.

L'objectif du traitement est de réduire le volume des boues produites, mais également de les valoriser par une réutilisation à des fins agricoles, permettant ainsi d'enrichir les sols sans recourir à des engrais chimique.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I.1. Notion sur le traitement des eaux usées

I.1.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des effluents provenant des différentes utilisations que ce soient domestiques ou industrielles ou même des eaux de ruissellement. Ces eaux contiennent des importantes Quantités en matières polluantes provoquant la contamination du milieu dans lequel elles sont déversées.

I.1.2. Les différents types des eaux usées

On peut classer les eaux usées en deux types, qui sont : les ERU et les ERI.

a. Les Eaux Résiduaires Urbaines (ERU) :

Ce sont des eaux issues des rejets provenant des activités humaines enrichies des produits plus complexes. Parmi les eaux usées urbaines, on a des eaux usées domestiques et des eaux de ruissellement; dont les eaux usées domestiques sont des eaux provenant des activités ménagères à savoir les lessives, les nourritures et les autres nettoyages domestiques, ainsi les eaux de ruissellement sont des eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les voies publiques et les marchés ceux qui entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, et des boues. C'est pourquoi les eaux de ruissellement contiennent toutes sortes de bactéries, de moisissures et de champignons en quantités considérables.

b. Les Eaux Résiduaires Industrielles (ERI) :

Ce sont des eaux issues des rejets provenant des activités industrielles dont les sources polluantes se différencient selon les matières premières utilisées et les produits de transformations. Les effluents provenant des usines sont de deux sortes :

- Les effluents à caractère nettement industriel dus aux activités propres de l'usine qui sont des liquides résiduaires résultant des fabrications pouvant contenir des substances et des solutions de sous-produit,
- Les effluents des ateliers qui sont des eaux étant utilisées dans des circuits de réfrigération, ayant servies à nettoyer ou à laver les appareils, les machines et diverses installations.

I.1.3. Caractéristiques des effluents

Les eaux usées municipales et industrielles renferment une grande variété de polluants d'origine organique, inorganique et biologique qui vont se trouver en suspension, sous forme de colloïdes ou dissoutes y compris les boues. Ces polluants peuvent engendrer des contaminations, Les polluants organiques sont des protéines, des hydrates de carbone, des acides gras, des huiles et des matières synthétiques comme les agents tensioactifs, les phénols ainsi que les pesticides. Si les éléments sont fermentescibles, les polluants sont dits biodégradables comme le cas des eaux ménagères. Les polluants d'origine inorganique renferment des chlorures, des sels minéraux comme le calcium, le magnésium, le potassium, le phosphore, l'azote et le soufre, ainsi que des ions métalliques tels que le cuivre, le cadmium, le plomb, le chrome, le manganèse, le nickel, le fer, le mercure et le zinc. On a aussi des éléments inertes sous forme de sédiments tels que les sables, les argiles et les poussières. Les polluants dits biologiques sont les micro-organismes tels que les bactéries, les protozoaires, les virus et les parasites. L'enlèvement de ces polluants est réalisé à l'aide de procédés physiques, chimiques et biologiques. [1] [2] En vue de résoudre le problème de pollution dû aux déversements et dépôts directs ou indirects de matières de toutes natures et plus généralement de tout fait de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux ; des traitements doivent être considérés pour pouvoir dépolluer ces eaux.

I.1.4. Types de traitement des eaux usées

Afin de préserver la qualité des eaux naturelles, les eaux usées sont épurées avant leur rejet dans le milieu naturel. Ce traitement d'assainissement peut être collectif, regroupé ou autonome. Les stations d'épurations sont des équipements épuratoires qui assurent une dépollution plus ou moins poussée des eaux usées, et une production de boues. Elles font en général intervenir des traitements biologiques aérobies comme les boues activées. Le procédé dit « à boues activées » utilise l'épuration biologique dans le traitement des eaux usées. C'est un mode d'épuration par culture libre. Ce procédé fait partie des traitements secondaires ainsi des procédés physiques et chimiques.

Les procédés de traitement physique comprennent la sédimentation, la flottation, la floculation et la filtration. Et pour les procédés chimiques, on a : la précipitation, la transmission de gaz, l'adsorption et la désinfection. Tous ces procédés peuvent être regroupés dans des chaînes de traitement dont le but est de conserver l'environnement.

*La figure suivante représente les étapes de traitement complet d'épuration d'eau usée.

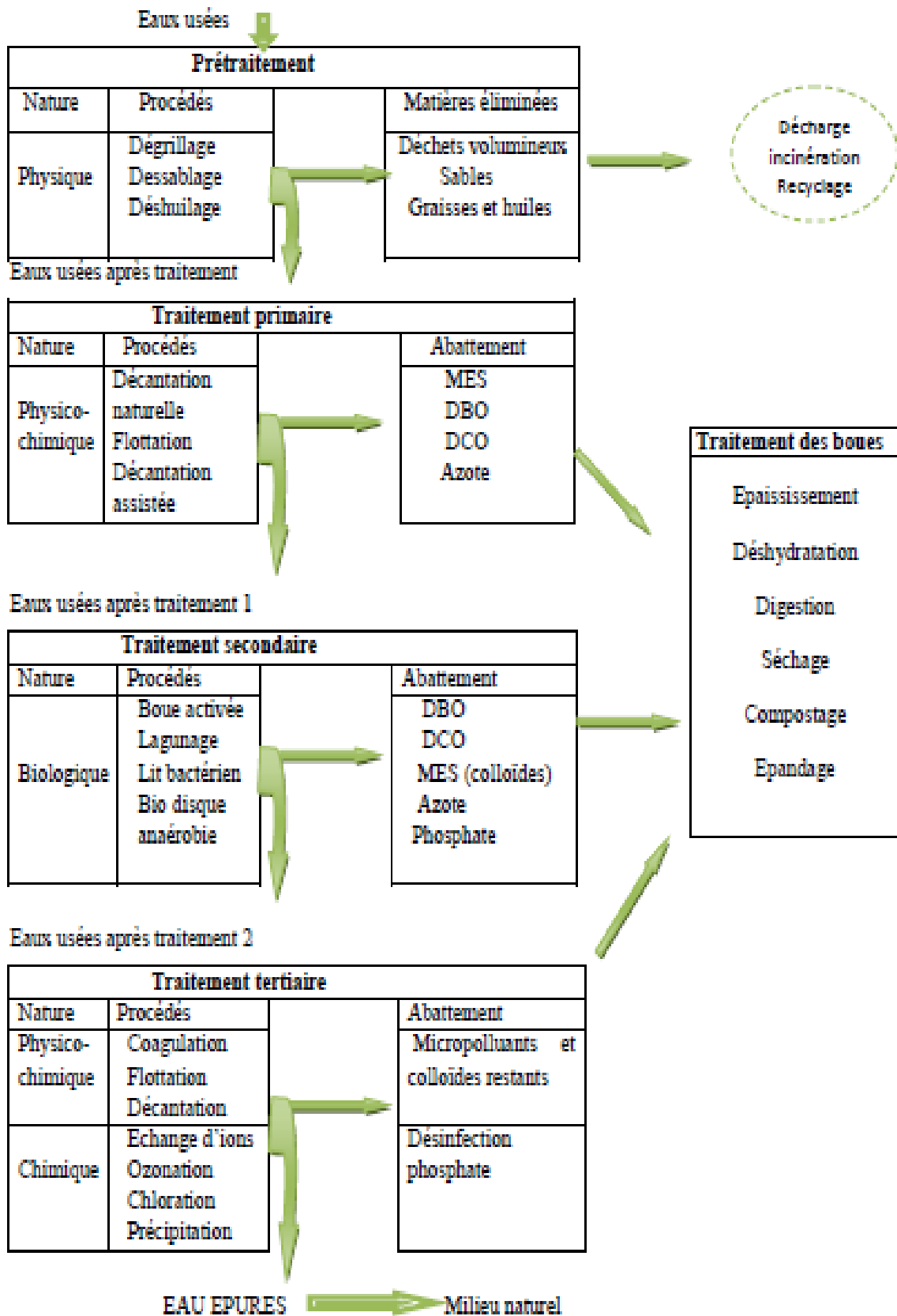


Figure I.1.: Etapes d'une filière de traitement des eaux. (SADOK, 1999)

I.1.5. Objectifs de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles transportent afin de rendre au milieu récepteur une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs.

I.2. Définition des boues

Les boues d'épurations sont les principaux déchets issus du traitement biologique des eaux usées et sont constituées de matière organique plus ou moins minéralisée, de matière minérale issue de l'effluent, de bactéries et de leurs résidus. On distingue les boues primaires issues d'une décantation primaire et les boues dites biologiques issues de la décantation secondaire

I.2.1. Origine des boues

L'épuration des eaux résiduaires urbaines se traduit notamment par une production de boues en excès qu'il convient d'évacuer périodiquement. La composition des boues dépend de la nature de la charge polluante des effluents bruts et des techniques de traitement. On distingue ainsi :

- **Les boues primaires**, obtenues au niveau des décanteurs primaires, par séparation physique des matières en suspension décanables organiques et minérales. Elles présentent un taux de matière organique de 50 à 70 %. Ces boues dites "fraîches" sont extrêmement fermentescibles.

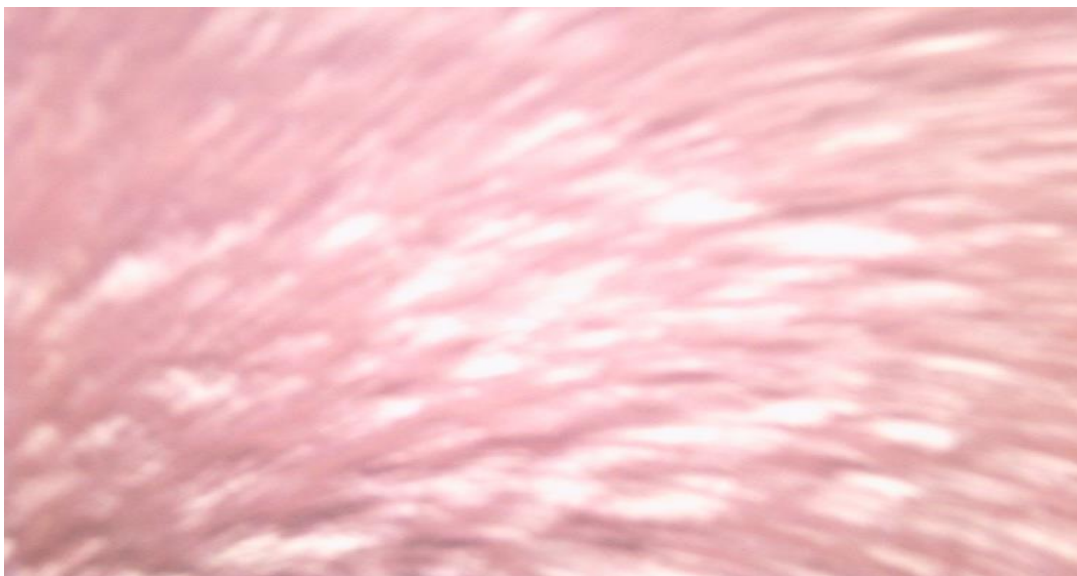


Figure I.02 : Les boues primaires

- **Les boues physico-chimiques**, engendrent par la formation d'un complexe entre la quasi-totalité de la pollution particulaire et colloïdale de l'eau et les réactifs injectés.

Ces réactifs se trouvent dans les boues sous forme d'hydroxydes métalliques ou de précipités minéraux (sulfate, phosphates, ..). Ces boues présentent un taux de matière organique de 40 à 65 % selon le conditionnement chimique appliqué.



Figure I.03 : Les boues physico-chimiques

- **Les boues biologiques**, issues du métabolisme de la pollution organique biodégradable au cours d'une épuration biologique à cultures libres (boues activées) ou fixées (lits bactériens, bio filtres). Le taux de matière organique est de l'ordre de 5 à 70 %. Elles sont fermentescibles (SATIN & SELMI, 2006).



Figure I.04 : Les boues biologiques

I.2.2. Composition des boues

La composition des boues résiduaires est fonction de nombreux paramètres notamment de la composition des eaux usées, du caractère du réseau d'assainissement, du type de traitement des eaux et des boues. Une boue est composée d'eau ; bactérie ; matière organique et de matière minérale [3].

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 en éléments utiles des boues (Source : ADEME, 2001- (dossier documentaire)

	Boues liquide	Boues pâteuses	Boues chaulée	Boues compost	Boues sèche
Teneur en matières sèches MS	2 à 7	16 à 22	90 à 95	25 à 40	40 à 60
Teneur en matière organiques %MS	65 à 70	50 à 70	50 à 70	30 à 50	80 à 90
Teneur en matières minérales %MS	30 à 35	30 à 50	30 à 50	50 à 70	10 à 20
pH	6.5 à 7	7 à 8	6 à 8	9 à 12	6 à 7
Rapport Carbone / azote(C / N)	4 à 5	5 à 6	4 à 6	8 à 11	15 à 25
Azote (Kg N/T brute)	2 à 4	8 à 12	30 à 50	6 à 9	5 à 9
Phosphore kg P ₂ O ₅ /T brute	2 à 3	6 à 9	50 à 70	6 à 10	6 à 8
Potassium (kg K ₂ O/T brute)	0.9	0.8	5	1	1 à 2

I.2.3. Les caractéristiques des boues

I.2.3.1. Les caractéristiques chimiques des boues

. Les matières en suspension :

Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [4].

. Les matières volatiles sèches :

Elles représentent la fraction organique des matières sèches et sont obtenues par calcination de ces matières sèches à 525 °C/2 h, la différence de poids entre les matières sèches à 105 °C et les matières sèches à 525 °C donne la (perte au feu) et correspond à la teneur en matières volatiles sèches en (mg /l) d'une eau [4].

. Les matières minérales :

Elle représente le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son (extrait sec) constituée à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matières organiques consommatrices d'oxygène [4].

Fraction volatile (en % des matières sèches) :

C'est le rapport des matières volatiles (en g/l) sur les matières sèches (en g/l). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération....) [5].

La siccité

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

*Boues liquide : siccité de 0-10%.

*Boues pâteuses : siccité de 10 -25%.

*Boues solides : siccité de 25 -85%.

*Boues sèches : siccité supérieure à 85% [6].

Indice de boue

L'indice de boue est défini à partir de tests de décantation permettant d'obtenir des volumes de boues compris entre 100 et 250 ml [7]. Si:

IB < 100 : correspondent à des boues qui sédimentent facilement.

100 < IB < 200 : décantation difficile (quelques filaments).

IB > 200 : mauvaise décantation (boue riche en filaments) [8].

Définition de volume de décantation

Le volume décanté pendant 30 min, doit impérativement être inférieur à 300 ml, au-delà, y a nécessité d'opérer une dilution des boues par de l'eau avant la réalisation du test [7].

I .2.3.2. Les caractéristiques biologiques des boues

Les boues résiduaires contiennent une grande quantité de microorganismes (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 compostage [9].

. Les bactéries

Dénombrer de différents types de bactéries dans les boues, une partie de celle-ci est d'origine fécale et certaines sont porteuses de germe, elles peuvent donc être pathogènes.

Les classer en quatre types:

- aérobies strictes qu'elles développent qu'en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées.
- aérobies facultatives qui peuvent se développer en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (aéromonase).
- anaérobies facultatives qui peuvent supporter la présence de l'air mais ne se développent que grâce à des processus anaérobies (la ctobacillus).
- anaérobies strictes dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (Clostridium) [9].

. Les virus

Trouver 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 à mener à bien mais selon l'utilisation ultérieure des boues, il faut s'en préoccuper [9].

. Les parasites

Trouver de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique. Les cas les plus fréquents sont les œufs d'ascaris [9].

Les micropolluants

Les boues contiennent, en faible quantité de nombreux produits qui peuvent être soit toxiques pour les plantes, présentent des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes [10].

Composition des matières organiques

Les boues sont constituées de matières organiques complexes non dégradées. Ces dernières sont principalement constituées de quatre grandes familles : les protéines. Les lipides, et les carbohydrates (glucose) et les acides gras [10].

Composition des matières minérales

Il s'agit essentiellement de ce qui 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 solide [11].

I .2.3.3.Les caractéristiques physiques des boues

. La viscosité

Les boues ne sont pas des liquides newtonien, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement, cette viscosité permet de définir leur caractères thiscotroques qui est important pour leur transport [12].

Masse volumique

Elle permet de calculer le volume de boue à convoier, en l'absence de mesure pour une boue liquide ou pâteuse, on peut considérer en première approximation la pondération suivent : [13].

$$r = 100 (1-S) + (900 \text{ FV} + 2700 \text{ FM}) S$$

$$\text{FM} = (1-\text{FV})$$

Le pouvoir calorifique

Les teneurs en matières organique des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de l'incinérer [14].

. Le pouvoir calorifique inferieur

Son importance est primordiale en incinération, généralement exprime par rapport aux MV, il est reliev au C, H, N, O, S, par écriture de la stœchiométrie de combustion [15].

I .3.Traitement des boues

Le traitement des boues recouvre un grand nombre de procédés qu'il convient des sélectionner afin d'obtenir la siccité requise par l'utilisation final des boues. (GLS. Memotecn°21,2006).Les stratégies de traitement des boues suivant les trois principales lignes de force suivantes :

- Minimiser le volume à évacuer en éliminer l'eau.
- Minimiser les nuisances olfactives et pathogéniques en stabilisant, voire en hygienisant les boues.
- Faciliter le transport, la manutention et le stockage en améliorant la texture de la boue (GUIBELIN E).

I .3.1.Méthodes de séparation physico-chimiques

Il s'agit de technique faisant appel à des procédés purement physiques, avec l'aide d'un réactif, sans réduction de la masse de matière sèche (GUIBELIN E).

a. Epaissement

L'épaississement, première étape du traitement de boues, permet d'augmenter la concentration pour le bon fonctionnement des installations à l'aval.

Il peut être statique (gravitaire) ou dynamique (table d'égouttage, flottation, centrifugation).

- Epaissement statique gravitaire : Il est plutôt adapté aux boues minérales hydrophobes, hydrophiles minérales ou hydrophiles peu fermentescibles.

Il permet de concentrer, sous la seule action de la force de pesanteur, des boues en sortie de décanteur ou de clarificateur et de les amener à une concentration de quelque dizaine de g/l en vue d'une digestion, d'une déshydratation ultérieure ou d'un stockage à des fins d'épandage.(GUIBLIN E).

- Epaissement dynamique sur table (ou tambour) d'égouttage :

Il s'opère généralement dans le cas de petites stations d'épuration.

Sous l'action de polymères spécifiques, les boues sont floculées dans un bac puis entraînées sur une bande filtrante fonctionnant en continu. L'eau interstitielle est alors drainée par la seule force du champ de pesanteur à travers la toile. Cette dernière est lavée en continu afin d'éviter un colmatage du système.

Une variation de cette technologie consiste à consister la table par un tambour filtrant tournant à faible vitesse. (GUIBLIN E).

b. Déshydratation

La déshydratation constitue la deuxième étape de réduction du volume des boues. Elle s'opère sur des boues épaissies, stabilisées ou non, on vise d'une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle, de manière à les rendre soit pâteuse (siccité de 16 à 30%) soit solides (siccité supérieure à 30 %). (SATIN M, SELMI B, 2006).

