



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences et génie de l'environnement

Spécialité : Génie des Procédés de l'environnement

THEME

***Valorisation de boues activées issues
du traitement des eaux usées.***

Présenté par :

- **Abdelhakim Bourouba**
- **Haithem Ouadi**

Soutenu le :.. / 09 / 2020 devant la commission d'examen composée de :

Dr. A. Touati

M.C.B à l'Université de Khenchela

Présidente

Dr. A. MAKHLOUF

M.C.A à l'Université de Khenchela

Encadreur

Mr. K.DJEFFAL

M.A.A à l'Université de Khenchela

Examineur

Promotion 2019/2020

Remerciements

Premièrement nous adressons notre plus grand remerciement à ALLAH le miséricordieux, lui qui nous a donné vie, force afin de rédiger et terminer ce travail. Nous tenons à remercier vivement notre Docteur Makhlouf Azzedine de nous avoir encadré et guidé durant la période de notre projet de fin d'étude, pour ses précieux conseils et remarques constructives qui nous permis de réaliser le présent travail.

Nous aimerions remercier nos professeurs de nous avoir donné le goût du travail lors de ces années d'études passées.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Liste des Abréviations

AC : L'assainissement collectif

ANC : L'assainissement non collectif

ASC : L'assainissement semi collectif

DBO : Demande biochimique en oxygène mg/l

REPD : Réseau d'eau de petit diamètre

MES : Matière en suspension

STEP : Station d'épuration

PH : Potentiel Hydrogène

DCO : Demande chimique en oxygène mg/l

ONA : Office national d'assainissement

MF : la microfiltration

UF : L'ultrafiltration

NF : La nano filtration

OI : L'osmose inverse

CO₂ : Dioxyde de carbone

NH₃ : Ammoniac

SO₄²⁻ : Sulfate

MVS : Matière volatile sèche

Ms : Matière sèche

Cu : Cuivre

Zn : Zinc

Cr : Chrome

MO : Matière organique

ERI : Eaux Résiduaire Industrielle

CH₄ : Méthane

EH : Equivalent habitant

CET : Centre d'Enfouissement Technique

Pb : Plomb

Ni : Nickel

AGV : Acides gras volatils

CHON : Carbone - Hydrogène - Oxygène – Azote

PCI : Le pouvoir calorifique inférieur

H₂O : L'eau

Liste Des Tableaux

Tableau I.1: Performances (en %) des différents traitements tertiaires.....	19
Tableau II.1 : Différents types de boues de STEP et leur composition.....	26
Tableau II.2 : Exemple de composition chimique moyenne de boues.....	30
Tableau II.3 Avantage et Inconvénients de procédé de stabilisation.....	37
Tableau II.4 Avantage et inconvénients des traitements des boues.....	40
Tableau II.5 Avantages et inconvénients des sécheurs.....	44
Tableau III.1 Avantages et inconvénients des filières d'élimination.....	61

Liste des figures

Chapitre I : Origines et traitement des eaux usées

Figure I.1: Types d'installation d'assainissement collectif	3
Figure I.2: assainissement non collectif	5
Figure I.3 : poste de relevage – STEP de kais	11
Figure I.4: Déssableur	12
Figure I.5 : déshuileur –STEP de kais.....	13
Figure I.6 : Schéma résumé du prétraitement	14
Figure I .7 : Le principe d'un lagunage aéré	17
Figure I .8 : Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques	17
Figure I.9 : Exemple de lampe UV	21

Chapitre II : Généralité sur les boues activées

Figure II.1 boue d'épuration.....	23
Figure II.2 : Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées.....	25
Figure II.3 : Épaississement des boues.....	33
Figure II.4 : Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire.....	34
Figure II.5 : Filtre à bandes	39
Figure II.6 Déshydratation Géomembrane	40
Figure II.7 : Tambour rotatif de type direct. 1. Entrée du produit humide ; 2. Léchage d'air chaud ; 3. Sortie du produit sec (Adema et al. 2000)	42