- **Décanteuse centrifuge :**

La décantation centrifuge est une décantation sous une accélération pouvant atteindre 2000 à 3000 fois celle de la pesanteur, dans ces conditions, la vitesse de décantation, et donc le temps de décantation des particules, sont considérablement augmentés, permettant ainsi d'atteindre l'état pâteux avec un temps de séjour de quelques dizaines de secondes seulement.(GUIBELIN E).

- **Filtre à bande :** Les filtres à bandes sont classés en basse, moyenne et haute pression selon la pression appliquée, variant de 1.5 à 5 bars .La boue préalablement conditionnée, après passage dans une zone d'égouttage pour évacuer la plupart des eaux interstitielles, est prise en sandwich entre deux toiles filtrantes qui circulent à une vitesse comprise entre 1 et 10 m/min entre plusieurs rouleaux dont la disposition et la taille décroissante font croître progressivement la pression des pressages qui assure la siccité final gâteau. Les toiles sont nettoyées en continu à l'eau claire sous une pression de 7 à 8 bars.(GUIBELINE).

- **Filtres à plateaux :**

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

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

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

- Une phase de décatissage : la pompe est arrêtée et la pressée terminée. Le vérin dégage la première chambre de filtration libérant le premier gâteau sous son propre poids. En outre, une phase de lavage à l'eau sous haute pression est lancée toutes les 10 à 30 pressées afin de maintenir la capacité de filtration. (GUIBLIN E).

Tableau I.2.Exemples de performance en déshydratation des boues

(DAUVERGNE, 2007)

Type de déshydratation	Origine des Boues	Type de boues	Siccité Gâteau(%)	Conditionnement
Décantation Centrifuge	brasserie	Biologiques (digérées)	18 à 22	Polymère cationique 10 à 12 kg/t MS
	conserverie	Primaires	11 à 15	Polymère cationique 8 à 10 kg/t MS
	distillerie	Primaires	20 à 25	Non
	eaux urbaines	Biologiques	16 à 20	Polymère cationique 5 à 8 kg/t MS
	Laiterie	Primaires	10 à 13	Polymère cationique 6 à 10 kg/t MS
	papeterie	Biologiques	30 à 40	Polymère cationique 2 à 3 kg/t MS
	Chimie	Primaires+ biologiques	25 à 30	Polymère cationique 2 kg/t MS
Filtres à bandes	eaux urbaines	Biologiques	14 à 17	Polymère cationique 6 kg/t MS
	métallurgie	Primaires	45 à 60	Polymère anionique 2 kg/t M S
	tannerie	Primaires	45 à 60	Polymère cationique
	textiles	Biologiques	15	Polymère cationique

L'organigramme de la figure(I.5) représente le traitement général des boues :

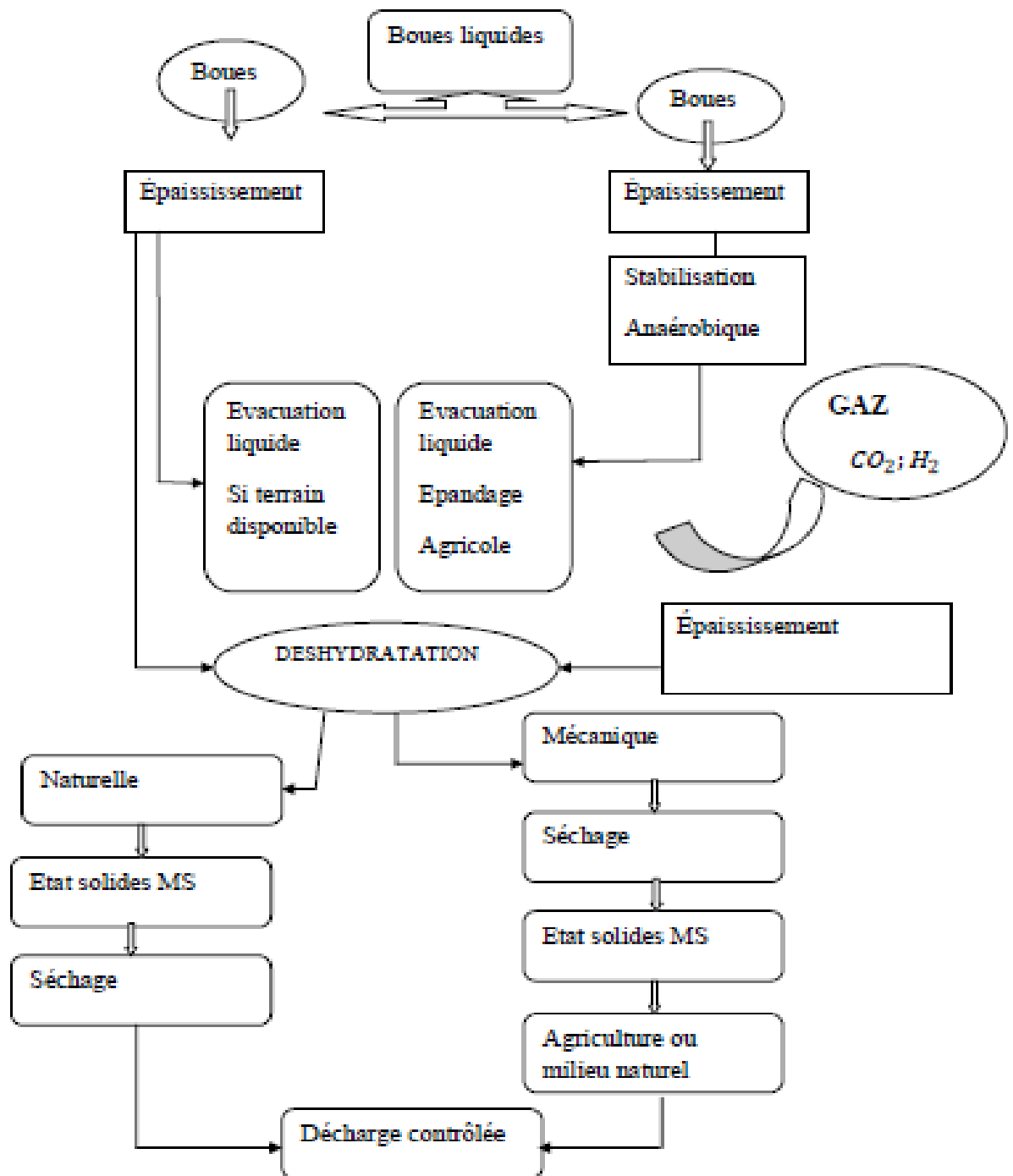


Figure I.05: Schéma de traitement des boues.

I.3.2.Méthodes de réduction des nuisances olfactives par stabilisation

Les techniques de stabilisation vont consister essentiellement à ralentir, voire stopper, les fermentations putrides génératrices de nuisances olfactives. (GUIBLIN E).

Il existe différents types de stabilisation des boues : stabilisation biologique aérobie ou anaérobie (digestion), stabilisation chimique et stabilisation thermique.

***Digestion aérobie :**

La dégradation de la matière organique est obtenue par oxydation biologique.

Ce procédé consiste à aérer la boue pendant un période prolongée, au cours de laquelle les microorganismes aérobies, places en phase de respiration endogène, dégradent les matières organiques. La digestion aérobie est fortement influencée par la température. (SATIN M, SELMI B, 2006).

***Digestion anaérobie :**

La digestion anaérobie est un procédé biologique qui se réalise par fermentation méthanique des boues dans des digesteurs en l'absence d'oxygène. Ce processus permet de transformer les substances organiques de la boue en dioxyde de carbone et méthane. Ce procédé est réalisé dans un réacteur clos, de façon à créer l'anaérobiose et a pouvoir récupérer le gaz produit. (SATIN M., SELMI B, 2006).

***Stabilisation chimique :**

La stabilisation chimique des boues est obtenue par adjonction de chaux qui, par augmentation du pH, bloque les fermentations.

Elle est utilisée généralement en complément sur les boues déshydratées par filtrer à bande ou centrifugation. (GUIBLIN E).

***Stabilisation thermique :**

La stabilisation thermique des boues peut être réalisée :

- Par pasteurisation des boues liquides a une température de 70° C pendant 30 minutes. La destruction des germes pathogènes est obtenue par ce procédé, à l'exception de quelques espèces (sous forme de spores).
- Par séchage thermique partiel ou pousse, a une température de 80 à 100° C.
- Par autoclavage (cuisson a 180-220° C) induisant une destruction totale des germes.

Ce procédé est utilisé pour faciliter la déshydratation mécanique des boues et non dans un but de stabilisation. (GUIBLIN E).

a. Élimination finale des boues

Les contraintes technico-économiques et environnementales orientent le choix du mode d'élimination des boues, en tenant compte des impératifs de la législation en vigueur. (SATINM, SELMI B, 2006.) Il existe 3 filières d'élimination des boues :

b. Valorisation agricole des boues

Pour une valorisation agricole, les boues doivent être stabilisées, épaissies et dans certaines situation déshydratées, voire compostées (Centre d'Appui et de Ressource Télématicque des Élus Locaux.).

• Valorisation agricole des boues liquides :

Elle présente de plus l'intérêt de valoriser les composants de la boue qui intéressent l'agriculture, en particulier l'azote, le phosphore et les matières organiques.

Un éventuel apport de chaux pour la stabilisation ou le conditionnement des boues peut être apprécié et que les terrains agricoles disponibles sont proches : on a l'habitude de considérer comme favorable un rayon de deux à trois kilomètres². La plupart des petites collectivités se trouvent dans une telle situation et est donc logique que cette filière soit la plus employée. L'agriculture a besoin de boues stabilisées, concentrées et homogènes, et ne peut procéder à l'épandage que dans les périodes autorisées par l'état du sol, des cultures et éventuellement de son calendrier de travaux. (Centre d'Appui et de Ressource Télématique des Élus Locaux).

• Valorisation agricole des boues pâteuses ou solide : Lorsque les terres agricoles disponibles pour l'épandage de boues sont plus lointaines que dans le cas précédent, lorsque les risques de présence d'éléments indésirables pour l'agriculture (métaux lourds,..) sont élevés ou par habitude régionale apparemment subjective. (Centre d'Appui et de Ressource Télématique des Élus Locaux).

c. Mise en décharge

Elle consiste à enfouir les boues souvent mélangées avec les ordures ménagères selon les principales conditions suivantes : site étanche, compactage des résidus, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), etc.

Afin d'éviter toute nuisance au niveau du stockage, les boues doivent être débarrassées des matières organiques fermentescibles.

De plus, pour réduire la production de lixiviats, et éviter une rapide saturation de la décharge, ne sont généralement acceptées que les boues peu humides (humidité maximale de 70 %). La mise en décharge étant facturée à la tonne, il est de toute façon préférable de réduire l'humidité pour réduire les coûts d'élimination.

La mise en décharge contrôlée de la boue nécessite des opérations préliminaires

De stabilisation et de déshydratation poussée.

Cette solution va progressivement perdre de son intérêt pour des raisons financières : la limitation de la mise en décharge aux seuls déchets ultimes (non valorisables) à partir de 2002 va nécessiter, dans le cas des boues, une incinération préalable pour ne déposer que des cendres. Le coût global de cette filière va donc augmenter sensiblement. (Centre d'Appui et de Ressource Télématique des Élus Locaux).

d. Incinération

La technique d'incinération est généralement utilisée pour les grandes stations d'épuration urbaines (manque de surface pour l'épandage ou la mise en décharge)(SATIN M., SELMI B,2006).

Pour être incinérées, les boues doivent être fraîches : déshydratées mais non stabilisées.(Centre d'Appui et de Ressource Télématicque des Élus Locaux).

L'incinération des boues offre l'avantage d'une réduction très considérable de la masse de déchets, en éliminant totalement l'eau interstitielle et en détruisant les matières organiques par combustion. Néanmoins, cette technique présente l'inconvénient d'engendrer un résidu (les cendres) où se trouvent concentrés les métaux lourds, ce qui implique un conditionnement spécifique, voir un traitement d'inertage, pour l'admission dans un centre d'enfouissement.

Les matières organiques contenues dans les boues présentent un pouvoir calorifique inférieur de l'ordre de 3500 à 5000 kcal/kg de matières organiques pour des boues fraîches et des boues digérées. Cela constitue donc une source de chaleur récupérable.

L'incinération permet la destruction de tous les germes pathogènes (SATIN & SELMI, 2006). Pour les stations de petites tailles, la Co- incinération avec les ordures ménagères présentent des solutions avantageuses. (DUSKOWSKI A, 2000).

I .4.Effets sur la santé des diverses filières de traitement**I .4.1.Risque sanitaire de la mise en décharge**

La connaissance de l'exposition (inhalation de composés volatils ou gazeux émis par la décharge ou ingestion d'eau souterraine ou de surface contaminée par percolation dans le sol des " jus " de décharge) et des risques sanitaires associés à la mise en décharge est aujourd'hui faible.

Cependant, bien que des plaintes soient nombreuses autour des décharges (pour cause d'irritations, . . .), il n'est pas possible, actuellement, de connaître la part des déchets à ces situations et donc par conséquent, la contribution des boues mises en décharge.

A ce sujet, le rapport Stockage des déchets et santé publique coordonné par l'Institut de veille sanitaire (IVS) et réalisée conjointement avec l'Agence française de sécurité environnementale (AFSSE), conclut :

"Il ressort de cette étude que la situation générale du risque lié au stockage de déchets ménagers en France, n'apparaît pas particulièrement préoccupante, au vu des analyses des conséquences des expositions au long cours. Néanmoins, des améliorations sont à

apporter notamment sur l'impact sanitaire à court terme qui peut encore être associé aux émissions de certaines décharges de déchets bruts insuffisamment contrôlées.

En effet, des troubles liés au stockage de déchets dans de telles conditions peuvent affecter la vie des riverains (nuisances odorantes et/ou émissions d'hydrogène sulfuré qui peuvent entraîner des effets irritatifs au niveau des muqueuses). Par ailleurs, les connaissances sur les effets reprotoxiques (effets toxiques sur la reproduction demandent à être approfondie).

I .4.2.Risque sanitaire de l'épandage

Depuis plus de 30 ans, des boues d'épuration municipales sont épandues en France sur des terres agricoles. Aucun accident portant atteinte à la santé publique n'a été enregistré à ce jour.

- Il faut également savoir que les boues urbaines représentent moins de 2% des Déchets épandus en agriculture (les déjections animales en représentent 94%).

- Il est important de souligner que les risques de contamination par la consommation de produits animaux (épandage sur pâturages passant par l'animal par ingestion directe) existent et bien pour les composés qui ont tendance à s'accumuler dans les graisses animales (graisse, lait), et notamment les PCB et HPA. Nous ne traiterons pas ici des désagréments de voisinage provenant de l'épandage de boues.

I .4.3.Risque sanitaire lié à l'incinération des boues

Les gènes pathogènes sont détruits par la chaleur et ne représente donc pas de risque pour la population.

Les risques sanitaires liés à la voie respiratoire des populations paraissent faibles, selon l'avis d'expert (" L'incinération des déchets et la santé publique ", Société Française de Santé Publique, 11/1999). Mais on peut néanmoins émettre des réserves quant aux effets à long terme, notamment en ce qui concerne les métaux et les dioxines. Les risques sanitaires semblent être fortement liés à la technologie utilisée pour l'incinération des boues urbaines. Citons, à titre d'exemple, les technologies modernes de four à lit fluidisé qui permettent de réduire fortement le risque d'émissions de dioxines ou de furanes qui touchent essentiellement la population par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Aujourd'hui, FNE (France Naturel et Environnement) privilégie la filière de l'épandage compte tenu des besoins en matières organiques des sols et rappelle que les amendements de type potassium par exemple, vendu couramment dans le commerce, ne sont pas exempts de métaux lourds.

Pour conclure, de nombreuses incertitudes scientifiques règnent dans le domaine des boues de STEP, notamment sur l'éventuel risque sanitaire lié à la mise en décharge et même sur les résidus de polluants dans les boues. La réduction, voire la diminution, des rejets ou des entrées de micropolluants dans le réseau d'assainissement doit être le fer de lance en ce qui concerne la problématique des boues. Le principe de la réduction à la source apparaît donc comme l'approche essentielle à privilégier pour garantir la diminution des risques sanitaires des différentes filières d'élimination des boues urbaines (épandage, incinération et mise en décharge).

Les quantités de boues sont en augmentation et cela va se poursuivre. Ceci est le résultat de l'amélioration de la dépollution des eaux usées avant leur rejet dans la nature. Ainsi d'ici fin 2005, dans toutes les agglomérations de plus de 2000 H, toutes les eaux usées devront être traitées dans les stations d'épuration. Il appartient donc dès maintenant d'approfondir les connaissances quant à l'impact sanitaires des boues. (UMINATE, juin 2004).

I.5. La digestion anaérobie des boues urbaines

La méthanisation des boues d'une station urbaines est une réaction très répandue durant le traitement des eaux usées. L'intérêt majeur de la digestion anaérobie est que l'on peut dégager de la matière en produisant de l'énergie (Talhaoui, 2011). La digestion anaérobie est un traitement naturel des déchets organiques qui conduit à une production combinée de gaz convertible en énergie (biogaz), provenant de la décomposition biologique des matières organiques dans un milieu en raréfaction d'air (appelée « fermentation anaérobie » car sans oxygène) et d'un digeste (les déchets « digérés »), utilisable brut ou après traitement (déshydratation et compostage, hygiénisation) comme compost. (Site internet).

La digestion anaérobie est catalysée par des régimes de températures plus ou moins élevées, mésophile (32°-42°C) ou thermophile (50-57°C), favorables aux cinétiques biochimiques. Sous l'action de populations microbiennes, la matière organique subit des transformations successives jusqu'à la production finale de CH₄. (Agriculture Énergie Biomasse).

I.5.1. Description du digesteur

Les digesteurs comportent un volume dans leur partie haute où les boues à digérer sont introduites par pompage.

L'alimentation du digesteur peut se faire par temporisation (alimentation semi-continue) ou en continu. Ces boues y séjournent pendant 3 à 4 semaines. Les digesteurs sont des

enceintes fermées, privées d'oxygène. Ils sont maintenus à une température de 37° C et brassés via des mélangeurs pour maintenir des conditions favorables au développement de micro-organismes.

La recirculation des boues, par le circuit de chauffage, contribue également au brassage.

Le chauffage des digesteurs se fait par un circuit externe de recirculation :

*Les boues sont pompées depuis le bas du digesteur par les pompes ;

*Elles passent dans un échangeur « eau chaude/boue » ;

*Puis retournent vers les digesteurs où elles sont mélangées avec les boues fraîches homogénéisées, ce qui permet de réchauffer celles-ci et de les ensemercer en bactéries méthanogènes,

I.5.2.Principe de fonctionnement

La digestion anaérobie permet une réduction de la matière sèche d'environ 50% (OTV,1997) et la production d'un biogaz, composé principalement de méthane (55-70%) et de dioxyde de carbone (25-40%), avec des traces de l'hydrogène et de H_2S , (Mata-Alvares,J,2003). Les micro-organismes anaérobies consomment peu d'énergie, ce qui entraîne une production de boues limitée (3 à 20 fois inférieure à un traitement aérobie). (Bitton. G, 1994).

La digestion anaérobie consiste en une fermentation des boues, souvent épaissies, sous condition anaérobie stricte. Elle est composée de quatre étapes : l'hydrolyse, l'acidogènes, la cétogénèse et la méthanogènes. (Edeline, F,1997).

Le schéma suivant présente les étapes de production de méthane :

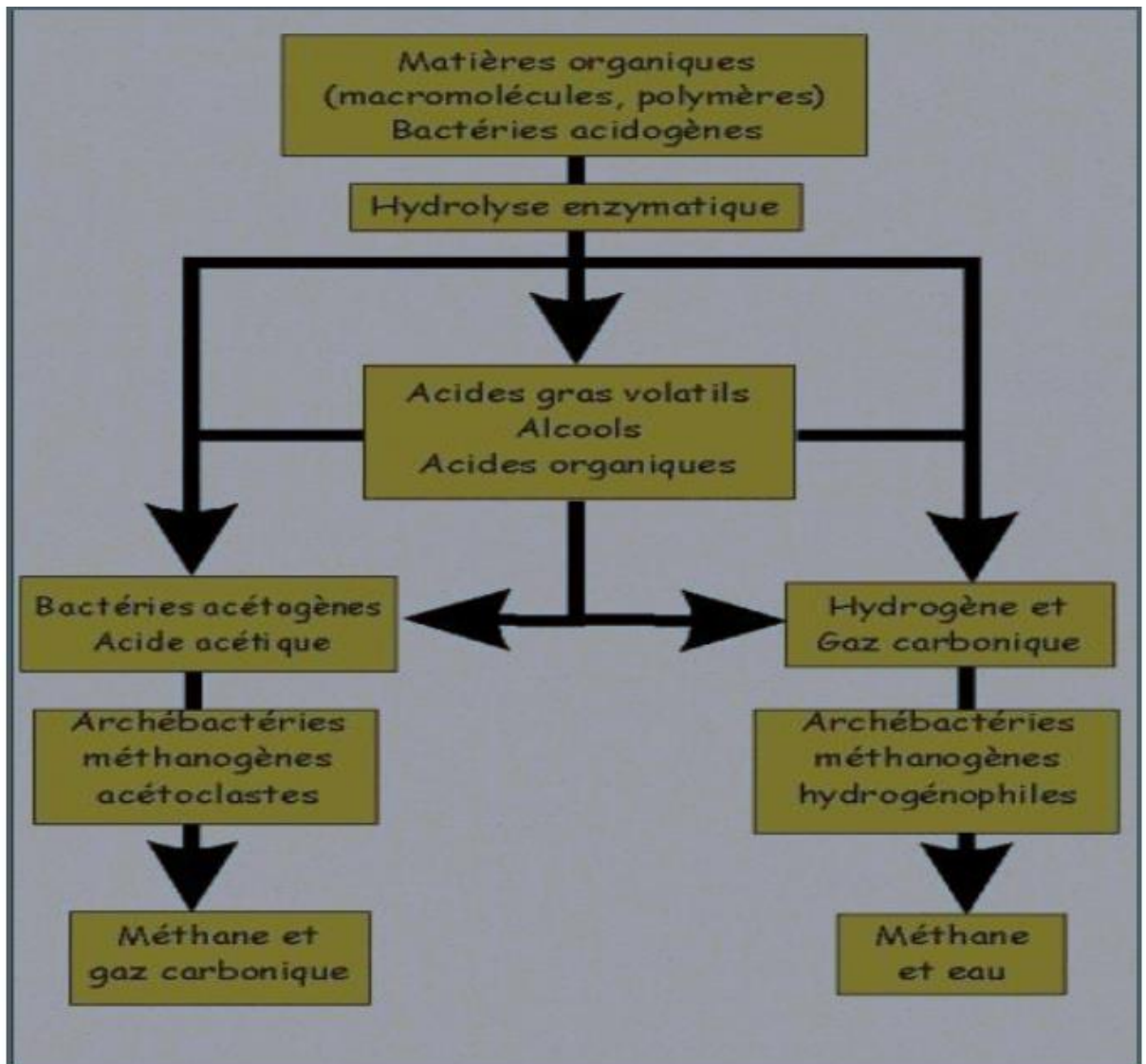


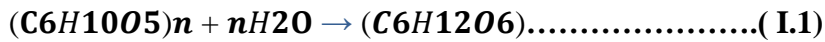
Figure I.(6). Représentation schématique des différentes étapes de dégradation de la matière organique en méthane et dioxyde de carbone lors de la réaction de digestion anaérobie de boues d'épuration. (PAING, 2001).

a) L'hydrolyse :

Cette phase concerne la dégradation de molécules organiques complexes en monomères. Les composés tels que les polysaccharides (comme la cellulose), les protéines, les lipides sont hydrolysés en sucres simples, en acides aminés et en glycérol et acides gras respectivement. Cette transformation est assurée par des enzymes extracellulaires. La plupart des molécules solubles sont facilement hydrolysables. Mais cette étape peut s'avérer délicate dans le cas des composés peu solubles ou solides, comme c'est le cas pour les déchets. (Pierre BUFFIERE, 2007).

On peut schématiser les réactions d'hydrolyse enzymatique comme suit, en considérant la dégradation de cellulose en glucose, où les enzymes joueraient le rôle de catalyseur. (Talhaoui.F, 2011).

Enzymes :

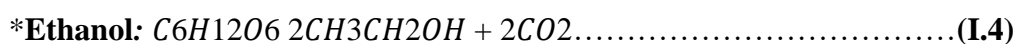
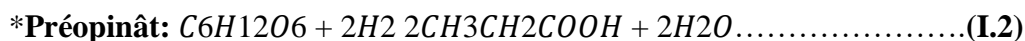


b) L'acidogène :

Cette phase, également appelée phase fermentative, transforme les différents monomères issus de l'hydrolyse en acides organiques à courte chaîne (2 à 6 carbones) ; les principaux acides produits sont l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique.

Comme son nom le suggère, la phase d'acidogènes se traduit donc souvent par une acidification du milieu. Elle est généralement rapide en raison du fort taux de croissance des bactéries mises en jeu. D'autres produits sont également générés comme le dioxyde de carbone et l'hydrogène, ainsi que de l'azote ammoniacal (sous forme NH_4 –ou NH_3) dans le cas de l'hydrolyse des protéines. (Pierre BUFFIERE, 2007). Les microorganismes réalisant cette étape peuvent aussi bien être anaérobies facultatifs (du genre *Acétobacter* ou strictement anaérobies (*Clostridie*). (Angelidaki, I and Ellegaard; 2002).

On représente l'acidogène par les équations suivantes :



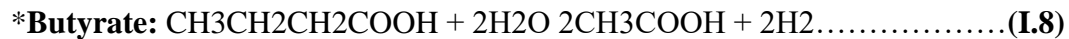
c) L'a céto-genèse :

- Bactéries acétogènes productrices obligées d'hydrogène :

L'étape de l'acétogénèse recouvre la transformation d'un petit nombre de composés simples en acétate, bicarbonate et hydrogène. Les bactéries qui réalisent cette étape sont désignées comme les bactéries productrices obligées d'hydrogène (OHPA).

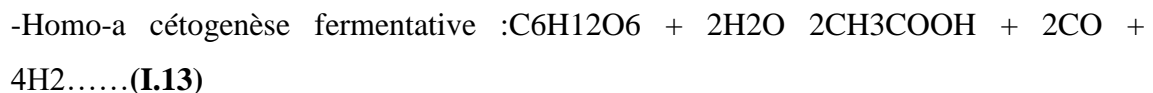
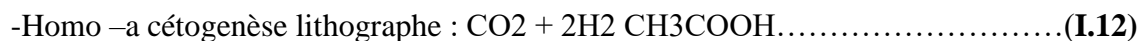
Cependant, l'accumulation d'hydrogène bloque leur développement, et il doit être éliminé. Cette élimination est réalisée soit par les bactéries méthanogènes consommant l'hydrogène, soit par les bactéries sulfate-réductrices (réduction des sulfates en sulfures). Le groupe des bactéries acétogènes est souvent désigné sous le nom de bactéries syntrophes (de trophéin : manger), parce qu'elles fournissent à leurs partenaires métaboliques leur source de carbone ou leur énergie (hydrogène,

bicarbonate ou acétate). Les relations de syntrophie entre les espèces sont souvent considérées comme une clef de voûte de la réaction. (Pierre BUFFIERE, 2007).



- Bactéries mono ou homo-a céto-gènes :

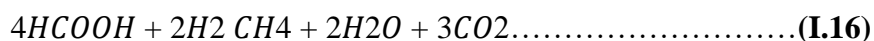
Ces organismes ont une production exclusive d'acétate, soit à partir du bicarbonate et de l'hydrogène, soit en hydrolysant des composés à chaîne plus longue. Elles contribuent à la régulation de l'hydrogène dans le milieu, notamment en utilisant l'hydrogène des bactéries productrices obligées. (Pierre BUFFIERE, 2007).



d) La méthanogènes

Les espèces méthanogènes utilisent principalement comme substrats l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène. Leur taux de croissance est plus faible que celui des bactéries acidogènes, elles présentent des différences significatives avec les autres bactéries, tant du point de vue de la structure que du matériel génétique. Les espèces méthanogènes les plus courantes sont généralement réparties en deux groupes :

- Les méthanogènes azéotropes responsables de 70 % de la production de méthane
- Les méthanogènes hydro-génotrophes qui utilisent l'hydrogène et le dioxyde de carbone. (Pierre BUFFIERE, 2007).



I.5.3. Conditions physico-chimiques nécessaires à la digestion anaérobie

La digestion anaérobie ne peut être réalisée que sous certaines conditions :

- absence d'oxygène, de nitrates ou de sulfates (Trably ; 2002)
- pH proche de la neutralité : optimum 6,8 - 7,5 (Moletta ; 2002)
- concentration en acide gras volatils (AGV) inférieures à 2 - 3 g/l (McCarty ; 2001)

- une pression partielle en hydrogène très faible : 10 - 20 Pa au maximum. (Trably ; 2002)
- un potentiel d'oxydoréduction inférieur à -300 mV. (Suh, Y ; 2002)
- absence d'éléments inhibiteurs : agent chlorés, antibiotique, ...
 - une température stable optimale pour les micro-organismes épurateurs. (Bitton, G ; 1994)

I.5.4 Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie

***Les avantages de la digestion anaérobie sont :**

- Une réduction de la matière sèche des boues de l'ordre de 50%. (Bendixen, 1994) ;
- Une production d'un Biogaz valorisable sous forme d'énergie (chauffage, cogénération d'électricité) ;
- Une réduction du nombre de micro-organismes pathogènes. (Schnurer, A ; 1996) ;
- Un intérêt agronomique, lié à une concentration importante en azote ammoniacal (NH_4^+) et en phosphates (PO_4^{3-}) due à la lyse de la matière organique. (Munch, E, 1998);
- Une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en oxygène ;
- la possibilité de traiter des charges organiques élevées : de 2 à plus de 80 kg de DCO par mètre cube de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98%

***Cependant, elle comporte aussi quelques inconvénients :**

- Une forte sensibilité aux variations de charges et aux composés toxiques
- Une dégradation plus lente que pour les procédés aérobies
- Des coûts d'investissement importants
- Du fait de la faible vitesse de croissance bactérienne, la cinétique d'épuration est lente et les périodes de démarrage des réacteurs relativement longues;
- les populations microbiennes sont sensibles aux perturbations, en particulier à l'oxygène et aux métaux lourds (OTV. 1997) ou encore aux surcharges organiques et le procédé se révèle souvent instable
- le traitement par digestion anaérobie est souvent insuffisant pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel : un post-traitement aérobie de finition est nécessaire pour achever l'élimination du carbone et éventuellement de l'azote et du phosphore.

I.5.5. La chaîne de digestion

-La chaîne de digestion se divise en plusieurs postes : l'épaississement des boues avant digestion, le (ou les) digesteurs, le stockage du biogaz, la déshydratation des boues après digestion. (Office international de l'eau. Janvier 2014).

I.5.5.1. L'épaississement des boues avant la digestion

Les boues issues des décanteurs primaires et secondaires sont généralement épaissies par un épaisseur gravitaire pour les boues primaires, par flottation ou centrifugation pour les boues biologiques. L'objectif est d'envoyer des boues suffisamment concentrées vers la digestion pour réduire le volume des digesteurs. Les concentrations obtenues sont de l'ordre de 40 à 50 g/L de matière sèche en moyenne, soit une siccité de 4 à 5 %. L'optimum souvent préconisé est de 60 g/L.

I.5.5.2. Digesteur

. Nombre de digesteurs pour une ligne de traitement

Il est possible de trouver sur une ligne de traitement de digestion anaérobie un ou plusieurs digesteurs en série. Dans tous les cas, est présent un premier digesteur, chauffé, brassé, où se déroule l'essentiel des phénomènes biologiques.

Certaines stations sont équipées d'un digesteur « secondaire » (le premier est alors appelé « digesteur primaire » non chauffé, brassé, avec récupération du biogaz résiduel. Ce digesteur secondaire fait parfois office de gazomètre (stockage du biogaz).

. Fonctionnement des digesteurs

Les digesteurs comportent un volume dans leur partie haute où les boues à digérer sont introduites depuis l'épaississeur par pompage. L'alimentation du digesteur (unique ou primaire) peut se faire par temporisation (alimentation semi-continue) ou en continu. Le digesteur est schématisé figure ci-dessous.

Le mode d'extraction dépend de la configuration du système :

- Lorsque plusieurs ouvrages existent (digesteur secondaire et/ou stockeur), l'alimentation de chaque ouvrage se fait en général par surverse depuis l'ouvrage précédent. Il est recommandé de pouvoir effectuer de temps en temps un soutirage des boues par le fond du digesteur. Ceci afin de limiter l'ensablement de celui-ci.
 - L'extraction des boues du dernier ouvrage vers la déshydratation se fait par pompage.
- Tous les digesteurs sont protégés contre les risques de surpression par une soupape de sécurité. (Office international de l'eau. Janvier 2014).

. Forme des digesteurs

Il existe plusieurs formes de digesteur. La plus répandue, en Europe continentale, est caractérisée par un rapport hauteur sur diamètre environ égal à 1, un fond conique (pour faciliter l'évacuation des sédiments) et un dôme conique ou bombé (pour résister à la pression). En Allemagne, les formes ovoïdes se sont développées pour les digesteurs de grande taille. Au Royaume-Uni et en Scandinavie, on trouve des digesteurs « cylindriques »

avec toit et fond plat. (Office international de l'eau. Janvier 2014).

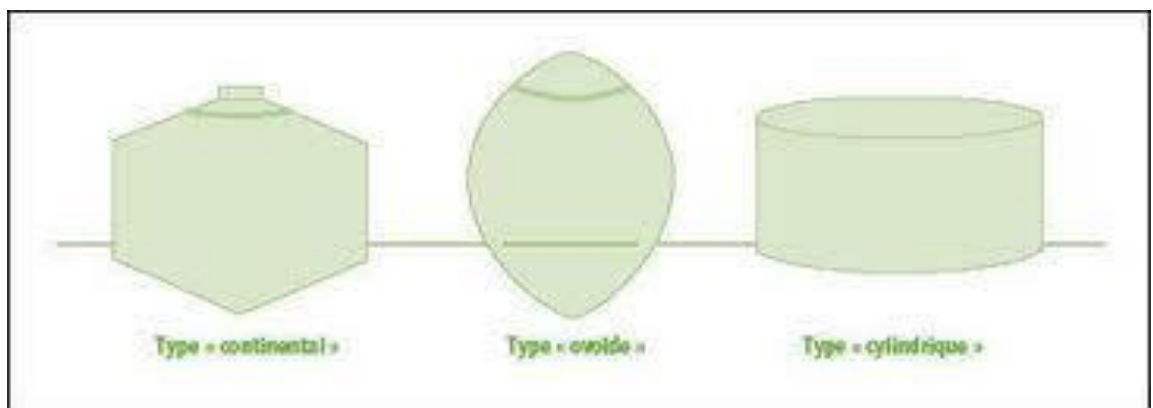


Figure I.7. Les différentes formes de digesteurs.

. Les matériaux utilisés

Les digesteurs sont généralement construits en béton avec une protection interne en résine époxy. Pour les digesteurs de grande taille, l'acier vitrifié s'avère souvent plus compétitif.

Seule la « zone de marnage » (zone de variation du niveau des boues) est sujette à corrosion, les parois en contact permanent avec les boues sont peu attaquées. Les canalisations sont construites de préférence en acier inox, notamment celles soumises à des risques de corrosion (canalisations biogaz).

Les digesteurs sont isolés thermiquement, par 10 à 20 cm de laine de roche ou laine de verre, avec une protection par un bardage en acier.

Les digesteurs peuvent être enterrés à 60 ou 80%. (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999).

. Brassage des boues

C'est un point relativement délicat à maîtriser, car les matériels utilisés sont fortement sollicités et l'état physique du déchet (solide ou boueux) rend l'agitation difficile. Pour les déchets boueux, l'agitation doit permettre d'éviter la décantation de particules denses, tout en interdisant l'entrée d'air dans le digesteur. L'agitation peut être assurée par :

- brassage mécanique à l'aide d'un dispositif immergé tournant lentement (20 à 50 tr/min) tels que vis tubes ou hélice immergée ;
- brassage hydraulique à l'aide de pompes adaptées (cas des déchets boueux) ;
- brassage par injection de biogaz comprimé à la base du digesteur. On parle alors de bullage

de gaz : le gaz est comprimé (de 1 à 2 bars selon la hauteur du digesteur) puis injecté en fond de digesteur par des cannes de distribution situées au centre du digesteur. Il remonte vers la surface en entraînant la masse de boues, ce qui provoque un mouvement de convection important et le brassage de l'ensemble des boues. (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999).

. Chauffage du digesteur

Le chauffage des digesteurs se fait le plus souvent par circuit externe de recirculation, comme présenté sur la figure ci-dessous :

- Les boues sont pompées depuis le fond du digesteur,
- Elles passent dans échangeur « eau chaude/boues»,
- Puis retournent vers la bêche d'alimentation du digesteur où elles sont mélangées avec les boues fraîches, ce qui permet réchauffer celles-ci et de les ensemer en bactéries méthanogènes.

Les échangeurs thermiques sont en général de type tabulaire, ce qui facilite sur entretien. Ils sont alimentés, à contre-courant, par l'eau chaude provenant d'une chaudière biogaz, ou du circuit de refroidissement d'un moteur biogaz (cogénération). (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999).

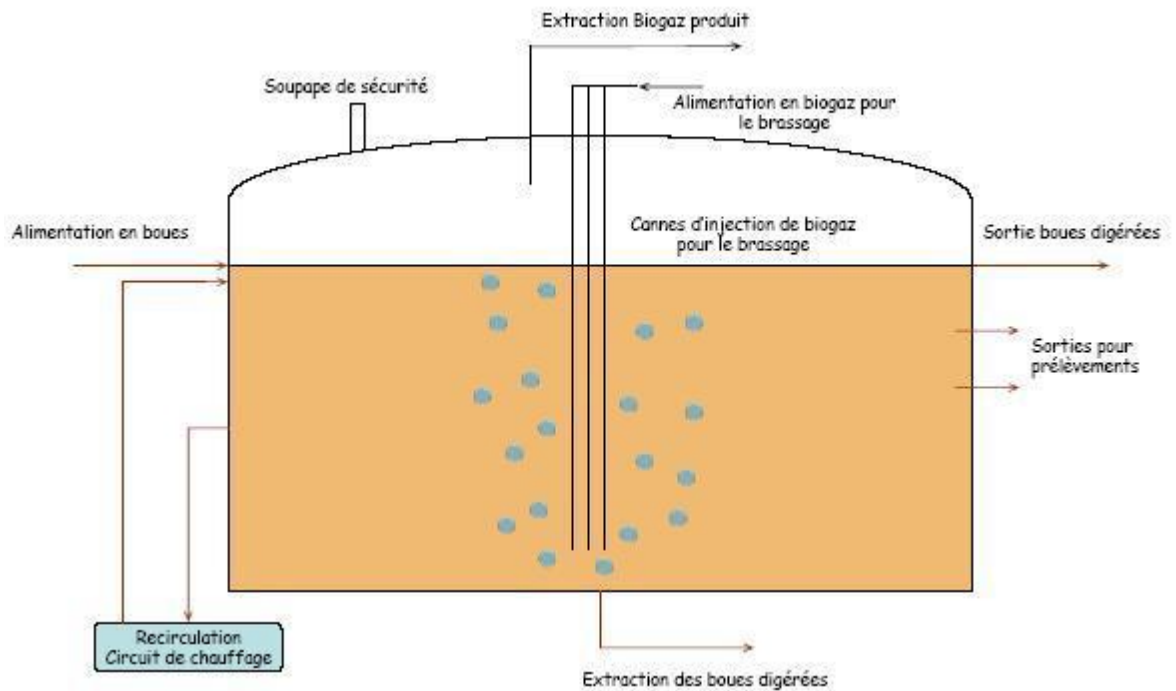


Figure I.8.: Schéma de fonctionnement d'un digesteur.

I.5.5.3. Stockage du gaz

Le stockage du gaz s'effectue :

- Soit un gazomètre à cloche, composé d'une structure en béton et d'une cloche à virole qui monte ou descend en fonction de la quantité de gaz
- Soit dans un gazomètre à membrane souple. (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999).

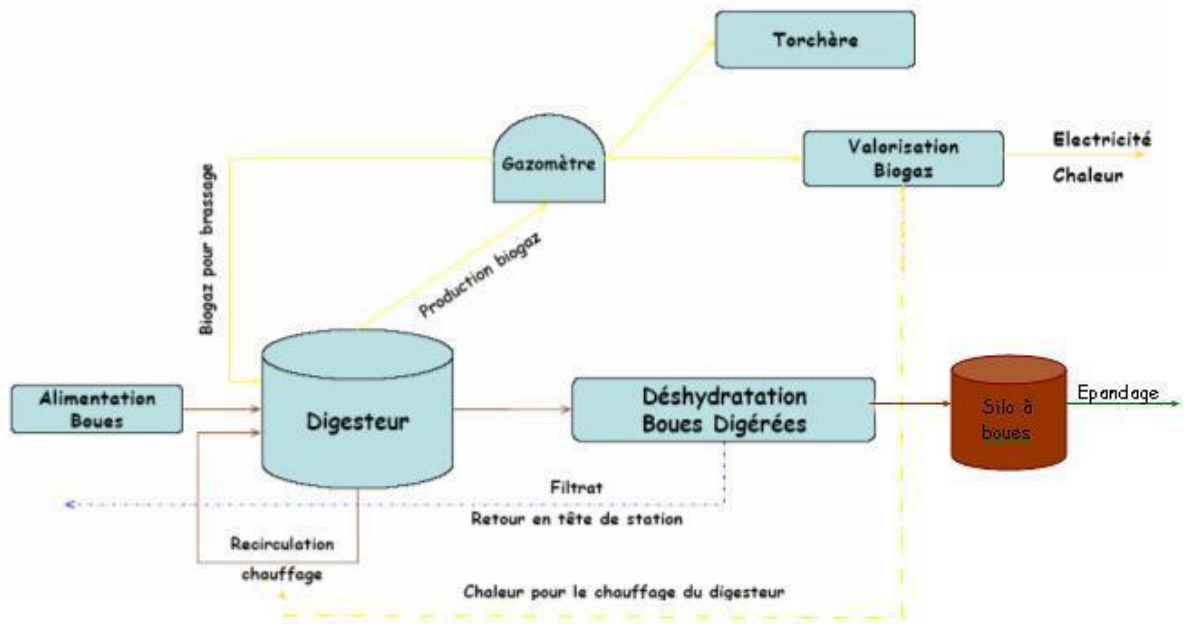


Figure I.9. Représentation schématique de la chaîne de digesteur.

I.5.6. Paramètres de contrôle de la digestion anaérobie de boues

Les paramètres ayant un effet sur la digestion anaérobie des boues sont la température, le temps de séjour, le pH, la composition du déchet à dégrader et la présence d'inhibiteurs.

(Bitton, 1994).

*La température

Il existe trois types de digestion anaérobie :

- La digestion psychrophile (température autour de 6 à 15°C)
- La digestion mésophile (température à environ 30-35°C)
- La digestion thermophile (température supérieure à 45°C).

La digestion anaérobie thermophile est la plus efficace : la réaction est accélérée par la chaleur.

Cependant, dans la pratique, la digestion anaérobie est plus souvent utilisée dans les conditions mésophiles, compromis entre les performances et les dépenses énergétiques dues au chauffage et surtout pour sa plus grande stabilité.

*Le temps de séjour hydraulique

Les digesteurs fonctionnent en régime chémostat. Par conséquent, le temps de séjour hydraulique (TSH) doit être suffisamment long pour éviter le lessivage des micro-organismes épurateurs. Ainsi, il est nécessaire que le temps de séjour hydraulique soit supérieur au temps de génération de nouveaux micro-organismes, en particulier des méthanogènes (microorganismes les plus lents). En culture libre, le TSH est équivalent

au temps de rétention des micro-organismes, et peut être fixé entre 10 et 60 jours : en général il est fixé à 25 – 35 jours (Bitton, 1994).

***Le pH**

Il est indispensable de maintenir le pH dans la gamme de la neutralité (6,7 - 7,4), l'optimum étant autour de 7,0 - 7,2 unités pH. Afin de maintenir le réacteur au pH optimal, celui-ci est régulé par l'ajout de soude ou de bicarbonate de sodium. Le pH est essentiellement lié à la présence d'acides gras volatils. Lors du bon fonctionnement du digesteur, la variation du pH est tamponnée par la présence des bicarbonates produits par les méthanogènes. (Bitton, 1994) Lors d'un stress, ce pouvoir tampon peut diminuer.

***La présence de toxiques et d'inhibiteurs**

La présence d'oxygène, d'ammoniaque, d'AGV, d'acides gras longues chaînes, de métaux lourds, de composés chlorés, d'hydrogène... peut inhiber la digestion anaérobie et plus particulièrement la méthanogènes. (Bitton, 1994). Dans cette partie, seules les inhibitions dues aux AGV, à l'hydrogène et à l'ammoniac seront présentées. La digestion anaérobie est Inhibée par la présence d'AGV en trop grande quantité, le composé le plus toxique étant l'acide propénoïque. En effet, lorsque la concentration en AGV devient supérieure à 2 - 3 g/l le pH diminue et la phase de méthanisation est inhibée. Ceci peut être provoqué par une Surcharge organique. Ainsi, les performances du digesteur dépendent de l'équilibre entre la Synthèse et la dégradation des AGV. L'étape d'acétogénèse est, elle, inhibée par la présence d'hydrogène. Les réactions d'acétogénèse ne sont thermodynamiquement réalisables que pour des pressions partielles en hydrogène très faibles : 10 - 20 Pa. (Degrémont, 1989).

Ces réactions nécessitent donc la présence de micro-organismes accepteurs d'hydrogène: les méthanogènes. Ceux-ci, en consommant l'hydrogène généré, permettent de garder une pression partielle en hydrogène très faible.

La présence d'ammoniac (NH_3 libre) est toxique pour les méthanogènes, à partir d'un certain seuil. (Bitton, 1994).

***Titration alcalimétrique complète**

Un TAC (titre alcalimétrique complet) suffisamment élevé dans le digesteur, permet de maintenir des conditions favorables à la digestion anaérobie.

Comme la concentration en AGV, le TAC se mesure par analyse sur site. D'autres éléments sont également indicateurs du bon fonctionnement de la digestion anaérobie, comme :

-La qualité du biogaz et le débit obtenu.

-La composition et la production du biogaz.

La diminution de la concentration en méthane dans le biogaz indique une baisse d'efficacité de la méthanisation. La teneur en méthane peut être mesurée en continu par un analyseur biogaz. Également, dans la pratique, les exploitants se basent souvent sur le débit de biogaz en sortie de digesteur.

Ces différents contrôles permettent d'engager une action immédiate si un décalage trop important par rapport aux valeurs consignes est mesuré. Ce décalage est synonyme d'une perturbation du processus de digestion.

Pour remédier au problème, des actions spécifiques peuvent être engagées :

-Diminution des apports en entrée en cas de moussage.

-Ajouts de produits anti-mousse en cas de moussage.

-Ajouts de chaux ou soude en cas d'acidification (augmentation de la concentration en AGV, diminution du pH et du TAC).

-By-pass provisoires en cas de surcharge dans le digesteur. (Talhaoui. F; 2011).

I.5.7. Performances de la digestion anaérobie

Les performances de la digestion anaérobie sont variables suivant le type de boue introduit en digestion.

Les performances de cette étape s'évaluent en fonction :

*Du taux d'abattement de la matière volatile,

*Des taux d'abattement de la matière sèche,

*De la production de méthane. (Talhaoui.F ; 2011).

I.5.7.1. Abattement de la matière volatile

Le taux d'abattement de la matière organique lors de la digestion est principalement fonction du type de boue :

*Pour des boues mixtes, il est en moyenne de 55 %.

*Pour des boues biologiques de faible charge, il est évalué à 30

I.5.7.2. Abattement de la matière sèche

Le taux d'abattement de la matière sèche est directement conditionné par le taux d'abattement sur les matières volatiles :

*Pour des boues mixtes, il est en moyenne de 40 %.

*Pour des boues biologiques, il est en moyenne de 20 %. (Talhaoui.F; 2011).

I.5.7.3. Production de méthane, une énergie valorisable

Le principe de valorisation c'est la cogénération (production d'électricité et de chaleur). La chaleur peut être utilisée pour le chauffage des digesteurs et le reste peut servir à tout

autres usages : séchage du digeste, séchage de foin, production d'eau chaude, alimentation d'un chauffage domestique.

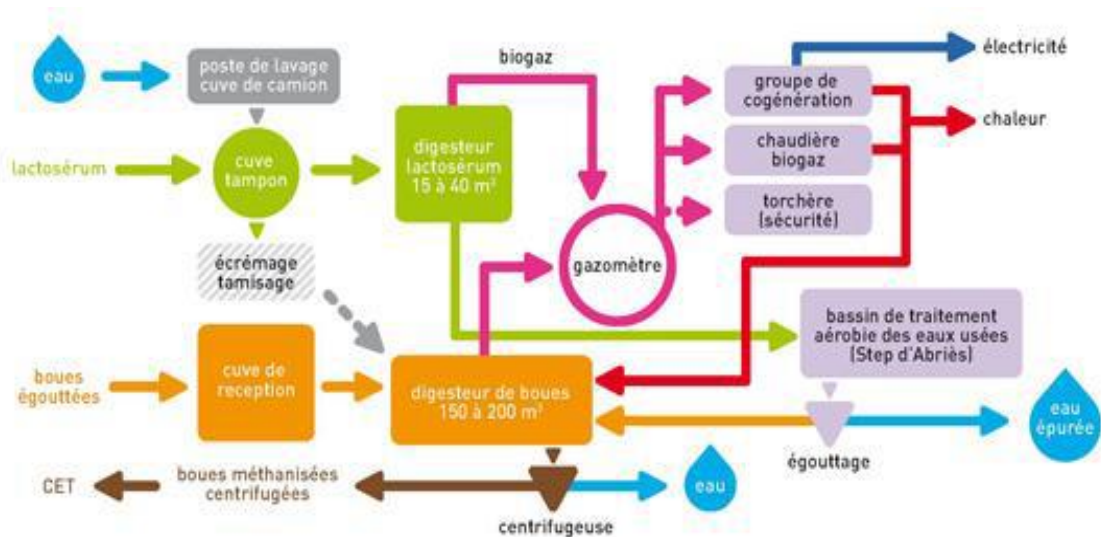


Figure I.10. Schéma de la valorisation de boue.

On peut produire l'énergie électrique à travers l'énergie thermique provenant d'un incinérateur de boues. On note qu'avant de passer dans l'incinérateur, les boues doivent être caractérisées puis traitées par des opérations de fermentations anaérobies produisant un biogaz (CH_4) et des boues stabilisées. Le biogaz pourra servir pour l'allumage du four de l'incinérateur. Et l'incinération des boues stabilisées permet de produire de la vapeur d'eau surchauffée qui fera tourner un turboalternateur.

On note que le calcul énergétique est basé sur la production réelle de biogaz (CH_4) et de boues stabilisées fournie par la station d'épuration d'eau de Bathioua d'Oran. Mr Tafahi fait une simulation sur Thermoptim, il a remplacé le gaz naturel de la centrale électrique à cycle combinée de Terga-Ain Témouchent par les boues de la station d'épuration de Bathioua.

Ainsi la chambre de combustion et la turbine à gaz seront remplacées par un incinérateur. La chaleur contenue dans les gaz d'échappement de l'incinérateur de la figure 111-07 sert de source de chaleur pour produire la vapeur (vapeur réchauffée, vapeur surchauffée HP, MP et BP).

Chapitre II

*Présentation générale de la
station de bathioua*

II. Présentation générale de la station de bathioua :

II.1 Situation géographique:

L'aménagement est situé à l'Est de la Sebkhia d'ORAN, à une vingtaine de kilomètres au Sud de la ville d'Oran et à 7 km du site de la station d'épuration située aux environs de bathioua. Cette dernière refoulera ces eaux vers un site de lagunage et de stockage.



Figure II.1 : Schéma de la localisation de la step de bathioua

-Présentation de la station :

Le traitement des eaux usées, quel que soit le système choisi, fait toujours appel aux procédés de séparation liquide-solide. Cette séparation effectuée dans une station d'épuration spéciale aux traitements des eaux usées.

Une station d'épuration (STEP) est un ensemble d'installations et procédé sous sont dirigées les eaux usées pour éliminer les différents polluants. Nous nous intéressons particulièrement à une STEP type Boues Activées, utilisées comme productrice de boues dans notre étude.

C'est le traitement biologique le plus utilisé pour des stations de taille moyenne à importante (plus de 2000 EH).

II.2. Historique de la station de bathioua :

La plus grande station d'épuration des eaux usées d'Algérie, qui produit des engrais destinés à l'agriculture et du gaz (méthane) pour la production de sa propre énergie électrique, était opérationnelle depuis 2009 dans la wilaya d'Oran. Implanté à bathioua, une localité située à l'est de la ville d'Oran, cette station est d'une capacité de traitement de 350 000 m³/jour. Elle peut prendre en charge les besoins d'épuration des eaux usées d'une population d'environ 1,5 million d'habitants. Sa gestion était confiée à une entreprise autrichienne pendant deux ans.

Pendant la période d'étude, une entreprise espagnole (SIOR) a pris le relais avec un personnel algérien qui est formé à un équipement hautement sophistiqué. La réalisation de la station d'épuration de bathioua répond au double objectif de l'élimination des eaux usées de toute la wilaya d'Oran et de la protection des nappes phréatiques de la région. Les eaux usées qui sont dépolluées à hauteur de 90% seront réutilisées en partie dans l'irrigation de 10 000 hadu périmètre agricole de Tlellat (Notice d'exploitation STEP, 2006).

II.2.1. Données de base :

La capacité de la population raccordée à 1.500.000 EH environ. Soit ainsi les dotations principales suivantes pour la partie urbaine :

a) Débit d'eau usée :

Le tableau suivant représente les différents débits de station d'épuration :

Tableau II.1. Les différents débits des eaux usées dans la STEP de bathioua.(Notice d'exploitation STEP, 2006)

Paramètre	Unité	Valeur
Equivalent Habitant	E.H	1 526 00
Débit moyen journalier	m ³ /j	270 096
Débit moyen horaire-temps sec	m ³ /h	11 254
Débit moyen horaire diurne	m ³ /h	15 006
Débit moyen horaire nocturne	m ³ /h	3751
Débit de pointe horaire-temps sec	m ³ /h	16 200
Débit de pointe-entrée biologique	m ³ /j	1500

b) Charge polluante

Tableau II.2. La charge massique de différentes paramétrées physico-chimiques.(Notice d'exploitation STEP, 2006) :

Désignation	Valeur du paramètre		
	Kg/j	mg/h	E.H/j
Charge massique des MES à l'entrée de la STEP	96 860	359	
Charge massique de DB ₅ à l'entrée de la STEP	91 560	339	60
Charge massique de DCO à l'entrée de la STEP	229 910	848	/
Charge massique de <i>tot</i> à l'entrée de la STEP	16 786	62	11
Charge massique de NTK à l'entrée de la STEP	/	/	11
Charge massique de <i>tot</i> à l'entrée de la STEP	2 746	/	1.8

II.2.2. Description de la procédure de traitement de la station de bathioua :

La station d'épuration est prévue pour les eaux usées du groupement urbain d'Oran qui sont à prépondérance domestique.

Le système de traitement retenu pour l'épuration des eaux usées d'Oran est l'aération à moyenne charge.

La chaîne de traitement est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue.

Le débit est divisé parallèlement sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité du traitement, les opérations de maintenance et la souplesse de fonctionnement de la station.

❖ La filière de traitement de la ligne d'eau comprend ainsi en totalité et successivement :

➤ Prétraitement mécanique comprenant :

- Canal d'arrivée et de by-pass général de la station ;
- Dégrillage fin mécanisé avec un système de traitement des matières retenues ;
- Chenal d'échantillonnage et d'analyses ;

- Ouvrage de dessablage et déshuilage avec installation de traitement de sable ;
 - Station de traitement des matières de vidange et fécales ;
 - Système de filtration biologique des gaz de pollution.
- Décantation primaire constituée de :
- Ouvrage de réparation ;
 - Quatre décanteurs primaires circulaires ;
 - Ouvrage de pompage des boues primaires ;
 - Station de pompage des boues et matières flottantes primaires.
- Traitement biologique constitué de :
- Quatre bassins biologiques avec aération de surface au moyen des aérateurs ;
 - Station de pompage des matières flottantes et mousses ;
 - Système de rebattement des mousses ;
 - Canal de by-pass de l'aération biologique.
- Décantation secondaire comprenant :
- Ouvrage de répartition avec un chenal de by-pass de la décantation ;
 - Huit décanteurs secondaires circulatoires ;
 - Station de pompage des boues et matières flottantes, secondaires ;
 - Deux puits de mesure du débit des boues biologiques de retour.
- Ouvrage de pompage des boues actives comprenant :
- Station de relevage des boues de retour au moyen des Vis d'Archimède ;
 - Station de pompage des boues en excès ;
 - Deux chenaux Venturi pour le comptage des boues de retour.
- Ouvrage de pompage des boues actives comprenant :
- Station de relevage des boues de retour au moyen des Vis d'Archimède ;
 - Station de pompage des boues en excès ;
 - Deux chenaux Venturi pour le comptage des boues de retour.
- Ouvrage de pompage des boues actives comprenant :
- Station de relevage des boues de retour au moyen des Vis d'Archimède ;
 - Station de pompage des boues en excès ;
 - Deux chenaux Venturi pour le comptage des boues de retour.
- Ouvrage de sortie et de désinfection constitué de :
- Canal de comptage des eaux épurées de type Venturi ;
 - Canal de comptage des eaux by-passées de type venturi ;

- Bassin tampon avec un système d'analyse et d'échantillonnage.
- Station de dosage de chlore gazeux ;
- Poste d'eau de service pour le réseau d'arrosage et nettoyage ;
- Poste d'eau de service pour l'alimentation de la bache d'eau de lavage.
- ❖ Quant à la ligne boue, elle est constituée précisément de :
- Ouvrage d'épaississement des boues primaires constitué de :
 - Deux épaisseurs de boues ;
 - Station de pompage, précédé d'un broyage, des boues épaissies primaires.
- Ouvrage d'épaississements mécanique des boues en excès comprenant :
 - Trois tables d'égouttage des boues ;
 - Station de réparation et dosage de polymère ;
 - Station de pompage des boues surnageâtes égouttées.
- Ouvrage de digestion anaérobie des boues comprenant
 - Bassin d'homogénéisation des boues primaires et secondaires ;
 - Station de pompage des boues homogénéisées ;
 - Quatre digesteurs de boues ;
 - Installation de chaufferie formée par 03 chaudières et 02 échangeurs de chaleur.
- Ligne de biogaz constitué de :
 - 04 lignes de récupération du biogaz à partir des digesteurs via des filtres à graviers ;
 - Installation de pompage des gaz par sur presseurs ;
 - Gazomètre pour le stockage du biogaz ;
 - Torchère pour la combustion du gaz ;
 - Ligne d'alimentation du biogaz vers les chaudières.
- Ouvrage de déshydratation et stabilisation des boues constitué de :
 - 02 épaisseurs finaux des boues digérées ;
 - Station de pompage des boues digérées ;
 - 02 lignes de déshydratation constituée chacune de 02 filtres ;
 - 02 stations de préparation et dosage de Polymère ;
 - 02 lignes de transport de boues ;
 - 04 silos de stockage des boues déshydratées ;
 - 02 lignes de chaulage de boues avec 02 silos de stockage de chaux ;
 - Installation de traitement chimique de l'air. (Notice d'exploitation STEP,2006).

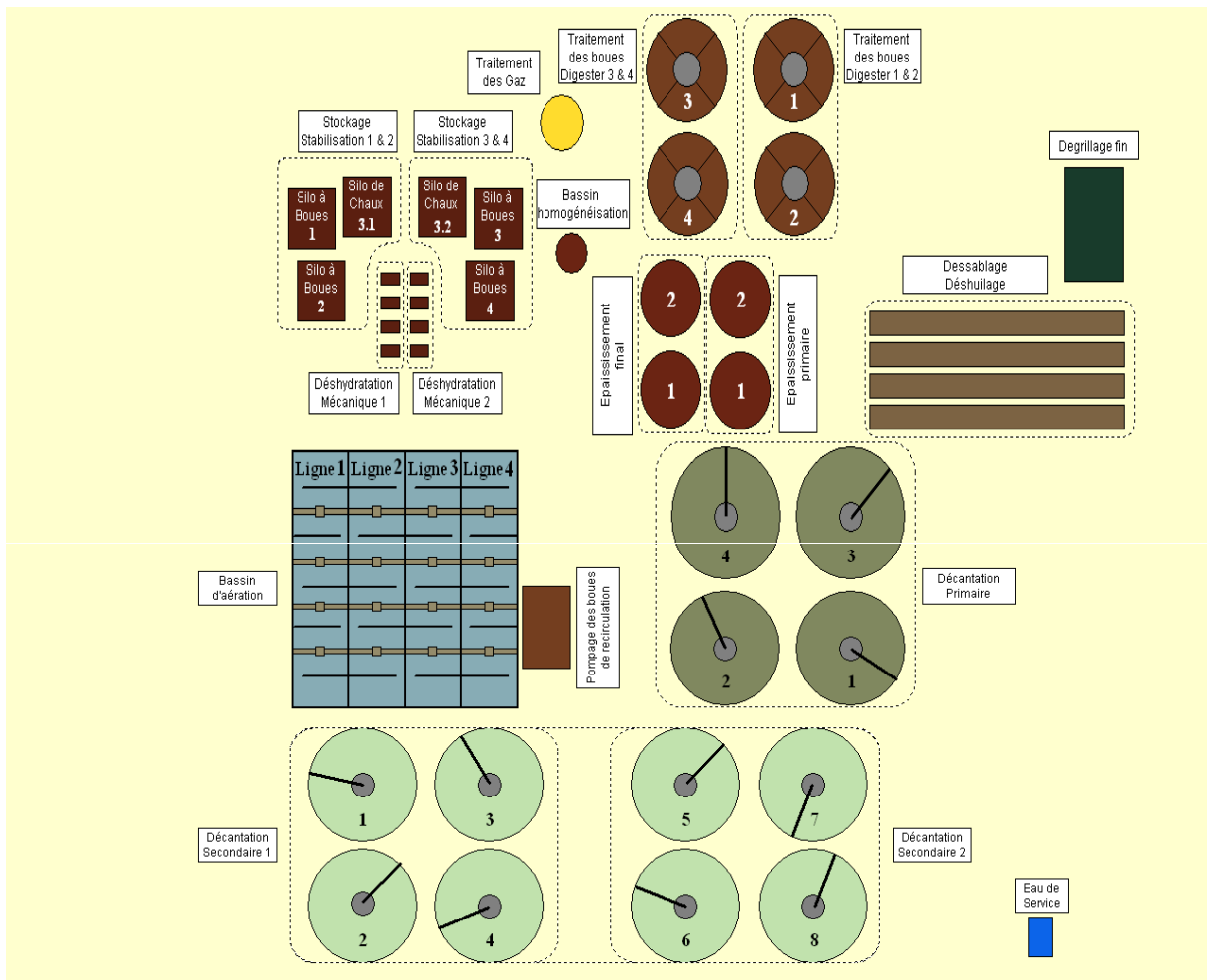


Figure II.2. Schéma général de la station bathioua (Notice d’exploitation STEP, 2006)

II.2.2.1 Dégriillage fin

Le dégrilleur fin qui a pour rôle de débarrasser les eaux brutes des déchets solides, plus ou moins volumineux entraînés par les eaux s’écoulant dans les canalisations d’assainissement, et ayant échappés au dégrillage grossier et d’assurer entre autre la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d’épuration en permettant d’enlever les détrit.

Cet ouvrage, comprenant les quatre canaux de dégrillage est de caractéristiques suivantes :

Tableau II.3. Les dimensions d'une grille. (Notice d'exploitation STEP, 2006).

Dimensions	Valeur
Nombre de grille	4
Espacement entre barreaux (mm)	10
Largeur(m)	1.5
Angle d'inclinaison des dégrilleurs	75
Vitesse de passage maximale dans le canal (m/s)	1.20

**Figure II.3.** Les grilles

II.2.2.2 Dessaleur, déshuileur

Le dessalage est opération dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0.3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération,.....) où ils engendrent des désordres divers.

Le déshuilage a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle et accélérée par injection de fines bulles. Les teneurs en graisses sont appréciées analytiquement par la mesure des MEH.

Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses,.....). Tout l'ouvrage se compose de quatre canaux rectangulaires, de section trapézoïdale, avec les dimensions suivantes :

Tableau II.4. Dimensions d'un dessaleur, canal de déshuilage (Notice d'exploitation STEP, 2006).

Dimensions	Valeur
Longueur (m)	50
Largeur du canal de dessalage (m)	4.8
Largeur du canal de déshuilage (m)	2
Hauteur d'eau utile (m)	4.32
Surface (m ²)	336
Volume unitaire de la zone de dessalage	900
Volume unitaire de la zone de dessalage/ déshuilage	1039
Volume utile total (m ³)	4156



Figure II.4. Dessablage- déshuilage

II.2.2.3. Décanteur primaire

Les effluents ainsi prétraités seraient ensuite dirigés sur un ouvrage de répartition puis quatre décanteurs primaires cylindro-coniques de caractéristiques unitaires suivantes :

Tableau II.5. Dimensions d'un décanteur primaire.

(Notice d'exploitation STEP, 2006).

Dimensions	Valeur
Diamètre(m)	49
Hauteur d'eau utile (m)	2.56
Surface(m ²)	1885
Volume unitaire(m ³)	4825
Volume utile total (m ³)	19300



Figure II.5. Décanteur primaire

II.2.2.4. Traitement biologique

Le procédé d'épuration mis en œuvre est le traitement des eaux usées par boues activées. Il fait appel aux microorganismes dans les eaux pour la transformation et

l'élimination des matières polluantes.

Le réacteur biologique ou bassins d'aération constituent le cœur u procédé, dans lesquels'effectue le métabolisme bactérien à l'origine du phénomène aboutissant à l'épuration.

La géométrie du bassin d'aération est la suivante :

Tableau II.6.dimensions d'un bassin d'aération. (Notice d'exploitation STEP ,2006).

Dimensions	Valeur
Nombre de bassin	4
Longueur au plan d'eau(m)	89.8
Largeur au plan d'eau (m)	22.5
Hauteur d'eau (m)	5..25
Volume net unitaire(m ³)	10 584
Volume net total (m ³)	42 336

Pour assurer les objectifs classiques appliqués à cette station d'épuration à boues activées, le dimensionnement du bassin d'aération prendra généralement en compte les conditions de fonctionnement suivantes :

- Charges massique : 0.5Kg DB05/Kg M.S.
- Concentration en boues activées : 4 g/l.
- Temps de séjour moyen : 2h30 min.
- Age de boues : 2 à 4 j.



Figure II.6.Bassin d'aération

II.2.2.5. Clarification et ouvrage de rejet

Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une meilleure séparation de la biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées.

La liqueur mixte de boues activées formée ainsi dans le réacteur biologique est ensuite dirigée sur l'ouvrage de décantation secondaire. Ce dernier est alimenté par le centre à travers une conduite d'alimentation, sous le radier, débouchant à l'intérieur de la jupe de répartition.

Le but de cette opération est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient.

La liqueur mixte est introduite en son centre ; l'eau clarifiée déborde en périphérie ; dans une double goulotte de reprise et les boues décantées se déposent sur le radier et seront raclées vers le centre de l'ouvrage où elles s'épaississent légèrement.



Figure II.7.Décantation secondaire

II.2.2.6 Chloration et désinfection des eaux épurées

Avant leur évacuation, les eaux traitées doivent être désinfectées pour éviter tout risque de contamination. A cette fin, les eaux épurées de la station subiront un traitement de désinfection par le chlore gazeux.

Le chlore est un oxydant puissant et un bactéricide utilisé pour la destruction de composés tels que les germes ; les microorganismes et algues pouvant être rencontrés dans l'eau épurée.

II.2.2.7 Recirculation et extraction des boues

Le but de la recirculation des boues ou des décanteurs secondaires vers le réacteur biologique est d'y maintenir une concentration constante et correcte de la liqueur mixte permettant de respecter une charge massique de fonctionnement considérée ou, ce qui revient au même, de limiter le temps de séjour dans les décanteurs pour garantir une bonne qualité et un âge de boue bien défini et d'éviter conséquemment l'accumulation et le débordement du lit de boue dans les décanteurs.

II.2.2.8 Epaissement des boues primaires

L'épaissement des boues a pour objectif de concentrer de la façon la plus économique les boues de permettre d'alimenter à régime régulier et à concentration pratiquement constante les installations de déshydratation. Il s'agit donc d'une étape intermédiaire pour la diminution du volume de boues produites par la station en permettant d'améliorer la concentration des boues primaire en termes de matières

sèches, tout en étant de l'ordre 30g/l avant l'épaississement, jusqu'aux 50g/l après épaississement.

L'épaississement et l'homogénéisation de la boue ont lieu par l'action de la pesanteur et au moyen de ces barres suspendues au bras du mécanisme racleur équipé des herse facilitant le dégagement de l'eau en créant des « chemins » dans la masse de boues.

L'ouvrage prévu pour cet effet ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau II.7. Dimensions d'un épaississeur gravitaire.

(Notice d'exploitation STEP, 2006).

Dimensions	Valeur
Nombre des épaississeurs	2
Diamètres (m)	25
Hauteur de boue (m)	4.84
Surface(m ²)	491
Volume net unitaire(m ³)	2376
Volume net total (m ³)	4752



Figure II.8. Épaississement gravitaire

II.2.2.9 Epaissement mécanique des boues en excès

La station d'épuration produit en permanence des boues activées biologiques dont l'excès doit être évacuée à intervalles réguliers pour garantir un bon fonctionnement du système. En effet, l'extraction permet de maintenir une quantité de MS nécessaire et suffisante afin d'assurer le maintien du métabolisme microbien.

Le but de cette installation est d'augmenter la teneur des boues activées excédentaires à une valeur minimale de 5% telle que leur volume soit réduit d'au moins 5 fois.

Les boues en excès ainsi épaissies, au moyen des tables d'égouttage mécaniques, sont pompées vers le bassin d'homogénéisation pour être mélanger avec la boue primaire et ensuite renvoyées vers la digestion anaérobique.



Figure II.9. Table d'égouttage

II.2.2.10 Digestion anaérobique des boues

La digestion est un procédé microbiologique transformant la boue organique chimiquement complexe en méthane, dioxyde de carbone et en un matériau non toxique semblable à de l'humus. Les réactions se déroulent dans le digesteur dans des conditions anaérobies, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène. La transformation s'effectue au cours d'une série de réactions. Tout d'abord la matière solide est rendue soluble par des enzymes, en suite le produit est fermenté par un groupe de bactéries acidifiantes, procédé qui le réduit à des acides organiques simples, tels que l'acide acétique. Les acides organiques sont alors transformés par les bactéries en méthane et en dioxyde de

carbone. La boue épaissie est chauffée et versée le plus régulièrement possible dans le digesteur où elle séjourne entre 10 et 30 jours pour y être décomposée. Par la digestion, on atteint une réduction de la matière organique de 45 à 60%.

Les digesteurs comportent un volume dans leur partie haute où les boues à digérer sont introduites par pompage. Ces digesteurs possèdent les caractéristiques de fonctionnement suivantes :



Figure II.10. Digeur anaérobie

Tableau II.8. Dimensions d'un digesteur anaérobie. (Notice d'exploitation STEP, 2006)

Dimensions	Valeur
Nombre des digesteurs	4
Volume net unitaire(m ³)	9605
Volume net total (m ³)	38420
Charge massique spécifique de la digestion (kg M.S/ m ³ xj)	2.57
Temps de séjour des boues dans les digesteurs	20

La digestion anaérobie permet en fin de compte :

- De rendre la déshydratation plus facile. En effet, la digestion réduit la teneur en matière volatiles, colloïdales et hydrophiles des boues. Elle permet de gagner un à trois points de siccité par rapport à des boues fraîches, lorsque la teneur en matière volatile descend à 50%.
- De réduire les quantités de boues à déshydrater, la consommation d'électricité, de polymères, de sels de fer ou de chaux.
- De réduire les odeurs dans l'atelier de déshydratation, améliorer le confort de travail.

II .2.2.11 Épaississement final des boues digérées

A l'image de l'épaississement primaire des boues, cet ouvrage permet de concentrer de la façon la plus économique les boues digérées et d'alimenter à régime régulier et à concentration pratiquement constante les installations de déshydratation. Il s'agit donc d'une étape intermédiaire pour la diminution du volume de boues produites par la station en permettant d'améliorer la concentration des boues digérées en termes de matières sèches, tout en étant de l'ordre 40 à 50 g/l avant l'épaississement, jusqu'aux 60g/l après épaississement.

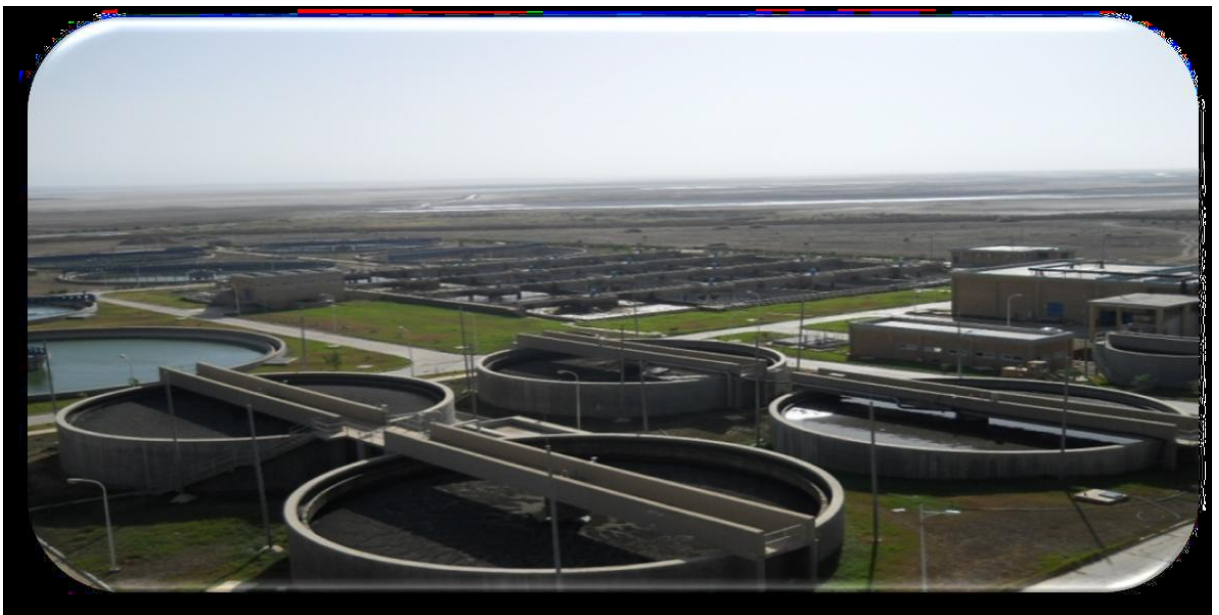


Figure II.11. Épaississement final

L'épaississement et l'homogénéisation de la boue ont lieu par l'action de la pesanteur et au moyen de ces barres suspendues au bras du mécanisme racleur équipé des herses facilitant le dégagement de l'eau en créant des « chemins » dans la masse des boues. L'ouvrage prévu pour cet effet ayant les caractéristiques suivantes :

Tableau II.9. Dimensions d'un épaisseur final.(Notice d'exploitation STEP, 2006).

Dimensions	Valeur
Nombre des épaisseur	2
Diamètres (m)	25
Hauteur de boue (m)	5.30
Surface(m ²)	491
Volume net unitaire(m ³)	2602
Volume net total (m ³)	5203

II.2.2.12 Déshydratation mécanique des boues

La station d'épuration produit en permanence des boues dont l'excès doit être évacué à intervalles réguliers pour garantir un bon fonctionnement du système. En effet, l'extraction permet de maintenir une quantité de MS nécessaire et suffisante afin d'obtenir une qualité d'épuration optimale.

Ces boues, principalement constituées d'eau (>97%, le plus souvent) représente des volumes importants que la filière de traitement des boues va s'attacher à réduire autant que faire se peut, afin d'abaisser les coûts d'évacuations de ces sous-produits de l'épuration.

Une gestion rationnelle de la boue produite dans la station reste une condition nécessaire de la qualité de l'épuration. Le rôle du personnel exploitant apparaît à cet égard fondamental.

La production de boue est directement liée à la quantité de pollution retenue. Il s'ensuit une augmentation de la biomasse dans le système, ce qui induit un accroissement des concentrations en MS.

Le produit fini peut être utilisé aisément en agriculture comme excellent amendement des sols, ou être versé en décharge publique. Cette siccité sera environ 20%.



Figure II.12. Filtre à bande

II.2.2.13 Installations de transport ; de stockage et de stabilisation des boues déshydratées

Le système de transport et/ou stockage des boues déshydratées comprend deux lignes identiques et indépendantes dont chacune est associée à une ligne de déshydratation mécanique des boues.

Selon les besoins de l'exploitation de la ligne boues, il est possible pour le gestionnaire de la station (chef de station) de choisir, par sélection au niveau de la supervision, pour chaque ligne de stockage et transport, d'une des deux options suivantes, soit :

- Le transport et le déchargement direct de la boue déshydratée dans les bennes des camions pour leur évacuation à l'extérieur du site, ou :
- Le stockage et la stabilisation de la boue déshydratée dans les Silos de stockage de boues pour une future évacuation dans le lieu de décharge.

II.2.2.14 Ligne de gaz

Le biogaz produit par la digestion anaérobie sera récupéré dans une conduite installée au sommet de chaque digesteur, et dont la pression maximale de service est 50mbar, jusqu'au local des filtres à graviers. Ces derniers sont conçus pour séparer les particules

et le condensat du biogaz et ils jouent également le rôle de dispositif de sécurité contre le retour de flamme.

Le biogaz filtré et dépourvu d'humidité, sera acheminé jusqu'au Gazomètre 22BB001.

Ce Gazomètre sans pression, composé d'un silo métallique cylindrique et d'une membrane

(silo), à l'intérieur de laquelle le ballon à gaz est suspendu. Il a pour fonction d'amortir les différences de volume de gaz entre la production et la consommation de gaz.



Figure II.13gazomètre

Le tableau III.10 Définit les caractéristiques d'un gazomètre :

Tableau II.10. Dimensions d'un gazomètre.(Notice d'exploitation STEP, 2006)

Dimensions	Valeur
Diamètre de plaque inférieure (m)	22
Diamètre extérieur(m)	21.32
Hauteur du cylindre (m)	19.42
Hauteur du cône (m)	6.9
Hauteur totale(m)	26.44
Volume de stockage (m ³)	6800

Chapitre III

caractérisation discussion

argumentation

III.1 COMPOSITION DES BOUES :

Tableau III.01. analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua (2011)

Déterminations	Résultats	Références méthodes d'analyse
Mercure(Hg)	1.87mg/l	NF EN ISO 7483
Cadmium(Cd)	2.86mg/l	NFT90-134
Chrome(Cr)	89.99mg/l	S.Absorp.atomique
Plomb(Pb)	38.75mg/l	NFT90-119
Zinc	899.63mg/l	NF EN ISO 11885
Cuivre	508.25mg/l	NF EN ISO 11885
Nickel	75.06mg/l	NF EN ISO 11885
Critères généraux :	75.06mg/l	NF EN ISO 11885
Aspect	Liquide dense noir	Examen visuel

Tableau III.02. analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua(2012)

Paramètres	Unités	Mélange	Boue digérée	Normes d'analyses
Cd	mg/kg	<6	<6	ISO 8288 :1986
Cr	mg/kg	560	584	ISO 8288 :1986
Cu	mg/kg	165	189	ISO 8288 :1986
Zn	mg/kg	659	732	ISO 8288 :1986
Ni	mg/kg	20	54	ISO 8288 :1986
Pb	mg/kg	120	119	ISO 8288 :1986
Al	mg/kg	23000	22000	ISO 8288 :1997
Hg	µg/kg	1634	1052	ISO 5666 :1999

Tableau III.03.analyse physico-chimique de la boue biologique de la step de bathioua(2013)

Déterminations	Résultats	Références méthode d'analyse
Matière sèche	38.72%	Dessiccation
Ph	7.85%	Ph
Potassium	2.56%	NF T90-019
Magnésium	4.12%	NF T90-005
Calcium	8.05%	NF T90-005
Sodium	0.64% méq/100g	NF T90-019
Conductivité	1806 us/cm	NF T90-031
Matière organique	75.22%	NF en ISO 13039
Azote kjeldhal	4.31%	NF T90-110
Phosphore	2.05%	NF T90-023
Fer	3.01%	T90-012
Cadmium	0.1508mg/kg	90-112
Cuivre	101.4709 mg/kg	T 90-112
Plomb	10.4550 mg/kg	T 90-112
Zinc	224.3641 mg/kg	T 90-113
Mercure	0.1099 mg/kg	T 90-113
Chrome	63.9200 mg/kg	T 90-113
Carbone	46.60 %	Oxydation
C/N	10.81	Rapport

III.2.Production de boue :

Le poids de boues déshydraté évacuée jusqu'au 4 eme trimestre 2018 est de

7144,37 tonnes avec une siccité moyenne de **17,54 %**

Tableau III.04 Déshydratation mécanique par filtres à bandes

Déshydratation mécanique par filtres à bandes			
mois	siccité	quantité de boue déshydratée évacuée,	matière sèche
	%	Tonnes	Tonnes
janv.-18		0,00	0,00
févr.-18	24,47	108,34	26,51
mars-18	17,69	300,85	53,22
avr.-18	17,54	259,08	45,44
mai-18	17,14	704,37	120,73
juin-18	17,68	841,51	148,78
juil.-18	16,53	986,34	163,04
août-18	16,22	815,92	132,34
sept.-18	17,15	648,21	111,17
oct.-18	16,66	1 175,03	195,76
nov.-18	16,72	793,49	132,67
déc.-18	15,11	511,23	77,25
cumule au 4T		7 144,37	1 206,91
Moyenne au 4T	17,54	595,36	100,58
Maximum au 4T	24,5	1175,0	195,8
Mínimum au 4T	15,11	0	0

III.3. Essais d'identification

III.3.1. Les caractéristiques physiques

III.3.1.1. La teneur en eau naturelle « w% »

Elle est déterminée comme étant le rapport du poids de l'eau sur le poids des grains solides, exprimé un pourcentage (%) [16,17]

La mesure de la teneur en eau a été réalisée avec un séchage à l'étuve d'une quantité de boue qui est pesée à sa teneur en eau naturelle (W). L'échantillon est étuvé à une température de 105 °C jusqu'à ce que le poids reste constant (Ws) [16,17]

La teneur en eau naturelle est donnée selon la formule suivante :

$$W\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100 \text{ (III. 1)}$$

III.3.1.2. Le poids spécifique γ_s (g/cm³)

Le poids spécifique est le rapport du poids de l'échantillon sec par son volume absolu dont la

formule est : $\gamma_s = \frac{W_s}{V_{gs}} \text{ (III. 2)}$

Où :

- γ_s : poids spécifique des grains solides (g/cm³).
- W_s : poids du matériau sec (g).
- V_{gs} : Volume absolu des grains solides (cm³).

Les mesures du poids spécifique s'effectuent dans un pycnomètre, en utilisant l'eau comme liquide.

$$= \frac{P_1 - P_0}{P_3 - (P_0 + P_2)} \text{ (III. 3)}$$

Avec :

- P_0 : Poids du pycnomètre vide.
- P_1 : Poids du pycnomètre plein d'eau.
- P_2 : Poids de l'échantillon.
- P_3 : Poids de (pycnomètre + eau + échantillon).

III.3.1.3. Analyse granulométrique

- a. Introduction

L'analyse granulométrique est la détermination de la répartition en poids des éléments d'un matériau selon ses dimensions. Quel que soit la procédure d'analyse, elle est caractérisée par une courbe donnant les pourcentages des tamis en fonction des dimensions des passoires, et dont le paramètre essentiel est le diamètre **d₅₀** correspondant à 50 % de tamis et qui est totalement différent du diamètre moyen des grains [16] Elle comprend deux opérations, le tamisage pour les particules supérieures à 80 µm et la sédimentation pour les particules inférieures à 80 µm dont les résultats sont donnés ci-dessous (**Figure III.1**) :

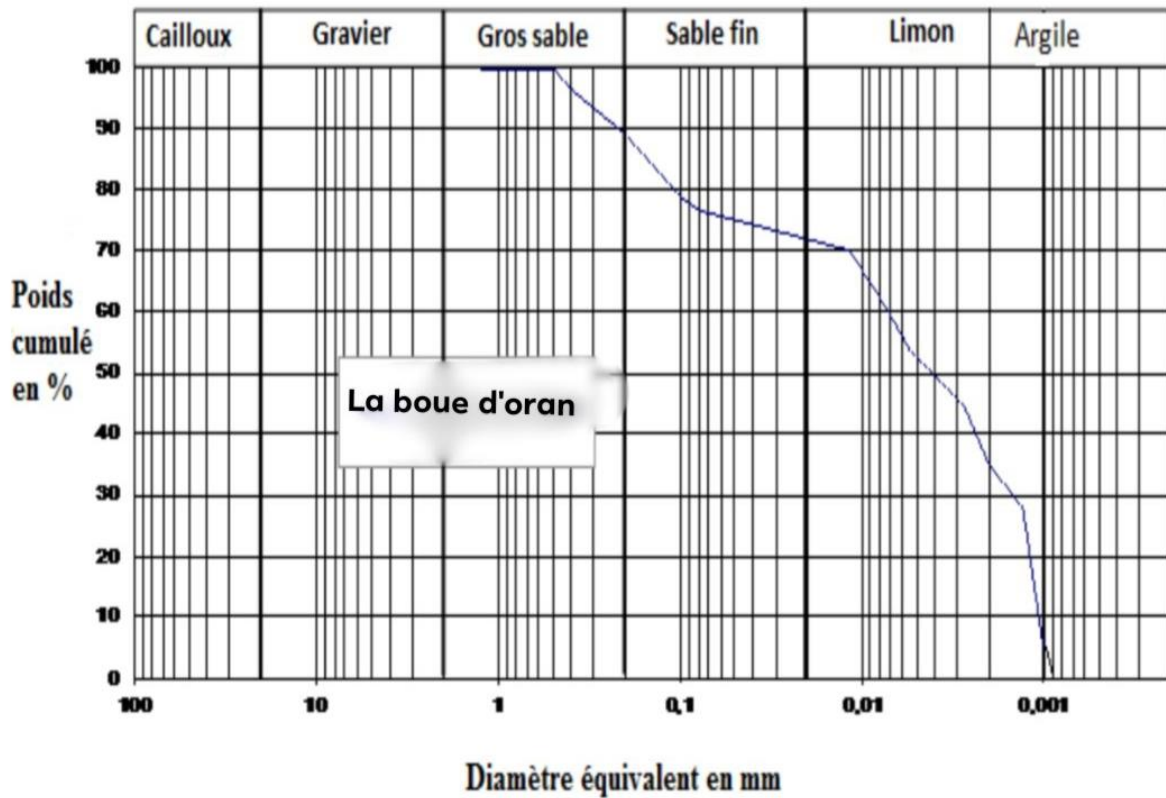


Figure III.01 : courbe granulométrique de la boue de bathioua

La figure (III.1) révèle la variabilité de la boue en particules de taille différente. On constate en premier lieu la présence du sable (27%), du limon (38%) et l'argile (35%). avec un $d_{50} = 4 \mu\text{m}$.

La taille des particules que composent les boues est une considération importante quant à l'utilisation possible de ces boues, mais aussi quant à leur gestion.

En effet, d'après les travaux de Li et Rutherford [18], la présence de particules fines augmente généralement le temps de déposition des boues.

- b. Coefficient d'uniformité et coefficient de courbure d'une granulométrique

La forme de la courbe granulométriques permet de préciser le degré d'étalement de la granulométrie ou encore son uniformité, cette uniformité est exprimée par le coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazen C_u défini par le rapport [16]

*Coefficient de Hazen « Cu »

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \text{(III. 4)}$$

Ce coefficient est donc immédiatement calculé à partir de la courbe granulométrique Si :

- $Cu < 2$: granulométrie uniforme.
- $Cu > 2$: granulométrie continue.

*Coefficient de courbure « Cc »

Il traduit la forme plus au moins régulière de la courbe et vaut :

$$Cc = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \text{(III. 5)}$$

c. Indice issus de l'analyse granulaire

A partir des courbes granulométriques semi-logarithmiques on utilisant la méthode graphique qui permet d'évaluer des différents indices caractéristiques d'un sédiment à partir des paramètres classiques ; la médiane (d_{50}), centile supérieur (d_{99}) et les quartiles (d_{75} et d_{25}), ainsi la forme des grains grâce au (d_{60} et d_{10}).

*Indice de classement « S_0 »

$$S_0 = \frac{\sqrt{d_{75}}}{\sqrt{d_{25}}} \text{(III. 6)}$$

L'indice de classement est lié aux valeurs données ci-dessous

- $S_0 < 2$: sédiment très bien classé
- $2 < S_0 < 2,6$: sédiment bien à moyennement classé.
- $S_0 > 2,6$: sédiment mal à très mal classé.

*Indice d'asymétrie « S_K »

Il exprime la symétrie par rapport à la médiane

$$S_K = \frac{(d_{75} \cdot d_{50})^{0,5}}{d_{50}} \text{(III. 7)}$$

Dans le cas ou :

- $S_K < 0,7$: courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum de côte gros
- $0,7 < S_K < 1$: courbe à tendance symétrique le mode pouvant coïncider avec le diamètre moyen.
- $S_K > 1$: courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum de la côte fin.

Les résultats de calcul des paramètres cité ci-dessus sont reportés sur le tableau (III.5)

Tableau (III.05) : les indices déduit à partir de la courbe granulométrique.

Cu	Cc	S ₀	S _K
7	0,32	2,37	0,63

D'après les résultats du **tableau (III.5)** on peut avancer que la **D'Oran** est décrite comme un sédiment bien à moyennement classé, avec une courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du côte grossier, avec une granulométrie continue.

III.3.1.4. Les limites d'Atterberg

- a. Introduction

En fonction de la teneur en eau, un sol se présente suivant des consistances variables pour lesquelles on peut distinguer quatre états :

- liquide.
- plastique.
- solide, avec retrait.
- solide sans retrait.

En réalité, le sol passe graduellement d'un état à un autre et les frontières respectives ne se définissent que conventionnellement par les limites d'Atterberg[19]

- b. Limite de liquidité WL

- b-1. Définition

Elle est définie par la teneur pour la quelle un sol placé dans une coupelle est divisé en deux parties par une rainure, arrivent à se rejoindre sur une longueur bien déterminée (1 cm) sous l'influence d'un nombre déterminé de chocs « 25 » coups. Cette mesure est effectuée avec l'appareil de Casagrande[17]

L'essai de Casagrande[17] consiste à déterminer la relation entre la teneur en eau et le nombre de chocs imposés à une coupelle contenant le matériau.

c. limite de plasticité WP

- c-1. Définition

C'est la teneur en eau d'un sol remanié, caractérisant la transition entre un état plastique à l'état semi solide (avec possibilité de retrait).

Elle est définie par la teneur en eau d'un petit rouleau de sol qui se brise en petit morceau lorsque son diamètre atteint 3 mm et la longueur entre 10 à 15 cm

On calcule la limite de plasticité WP avec la relation suivante :

$$W_P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \text{(III. 8)}$$

Avec :

- W_P : limite de plasticité(%).

- W_1 : poids d'échantillon humide(g).

- W_2 : poids d'échantillon sec(g).

- d. Valeur définies à partir des limites d'Atterberg [17]

- d-1. Indice de plasticité

L'indice de plasticité est relatif à la mesure de l'étendue du domaine de plasticité du sol, il s'exprime par la relation suivante

$$I_P = W_L - W_P \quad \text{(III. 9)}$$

d-2. Indice de liquidité

L'indice de liquidité est caractéristique de la consistance d'un sol, il est calculé selon l'équation suivante :

$$IL = \frac{W-WP}{IP} \text{ (III. 10)}$$

Avec : W est la teneur en eau naturelle.

d-3. Diagramme d'activité

Skempton (1953) [20] a défini l'activité d'un sédiment par l'expression suivante

$$Ac = \text{indice de plasticité} / \text{pourcentage des particules inférieures à } 2\mu\text{m} \text{ (III. 11)}$$

III.3.1. 5. Essai de bleu de méthylène [16,21]

- a. Introduction

Cet essai est une mesure indirecte de la surface spécifique des grains solides par adsorption d'une solution de bleu de méthylène jusqu'à saturation. En d'autres termes, il exprime la quantité de bleu de méthylène pouvant être absorbée par les surfaces des particules de sols.

Le principe de l'essai consiste à introduire des quantités croissantes de bleu de méthylène (BM), jusqu'à ce que les particules du matériau soient saturées. Il apparaît alors, un début d'excès qui marque la fin de l'essai et que l'on détecte par le test dit à la tache. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur un papier normalisé une tache qui est un dépôt de sol coloré au bleu, entouré d'une zone humide, en général incolore, l'excès du bleu se traduit par l'apparition dans cette dernière zone un auréole bleu clair, on dira alors que le test est positif.

L'essai s'effectue sur 30 g de matériau, mis à tremper dans 0,2 L d'eau et maintenus en permanence sous agitation. On procède à des additions de bleu de méthylène jusqu'à ce que toutes les particules du sol soient saturées. La saturation est déterminée par le test de la tache, en observant la formation d'un auréole bleu sur le papier filtre ou l'on dépose une goutte de solution

La valeur du bleu (VB) est donnée par la relation suivante :

$$V_B = \frac{\text{Nombre en cm}^3 \text{ de solution}}{\text{le poids de la prise}} \text{ (III. 12)}$$

La surface spécifique totale est donnée par :

$$S.S.T = (V_B/100) * (N/373) * 130 * 10^{-20} \quad \text{(III. 13)}$$

$$\text{Donc } S.S.T = 21 V_B$$

Avec :

- $V_B/100$: fraction en % du bleu ($<2\mu\text{m}$).
- N : nombre d'Avogadro = $6.023 \cdot 10^{23}$.
- 373 : masse moléculaire de bleu de méthylène en gramme.
- $130.10 \cdot 20$: surface en cm^2 d'une molécule de BM.

III.3.2. Les caractéristiques chimiques

III.3.2.1. Teneur en carbonate de calcium (CaCO_3)

- a. Introduction

L'essai s'effectue selon un procédé chimique à l'aide d'un calcimètre (DETRICHE FRUHLING). La teneur en carbonate de l'échantillon est le rapport exprimé en (%) du volume de gaz carbonique (CO_2) dégagé par 0.5g d'échantillon au volume de gaz carbonique (CO_2) dégagé par 0.5g de (CaCO_3) [22]

$$\text{CaCO}_3 = \frac{\text{volume de gaz carbonique (CO}_2\text{) dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\text{Volume de gaz carbonique (CO}_2\text{) dégagé par 0,5g CaCO}_3} \quad (\text{III. 14})$$

La réaction chimique qui se produit est de la forme :



III.3.3. Caractérisation rhéologique de la boue D'Oran

L'objectif de cette étude est de déterminer le comportement rhéologique de notre boue lors d'un cisaillement simple à partir d'expériences de rhéomètre.

Le comportement rhéologique des boues résiduelles a été étudié principalement par Baudez, et Chaari [23,24], ils ont montré que la boue possède trois régimes d'écoulement séparés par deux contraintes critiques, τ_1 et τ_2 :

- $\tau < \tau_1$, Le matériau est viscoélastique linéaire. Un modèle de Burgers à quatre paramètres décrit bien le comportement observé.

- $\tau > \tau_1$, Le matériau est viscoélastique non-linéaire. La loi de comportement obéit à un modèle de Herschel-Bulkley, $\tau = \tau_1 + K \dot{\epsilon}^n$, où la contrainte τ_1 est définie comme la transition entre le régime linéaire et le régime non-linéaire.

- $\tau > \tau_2$, $\tau = K \dot{\epsilon}^n$, la composante visqueuse est prépondérante.

D'autres études [25,26] portant sur la rhéologie des boues ont été publiées, mais elles proviennent de tests empiriques tels que le pénétromètre ou le « Kasumeter » et ne permettent pas d'obtenir la loi de comportement du matériau.

La dualité de comportement des boues résiduaire (linéaires aux faibles contraintes, non linéaire aux fortes contraintes obéissant à un modèle de Herschel-Bulkley a été observée pour un grand nombre de produits (mousses, émulsions, gel, suspensions concentrées). On considère habituellement que ces matériaux sont des fluides à seuil simples, c'est-à-dire capables de s'écouler en régime permanent à des vitesses d'autant plus faibles que la contrainte appliquée s'approche de la contrainte seuil. Cependant des travaux [27,28] récents ont montré que les écoulements de ces fluides à faible vitesse sont instables. A contrainte imposée, il se produit ainsi une bifurcation de viscosité autour d'une contrainte critique. Le fluide évolue soit vers un arrêt complet, soit vers un écoulement rapide. De plus, la valeur de la contrainte critique augmente avec le temps de repos précédant le cisaillement, ce qui signifie que le seuil de contrainte n'est pas une donnée unique du fluide mais qui dépend de l'histoire mécanique du matériau. Lorsque la contrainte est inférieure à la contrainte critique, le vieillissement domine et la viscosité ne cesse d'augmenter au cours du fluage. Pour des contraintes supérieures à la valeur critique, le rajeunissement dû au cisaillement prend le pas sur le vieillissement, la viscosité diminue, l'écoulement s'accélère et engendre encore plus de rajeunissement, un effet d'avalanche en résulte. On obtient alors un écoulement en régime permanent.

III.3.3.1. L'étude rhéologique

- a. Mode opératoire

Le mode de préparation des mélanges est d'une importance considérable sur leur comportement rhéologique. La préparation consiste à mélanger la boue à la concentration voulue, dans de l'eau. Ce mélange est par la suite agité pendant 24 heures afin d'obtenir l'homogénéisation. La mixture obtenue est laissée au repos, durant 1 heure, puis agitée doucement durant 5 minutes avant de mettre l'échantillon sous la géométrie de mesure.

Les boues sont des fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastiques. De plus, les boues présentent un seuil de contrainte, il est nécessaire de dépasser ce dernier avant que les boues ne s'écoulent. Cette valeur est appelée seuil d'écoulement ou contrainte critique. A partir de la contrainte et du gradient de vitesse, il est possible de déterminer la viscosité apparente des boues selon la formule suivante :

$$\mu_{app} = \tau / \dot{\epsilon} \dots \dots \dots \text{(III. 15)}$$

Afin de vérifier cette constatation, il est possible d'utiliser des modèles rhéologiques. Les modèles les plus couramment utilisés pour des boues relativement concentrées sont ceux de Bingham, d'Oswald de Waele et Herschel-Bulkley[25]

Pour la boue d'orange les modèles de Bingham et Herschel-Bulkley ont été utilisés [29] :

➤ Modèle de Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K \dot{\epsilon}^n$

Avec :

τ : contrainte de cisaillement(Pa)

τ_0 : Seuil de contrainte(Pa)

K : Consistance(Pa.Sn)

$\dot{\epsilon}$: gradient de vitesse

n : Indice d'écoulement(-)

➤ Modèle de Bingham: $\tau = \tau_B + \eta_B \dot{\epsilon}$

Avec :

τ_B : contrainte de Bingham

η_B : Viscosité de Bingham

III.3.4. Caractérisation minéralogique de la Boue

L'étude minéralogique des matériaux minéraux permet de reconnaître le (ou /les) type (s) de phases minérales afin de les caractériser et d'en distinguer éventuellement la nature et l'origine des différents constituants. Pour cela on a fait appel à certaines techniques d'analyses telles que :

III.3.4.1. Diffraction des Rayons X

- Introduction

L'analyse radiocristallographie a pour but d'étudier la formation, la croissance, la structure interne et les propriétés physiques des cristaux. Cette propriété est exploitée dans les phénomènes de diffraction des rayons X permettant ainsi l'identification des équidistances des différents minéraux cristallins. Pour notre étude, nous avons utilisé la méthode des poudres. Selon cette dernière, un composé cristallin est caractérisé par les trois raies les plus intenses de son diffractogramme[30] Nos échantillons ont été analysés au centre d'études et de services technologique de l'industrie des matériaux de construction (C.E.T.I.M) (Boumerdes).

III.3.4.2. Spectroscopie Infrarouge (IR)

- a. Introduction

La spectroscopie infrarouge est considérée comme une autre technique d'étude de la structure des minéraux et, par conséquent comme un moyen d'identification des groupements fonctionnels. Son efficacité est très précieuse car les propriétés des minéraux sont intimement

liées à la présence d'hydroxyles structuraux, des éléments métalliques, des phases argileuses, des carbonates etc....L'absorption des infrarouges (IR) résulte du changement des états vibrationnels et rotationnels d'une liaison moléculaire. Elle permet de montrer la présence de groupements atomiques spécifiques dans une phase donnée. C'est donc un excellent moyen de détection des composés organiques et des structures minérales. La spectroscopie d'absorption IR est basée sur une méthode physique rapide, économique et non destructive, couramment utilisée en analyse structurale [28]

Cette technique permet de traiter les fractions organiques complexes comme les substances humiques, afin d'étudier la structure (aliphatique ou aromatique) ou le degré de fonctionnalisation des substances humiques. L'infrarouge moyen concerne les rayonnements de longueurs d'onde variant de 4000 à 400 cm^{-1} .

Le spectre IR se compose de bandes d'absorption correspondant aux différents modes de vibration de la molécule. L'obtention d'un spectre IR nécessite l'analyse de toutes les longueurs d'ondes émises par la source, après absorption par l'échantillon. Chaque bande d'absorption peut être attribuée à un groupement caractéristique, et le calcul des aires de bandes majeures permet de déterminer des rapports d'abondance utilisés pour caractériser la fonctionnalisation des échantillons.

- b. Considérations Bibliographiques [31]

La superposition des vibrations de valence des groupements OH du minéral ainsi que des molécules d' H_2O absorbées entre les feuillets conduit à une bande large entre 3200 et 3800 cm^{-1} . Certains épaulements, par exemple à 3635 cm^{-1} est caractéristique de la Montmorillonite alors que 3617 cm^{-1} révèle la présence de la Kaolinite. Les molécules d'eau absorbées donnant lieu à une bande de déformation angulaire à 1600 – 1700 cm^{-1} . Une bande large entre 900 et 1200 cm^{-1} est obtenue pour tous les silicates lamellaires. Le déplacement de cette bande vers les basses fréquences, d'une part à la présence d'ions trivalents en site tétraédrique en quantité notable et d'autre part à la présence d'ions ferriques en site octaédrique perturbant ainsi les vibrations Si-O. L'ensemble des pics entre 600 et 400 cm^{-1} correspond aux déformations angulaires des liaisons Si-O-M (M= Al, Mg, Fe, Li).

La déformation angulaire dépend de la nature du cation situé en couche octaédrique, elle est donc fonction de la longueur de la liaison Li- (OSI) et de la charge du cation. Elle diminue quand le rayon du cation augmente. La fréquence et l'intensité de la bande diminuent lors de la substitution par les cations divalents en couche octaédrique. Ces derniers possèdent un pouvoir polarisant faible.

III.3.4.3. Analyses chimiques

L'analyse chimique consiste à quantifier les éléments présents dans les matériaux. Parmi les procédés utilisés pour la détermination des teneurs des éléments chimiques on peut citer d'une part la méthode classique qui consiste à doser les éléments par voie chimique et d'autre part les méthodes physiques comme l'absorption atomique et la fluorescence des RX.

La méthode d'analyse par fluorescence X a connu un grand succès grâce à sa rapidité, sa simplicité de mise en œuvre, sa faculté de doser plusieurs éléments sur la même préparation et la grande universalité des éléments dosables. C'est une méthode non destructive, qui exploite la fluorescence des éléments. Cette technique est considérée comme fiable lorsqu'il s'agit d'échantillons présentant une bonne homogénéité. Dans le cas contraire plusieurs analyses sont nécessaires pour un même échantillon suivi d'une analyse statistique [32]

III.3.4.4. Préparation des matériaux à base de boue

D'une façon générale, les traitements effectués sur les boues sont en fonction de leurs destinations. On peut citer comme exemple :

- L'incinération qui permet l'évacuation totale de l'eau ainsi que la combustion des matières organiques, et génère une faible quantité de résidus appelée cendres et ce traitement permet son utilisation dans le Génie Civil.
- Le compostage et/ou le compostage des boues produit un amendement organique riche en matière organique stable et humifié.

En se basant sur ces traitements, il nous a semblé intéressant de voir le comportement de ces boues vis-à-vis d'un traitement thermique et chimique.

- a. Traitement thermique

Les calcinations ont été réalisées à partir d'une boue sèche, répandue en lit mince dans une nacelle en porcelaine, placé dans un four tubulaire selon le programme suivant :

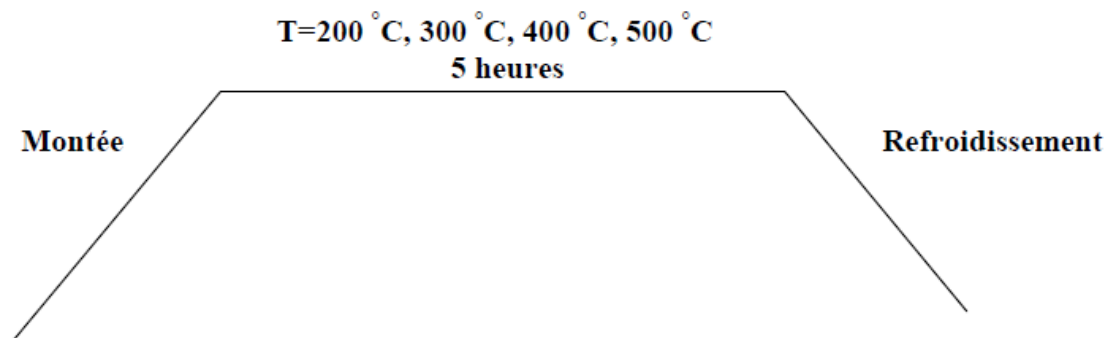


Figure (III.02) : Le programme de calcination

b. Traitements chimiques

Les traitements chimiques effectués sur les boues permettent d'éliminer les carbonates d'une part et d'autre part les matières organiques.

*Élimination des carbonates par attaque HCL

*Élimination des matières organiques par attaque H₂O₂

*Résultats expérimentaux

III.4 Méthode d'analyse des boues

III.4.1 Paramètres à analyser

On peut caractériser les boues par différents paramètres :

- La teneur en eau et la densité
- La siccité
- Le taux de matières volatiles sèches
- La teneur en matières minérales
- Le comportement mécanique
- L'analyse granulométrique
- Le potentiel d'hydrogène ou pH
- La viscosité
- La cendre

III.4.2 Techniques d'analyse

III.4.2.1 Teneur en Eau et Densité

a. But

L'analyse a pour but de déterminer, par un compactage normalisé d'intensité donnée, la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale.

a. Principe

Lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d'un même sol, à des teneurs en eau différentes, on constate que la densité sèche γ_d varie et passe par un maximum pour un teneur en eau déterminée dite optimale (WOP).

c. Mode opératoire

L'appareil utilisé est le moule Proctor ou le moule CBR. On compacte l'échantillon dans le moule choisi, à l'aide d'une dame et suivant un processus normalisé. C'est ce qu'on appelle

par Essai Proctor. Après chacune des 5 ou 6 compactages, on mesure la teneur en eau et la densité sèche.

III.4.2.2 Siccités ou matière sèche

a. But

La matière sèche ou la siccité est ce que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau des boues. Ce paramètre renseigne sur la consistance de boue, donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues.

b. Principe

Il consiste à déposer un volume connu de boues sur une coupelle puis on met à l'étuve à 105 °C. On calcul la siccité après pesée.

c. Mode d'opérateur

Les matériels utilisés sont : des capsules, une étuve, un dessiccateur, une balance.



Les capsules

Etuve à 105°C.

Dessiccateur

Balance

Figure III.03 : Les matériels utilisés pour le MS

- Identifier et mettre les capsules 2h à 105°C.
- Sortir et mettre 15 min au dessiccateur les capsules puis les peser.
- Déposer un volume de boues.
- Peser la capsule pleine.
- Peser la capsule après séjour à 105°C
- Calculer la siccité

On obtient la siccité à partir de la formule suivante :

$$\text{Siccité} = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Avec :

- **M₁**: masse de l'échantillon humide
- **M₂**: masse de l'échantillon sec
- **M₀**: masse capsule vide

c. Résultats d'analyse

Lors de la pesée des éléments cités dans le mode opératoire, on a obtenu :

- Poids du capsule vide : $M_0=66,096$ g
- Poids du capsule + échantillon humide : $M= 86,111$ g
- Poids de l'échantillon humide : $M_1= 20,015$ g
- Poids de l'échantillon sec : $M_2= 3,215$ g

La siccité ou teneur en matière sèche à 105°C pendant 24h :

$$\frac{3.215}{20.015} \times 100 = 16.06\%$$

Ainsi, la Teneur en eau à 105°C pendant 24h:

$$\frac{20.015 - 3.215}{20.015} \times 100 = 83.94\%$$

La valeur de la siccité est 16, 06%.

III.4.2.3 Teneur en MVS

a. But

Pour la majorité des boues, la détermination de matières volatiles sèches permet d'évaluer la quantité de matière organique contenue de ces boues résultant de la fermentation.

b. Principe

On met un volume de boues connu dans un four à 550°C. On calcule le MVS après pesée.

c. Mode d'opératoire

Les matériels utilisés sont : des capsules, un four, un dessiccateur, une balance.



Les capsules

Dessiccateur

Balance

Four à 550°C.

Figure III.04 : Les matériels utilisés pour le MVS

- Identifier et mettre les capsules 2h à 550°C.
- Sortir et mettre 15 min au dessiccateur les capsules puis les peser.
- Déposer un volume de boues.
- Peser la capsule pleine.
- Peser la capsule après séjour à 550°C
- Calculer les MVS

Les MVS se calculent à partir de la formule suivante :

$$\text{MVS} = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Avec :

- M_1 : masse de l'échantillon humide
- M_2 : masse de l'échantillon sec

d. Résultat d'analyse

Lors de la pesée des éléments cités dans le mode opératoire, on a obtenu :

- Poids de la capsule vide $M_0 = 220,48$ g
- Poids du capsule + échantillon humide $M = 240,58$ g
- Poids de l'échantillon humide $M_1 = 20,10$ g
- Poids du capsule + échantillon sec $M' = 222,31$ g
- Poids de l'échantillon sec $M_2 = 1,830$ g

La Teneur en MVS à 550°C pendant 5h:

$$\frac{1.830}{20.10 * 100} = 9.104\%$$

$$\frac{20.10 - 1.830}{20.10} = 0.9089 * 100$$

Ainsi, la Teneur en eau à 550°C pendant 5h:

$$=90.89\%$$

III.4.2.4 Teneur en matières minérales

C'est la différence entre la teneur en matière sèche et la teneur en matière volatile sèche.

Le résultat de la soustraction donne :

$$16,06\% - 9,104\% = 6,956\%$$

III.4.2.5 Comportement Mécanique

C'est l'analyse granulométrique par Essai de Portance Californien (CBR).

a. But

Cette analyse a pour but de déterminer la portance d'un sol

b. Principe de l'essai

Il consiste à la comparaison de l'enfoncement d'un poinçon dans le sol testé et dans un matériau type.

c. Mode opératoire

Les appareils qu'on va utiliser pour les essais sont : un moule CBR, une machine de chargement, un poinçon, un système de mesure.

Le matériau écrêté à 20 mm est compacté à la teneur en eau obtenue à l'essai Proctor modifié dans un moule CBR. Après immersion du moule pendant 4 jours, on enfonce le poinçon dans le matériau à vitesse constante telle que $V = 1,27 \text{ mm/min}$.

On mesure l'enfoncement en fonction de la charge et on trace le diagramme CBR. Par définition

On note deux CBR :

$$\text{CBR1} = \frac{P_1}{P_{1'}} \times 100$$

$$\text{CBR2} = \frac{P_2}{P_{2'}} \times 100$$

Avec :

- P_1 : contrainte de l'échantillon pour une valeur d'enfoncement 2.50 mm
- P_2 : contrainte de l'échantillon pour une valeur d'enfoncement 5.00 mm
- P_{1r} : contrainte de référence pour un matériau type selon la valeur de l'enfoncement
- P_{2r} : contrainte de référence pour un matériau type selon la valeur de l'enfoncement

Si $CBR_1 > CBR_2$, alors le CBR n'est autre que le CBR1

Si $CBR_2 < CBR_1$, on recommence l'essai ; et si les résultats sont similaires, le CBR vaut CBR2.

III.4.2.6 Potentiel d'hydrogène

a. But

Cette analyse a pour but de déterminer l'acidité ou la basicité des boues.

b. Principe

On utilise un pH-mètre pour déterminer le pH.

c. Mode opératoire

On met directement le pH-mètre dans ces boues.

III.4.2.7 Viscosité d'ENGLER

a. But

Cette analyse a pour but de déterminer la vitesse d'écoulement.

b. Principe

Avant de mettre l'échantillon dans le récipient, il faut le tamiser à l'aide d'un tamis 0,63 μ dans un bécher 1000 ml.

c. Mode opératoire

Il y a trois températures pour mesurer la viscosité ENGLER : 10°C, 20°C et 40°C, mais dans la plupart des cas on effectue la mesure à 20°C.

Les matériels utilisés pour cette expérience sont : des appareils de viscosité ENGLER, un thermomètre, un chronomètre, une fiole jaugée 200 ml, un bécher 1000 ml, un tamis 0,63 μ .

Il faut d'abord mesurer la viscosité de l'eau distillée à 20°C :

- Mettre les températures de l'ED par un thermomètre sonde et du milieu extérieur à l'aide du tableau numérique à 20°C, ainsi que de l'échantillon.
- Quand les températures des milieux extérieurs et intérieurs sont égales à 20°C, on enlève la tire bouchon pour que l'échantillon s'écoule dans une fiole jaugée de 200 ml puis on suit le

temps d'écoulement de l'échantillon par un chronomètre jusqu'au remplissage de la fiole.

· Et on mesure la viscosité de l'ED.

On procède ensuite à la mesure de la viscosité de l'échantillon :

- Remplir le récipient par l'échantillon à mesurer
- Mettre la température de l'échantillon à 20°C en y plongeant un thermomètre
- Mettre à 20°C la température du milieu extérieur
- Tirer la tire bouchon et mesurer le temps d'écoulement de l'échantillon par un chronomètre jusqu'au remplissage de la fiole de 200 ml
- Puis on mesure la viscosité de l'échantillon

d. Résultats d'analyse

On mesure l'écoulement à 20°C à partir de la formule suivante :

$$E_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{\text{temps d'écoulement de l'échantillon à } 20^{\circ}\text{C en seconde}}{\text{temps d'écoulement de l'eau distillée à } 20^{\circ}\text{C en seconde}}$$

On exprime souvent les résultats de la viscosité en centistokes (cst).

La viscosité V est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{3}{4} \left(E - \frac{1}{E} \right) \times 10 \text{cst}$$

Les résultats obtenus en chronométrant l'expérience sont : Pour l'eau distillée à 20°C: 40s, et pour l'échantillon à 20°C: 109s

$$E_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{109\text{s}}{40\text{s}} = 2.725 \text{ E}$$

En convertissant en centistokes, on a $V = 17,77 \text{ cst}$.

III.4.2.8 Cendre

a. But

L'analyse a pour but de déterminer le pouvoir calorifique des boues.

b. Principe

Il consiste à déposer un volume connu de boues sur une coupelle. On la met ensuite à l'étuve à 105 °C puis à 975°C pendant 24h.

On calcule la perte au feu (PF) après calcination.

c. Mode d'opérateur

Les matériels utilisés sont : des capsules, une étuve, un dessiccateur, une balance



Les capsules

Dessiccateur

Balance

Étuve à 975°C

Figure III.05 : Les matériels utilisés pour le PF

- Identifier et mettre les capsules 2h à 105°C
- Sortir et mettre 15 min au dessiccateur les capsules puis les peser.
- Déposer un volume de boues.
- Peser la capsule pleine.
- Peser la capsule après séjour pendant 24h à 975°C

On obtient la perte au feu par la formule suivante :

$$PF = M_1 - M_2$$

Avec :

- M1: masse de l'échantillon humide
- M2: masse de l'échantillon sec

III.5. Interprétations et discussions

D'après les résultats des essais effectués en labo :

Les boues de la société ont une valeur de la siccité comprise entre 10 à 25 % d'où son aspect pâteux.

La teneur en MVS est relativement importante (9,1%) ce qui est prouvée par l'origine organique des matières premières utilisées. Elle favorise des fermentations anaérobies provoquant une émanation d'odeur désagréable. On peut procéder à un amendement par addition de chaux ou à un compostage.

Les valeurs de la siccité et de MVS ont permis de déterminer la teneur en eau qui est comprise

entre 80 à 90% ; mais d'après l'essai PROCTOR ces boues sont très denses c'est-à-dire riches en MES. Quand même la quantité d'eau est prédominante, ces boues sont plus visqueuses avec une valeur 17,73 cst que l'ED de référence ainsi qu'on la comparant au mercure de viscosité 1,526 cst, à une température 20°C. Donc ce type de boues est difficile à manipuler et à stocker.

LNTPB, concernant les comportements mécaniques et en granulométrie la portance de ces boues n'est pas convenable pour la mise en œuvre des matériaux en remblais. Avec une faible valeur en CBR (16 coups) elles ne sont pas aptes à supporter des charges.

L'élimination totale de l'eau s'effectue à très haute température (975°C) ainsi se forment des cendres de quantité importante à 80,64% de la matière sèche. Alors l'augmentation de température permette de décolorer et fait disparaître l'odeur désagréable des boues.

Le tableau suivant récapitule les résultats précédents :

Tableau III.06: Récapitulation des résultats d'analyses

Paramètres	Principes	Résultats	Interprétations
Teneur en eau et densité	Essai Proctor	13,8%	Très denses et riches en MES
Siccité	Consistance des boues.105°C	16,06%	Aspect pâteux
Teneur en MVS Matières minérales	Evaluation des MO 550°C	9,10% 6,96%	Fermentation anaérobie et odeur
Comportement mécanique	/	/	/
pH	L'acidité ou basicité	7,5	Neutre Plutôt basique
Viscosité	Vitesse d'écoulement	17,77cst	Très visqueuses, difficile à manipuler et à stocker
Cendre	Pouvoir calorifique 975°C	80,64%	Elimination totale de l'eau à décoloration- disparition d'odeur

III. VALORISATION DES BOUES

III.6. Principe de la valorisation des boues

L'évacuation des boues constitue une charge d'exploitation importante. Sur le plan économique le but à atteindre est de limiter les frais de traitement et de transport. Cela dépend de plusieurs facteurs pour les techniques adaptés, l'investissement, énergie et la main d'œuvre. Il faut aussi choisir la technique qui tient compte de l'environnement (minimum de nuisance) et de l'hygiène des opérateurs. Les principales destinations des boues et sous-produits issus de leur traitement sont les suivantes.

III.7. Récupération de produits

La récupération n'est envisageable que sur certains éléments contenus dans les boues. En particulier :

- Récupération de fibres dans les industries du papier-carton et du bois,
- Récupération de protéines en particulier dans les industries de la viande à des fins de production d'aliments du bétail, ou pour la pisciculture,
- Récupération de produits coagulants dans les boues provenant de la clarification d'eaux de rivière par exemple acidification de boues d'hydroxydes d'aluminium,
- Réutilisation du carbonate de calcium et de la chaux des boues provenant d'un traitement massif à la chaux. Tel est le cas, par exemple des boues de décarbonatation d'eau potable utilisées pour le conditionnement avant déshydratation de boues à prédominance organique provenant du traitement biologique d'ERU.
- Récupération de Zn, Cu, Cr, dans les boues provenant d'une épuration d'eaux des traitements de surfaces métalliques,
- Réutilisation de boues minérales après séchage thermique ou de cendres d'incinération dans la construction de revêtements routiers, de produits stabilisateurs de sol ou de béton (mais, une telle réutilisation n'a jusqu'à ce jour reçu que des applications limitées). [2] [33] [3] [34]

III.8. Récupération d'énergie

La récupération d'énergie n'est pas souvent le but premier d'un traitement des boues. L'emploi des boues comme combustible en dehors de l'usine d'épuration est rare. Tel peut être le cas pour des boues déshydratées provenant de la décantation de certaines eaux usées très chargées en combustible poussière de charbon par exemple, pour des suspensions huileuses ou des graisses récupérées par flottation ou même encore pour des boues organiques séchées sous

forme de granulés ou de poudre. La production de granulés (voire de poudres), à partir de boues très organiques, est également proposée pour la fabrication de combustibles transportables. Toute récupération d'énergie s'accompagne de la réduction partielle ou totale des germes pathogènes dans les boues.

III.9. Valorisation agricole

III.9.1 Épandage agricole

Grâce à leur nature non toxique et aux propriétés agronomiques qu'elles contiennent, les boues de cartonneries peuvent être utilisées pour l'épandage agricole. C'est une pratique très ancienne permettant de profiter des capacités biologiques naturelles des sols à digérer les boues et à réintroduire leurs éléments dans les cycles naturels. Cette pratique permet également de valoriser les propriétés fertilisantes des boues pour les cultures agricoles. En effet, les fortes teneurs en charges minérales (talc, kaolin, carbonate de calcium) et matières organiques (fibres) des boues primaires en font des amendements minéraux intéressants. Lorsque ces boues sont mélangées aux boues biologiques, elles apportent un amendement organique important grâce à la présence d'éléments fertilisants (rapport Carbone/azote variant de 5 à 50). Dans ce contexte, la germination sur des sols amendés avec des boues de cartonneries demandent des tests pour que le taux de germination soit égal ou supérieur à des plantes témoins, le développement du réseau de racines a été plus important ainsi qu'il y avait une meilleure rétention de l'eau dans le sol. Le contact des boues de cartonneries avec le sol permet aussi d'augmenter sa capacité à retenir les métaux lourds.[34].

III.9.2 La réhabilitation des terrains

Le pouvoir fertilisant des boues est aussi profitable pour réhabiliter les terrains des mines abandonnées, des carrières inutilisées et aussi des sols sableux. Le principe de cette méthode est identique à celui de l'épandage agricole, sauf que le but est différent. Le contenu organique des boues permet une fertilisation du sol, tandis que le contenu inorganique favorise la rétention d'eau. Plusieurs études pouvant montrer le potentiel de cette technique. Parmi lesquelles, on cite l'étude comparative effectuée, entre l'effet de l'utilisation des fertilisants et l'utilisation des boues de cartonneries mélangées à des fertilisants sur la réhabilitation du sol d'une mine. Dont les résultats devront montrer que l'utilisation des boues améliore le rendement de la réhabilitation du sol. Il existe cependant des inconvénients pour cette technique, tels que la variabilité de la demande en boue d'une région à l'autre, les coûts du transport et le fait que cette pratique ne peut pas être utilisée tout le long de l'année. [34].

III.10. Autres voies de valorisation

Les boues de cartonneries peuvent être à la base de la fabrication de plusieurs produits et matériaux qui ont un potentiel économique intéressant. [34]

D'où, nous suggérons les valorisations suivantes qui pourront faire l'objet d'une étude ultérieure :

- Matériau de remplissage dans le procédé de la fabrication du carton
- Matière première dans le procédé de fabrication du papier
- Fabrication des produits de rembourrage
- Fabrication du ciment
- Fabrication de panneaux à base de fibres de bois
- Fabrication des pouzzolanes utilisable dans l'industrie de cimenterie
- Fabrication des briques de construction

La réinjection des boues primaires directement dans le procédé de la fabrication du carton comme matériau de remplissage permet d'améliorer la stabilité et la résistance du produit résultant dont son inconvénient est l'augmentation de la teneur en cendres dans le carton, ce qui en résulte en feuilles de plus haute densité et pourra aussi influencer sur la recyclabilité du produit à l'avenir.[33]

La réinjection des boues dans le procédé de fabrication du papier, comme matière première s'explique jusqu'à un ratio de 1/4 de boues par rapport aux pâtes vierge est techniquement faisable. Les boues ont été utilisées dans la fabrication du ciment car les inorganiques présents dans les boues sont des produits de base nécessaires pour la fabrication du ciment.

Ainsi, les boues de cartonnerie et leurs cendres furent utilisées dans l'élaboration du béton, la fabrication des pouzzolanes utilisable dans l'industrie de cimenterie, la fabrication des panneaux de construction et des pierres décoratives.

Les boues des cartonneries peuvent être utilisées dans la production de panneaux de fibres à moyenne densité (MDF). Les boues constituent une matière première riche en fibre et à faible coût et qu'ils adhèrent bien aux fibres de bois ce qui peut réduire les besoins en adhésifs pouvant évaluer le potentiel des boues mélangées issues de différents procédés de mise en pâtes pour la fabrication de panneaux de fibres à moyenne densité. On peut conclure que l'augmentation de la teneur en boues dans la composition du panneau entraîne une dégradation proportionnelle pour la plupart des propriétés des panneaux. De la même façon ses boues ont une teneur de 20% à 30 % en cendres et peuvent être utilisées dans la fabrication des briques de construction. Elles peuvent être à la base de la fabrication des produits de rembourrage et la construction des barrières hydrauliques sur les sites

d'enfouissement, peuvent être aussi utilisées comme un substitut de l'amiante dans la fabrication des produits résistants au feu à usage interne et externe.

Ses boues furent ainsi utilisées pour la fabrication de nourriture et de litières d'animaux domestiques (chats, chiens) et de bovins. La valorisation des boues pour la nourriture d'animaux, en les mélangeant directement avec la nourriture des animaux ou par récupération de leurs protéines, est confrontée à l'opposition des producteurs de nourriture pour animaux et la population.

Conclusions Générales

Conclusion Générale

Quelque soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantité des boues non négligeables dont il faut les utiliser à travers une transformation secondaire. Il peut arriver qu'on retrouve dans les boues produites un certain nombre d'éléments biologique, organique ou métallique.

Les résultats obtenus tout au long de ce travail nous permettent d'affirmer que les boues résiduaires de la station de Bethioua peuvent être valorisées.

Le sol est le milieu récepteur d'une grande variété de déchets produits par l'activité humaine ; c'est le cas des boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines qui peuvent être éliminées et valorisées en agriculture. Cependant, ces boues renferment parfois des quantités importantes de métaux lourds. L'évaluation de l'impact des épandages de boues sur les sols demande le développement de méthodes d'analyses et d'études, en laboratoire et sur le terrain, qui permettent de prévoir les possibilités de mobilisation et d'accumulation des métaux apportés par les boues.

Tous ces résultats restent au stade expérimental, mais restent tout de même significative car ils ont apporté un plus par rapport à ceux obtenus chez le témoin, chose qui pourrait être bénéfique et en même temps encourageante pour les chercheurs, qui veulent trouver un moyen pour recycler les boues résiduaires. Donc les boues peuvent, en quelque sorte, avoir un rôle écologique, qui se résume dans l'amélioration de la texture du sol, et économique du fait que ces boues résiduaires ne sont pas coûteuses comparées aux engrais.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **J.R. Vaillant**, « *Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaire* », Edition EYROLLES, Paris 1974
- [2] **C. Coste, M. Loudet**, « *Assainissement en milieu urbaine ou rurale* », Tome 2, Edition du MONITEUR
- [3] **Degrémont**, « *Mémento technique de l'eau* », Edition DEGREMONT, 1995
- [4] **DUGUET J-P, (2006)**. Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement) p: 474.
- [5] **DUDKOW S, (2001)**. L'épandage agricole des boues de STEP.
- [6] **ASMAHANE B., (2011)**. Valorisation des poussières de four à ciment dans le procédé solidification/stabilisation des déchets.
- [7] **RODIER J., (2009)**. Analyse de l'eau, 9 ème édition DUNOD. p: 1600.
- [8] **AMADOU H., (2007)**. Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine. Thèses de doctorat, Université Lounis Pasteur. p: 170.
- [9] **TAUZIN C. JUSTE C., (1986)**. Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93 ministère de l'environnement. p: 158.
- [10] **Dignac M.F.H.S. FRANCOU C. DERNNE S., (2005)**. Pyrolyticstudy of compost and wasteorganicmatter. Org. Geochem 36. p: 1071.
- [11] **KOLLER E., (2009)**. Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols,Boues». Technique et ingénierie, Série environnement et sécurité ; 2ème édition DUNOD. p: 569.
- [12] **SEDKI A., (1995)**. Etude éco-toxicologique de la contamination. Thèses Doct. Etat, Univ. Cadi Ayyad, Fac. SCI. Semlalia, Marrakch, Maroc. p: 140.
- [13] **Agence De l'Environnement et de la Métrise de l'Energie (ADEME), (2001)**. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe édition, Paris. p: 59.
- [14] **Association Française pour l'Etude des Eaux (AFEE). (1974)**. Utilisation agricole des boues d'origine urbaine. p: 107.
- [15] **SLIMANI K., (2007)**. Suivi d'une boue dans une station dépuraton des eaux usées urbaine. Universities. M. B. Boumerdas. P: 123.

- [16] **Chih-Huang ,W., Yi-Fong, P.(2006)**. Adsorption of a cationic dye (méthylène blue) onto spent activated clay, *Journal of Hazardous Materials* 144 ,355–362
- [17] **Ju-Zhen ,Y., Li-Ming,Z. (2008)**. Removal of methylene blue dye from aqueous solution by adsorption onto sodium humate/polyacrylamide/clay hybrid hydrogels, *Bioresource Technology* 99, 2182–2186
- [18] **Ararem,F . (2011)**. Synthèse et caractérisation de biopolymères Application au piégeage de colorant, thèse de magister université d’Oran Es-Senia.
- [19] **Nozet ,H.(1976)**. Textiles chimiques et fibres modernes, Edition Eyrolles, Paris, page 237.
- [20] **Zawlotzki, E., Guivarch,(2004)**. Traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d’oxydation avancée « Electro-Fenton ». Application à la minéralogie des colorants synthétiques, Thèse de doctorat en Chimie, Université de Marne-La-Vallée, France,
- [21] **Allinger et al, (1979)**. Chimie organique : T1, T2, T3, Edition McGraw Hill,
- [22] **Kurbus, T., Slokar, Y.m., Le Marchal ,A.M.(2002)**. The study of the effect of the variables on H₂O₂/UV decoloration of vinylsulphone dye, part II, *Dyes Pigments*, Vol 54, 67 – 68,
- [23] **K. O” , PhD, (1989)**. "Surface-enhanced hyper-Raman spectroscopy with a picosecond laser: gold and copper colloids", Université Hong Kong, 170
- [24] **Chun, H., Yizhong, W. (1999)**. *Chemosphere* 39 2107
- [25] **J. Grzechulska, A.W. Morawzki, (2002)**. *Appl.Catal.B*, 36 45.
- [26] **Raouf, A.(1998)**. Adsorption, distribution et dynamique de l'eau dans le milieu poreux, édition LCPC, Paris.
- [27] **Martin - Neto, L., Vieira,E.M., Spisto, G.(1994)**. *Environ..Sci. Technol.*, 28, 1867,
- [28] **Waston,J.R., Posner,A.M., Quirk, J.M. (1973)**. *J. Soil Sci.*, 24, 503,
- [29] **Sigg, L., Stumm,W., Behra,P. (1992)**. Chimie des milieux aquatiques, Ed. Masson, p337,
- [30] **Chitour, C.E. .(1992)**. Physico-chimie des surfaces : les interfaces gaz-solide et liquide-solide » Office des Publication Universitaires, Volume 2 Algérie.
- [31] **Newman A.C.D. (1983)**. The specific surface of soil determined by water sorption. *J. Soil Sci.* 34 23-32.

[32] (1998). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats
Qualification des fines - Essai au bleu de méthylène Marcel Lecomte.

[33] **A. Zerhouni**, « *Exigence partielle de la maîtrise en ingénierie* », Université du
Québec, Septembre 2010

[34] **Soumia Amir**, « *Contribution à la Valorisation de Boues de Stations
d'épurations* »