Figure II.8 : Tambours rotatifs43

Figure III.1 : valorisation agricole des boues.....46

Figure III.2 : l'épandage des boues.....47

Chapitre III : Valorisation des boues activées

Figure III.3 : compostage des boues.....49

Figure III.4: les différentes étapes de production d'un compost.....50

Figure III.5 :Les étapes de la méthanisation.....52

Figure III.6: Production de biogaz en fonction de la température.....53

Figure III.7 : Différentes voies de valorisation du biogaz.....55

Figure III.8 : Atelier d'incinération des boues.....58

Figure III.9: Un pré-sécheur.....59

Figure III.10 : Coupe schématique d'un four à lit fluidisé.....60

Table des matières

Introduction générale.....	2
Chapitre I	
I.1 Introduction.....	5
I.2 Collecte des eaux domestiques.....	5
I.3. types d'assainissement.....	6
I.3.1 l'assainissement collectif.....	6
I.3.2 l'assainissement non collectif.....	8
I.3.3 L'assainissement semi collectif.....	9
I.4 Différents types de réseaux d'assainissement.....	9
I.4.1 Réseau unitaire.....	9
I.4.2 Réseau séparatif.....	10
I.4.3 Réseau pseudo séparatif.....	10
I. 5. Les différents polluants existant dans les eaux domestiques.....	10
I.6 Traitement des Eaux Usées domestiques.....	Erreur ! Signet non défini.
I.6.1 Définition.....	13
I.6.2 L'objectif du traitement.....	13
I.6.3 Les différentes Traitement des eaux usées.....	13
I.6.3.1 le prétraitement.....	13
I.6.3.1.1 Le relevage.....	14
I.6.3.1.2 Le dégrillage.....	14
I.6.3.1.3. Le Dessablage.....	14
I.6.3.1.4 Déshuilage et dégraissage.....	15
I.7. Traitement primaire.....	17
I.8 Traitement secondaire (traitement biologique).....	17
I.8.1 Définition et principe.....	17
I.8.2. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées.....	18
I.8.2.1. Procédés biologiques extensifs.....	18
I.8.2.1.1 Procédé du lagunage (culture libre).....	18
I.8.2.1.2 Disques biologiques (cultures fixées).....	20
I.9. Le traitement tertiaire.....	21
I.9.1 Élimination des MES et de la matière organique.....	21

I.9.2 Élimination de l'Azote et du Phosphore	22
I.9.3 Élimination des pathogènes	22
I.9.3.1 La désinfection par chloration	23
I.9.3.2 La désinfection par l'ozone	23
I.9.3.3 La désinfection par l'UV	23
Conclusion.....	24

Chapitre II

II. Généralité sur les boues activées.....	Erreur ! Signet non défini.
II.1.Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
II.2. Définition.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3. Les différents types de boues issues des eaux usées.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.1 Les boues primaires.....	Erreur ! Signet non défini.
II.3.2 Les boues secondaires.....	27
II.3.3 Les boues tertiaires	Erreur ! Signet non défini.
II.3.4 Les boues mixtes	Erreur ! Signet non défini.
II.4.Caractérisation des boues	29
II.4.1 Caractère organique ou minéral	29
II.4.2 Caractère hydrophile ou hydrophobe	29
II.5.Classification des boues	30
II.5.1 Classe organique-hydrophile	30
II.5.2 Classe minérale-hydrophile	30
II.5.3 Classe huileuse	30
II.5.4 Classe minérale-hydrophobe	30
II.5.5 Classe-minérale-hydrophile-hydrophobe	31
II.5.6 Classe fibreuse	31
II.6 Composition et traitement des boues résiduares.....	31
II.6.1 Composition des boues résiduares	31
II.6.2 Matière organique	31
II.6.3 Éléments fertilisants et amendements	32
II.6.4 Contaminants chimiques inorganiques et organiques	32
II.6.5 Les micro-organismes pathogènes	32
II.7 Les caractéristiques physico-chimiques des boues.....	Erreur ! Signet non défini.
II.7.1 Caractéristiques chimiques	33

II.7.2 Caractéristiques physiques	34
II.8 Étapes de traitement des boues résiduaires	Erreur ! Signet non défini.
II.8.1 Objectif	35
II.8.2 Épaississement.....	Erreur ! Signet non défini.
II.8.2.1 Épaississement gravitaire	36
II.8.2.2 Épaississement dynamique	37
II.8.2.3 Épaississement des boues primaires et biologiques.....	38
II.8.3 Stabilisation.....	39
II.8.4 La déshydratation	40
II.8.4.1 La déshydratation mécanique	41
II.8.4.2 La déshydratation par géomembranes	42
II.8.5 Le séchage	Erreur ! Signet non défini.
II.8.5.1 Le séchage thermique	44
II.8.5.2 Les lits de séchage	45
II.8.5.3 Les différents types de sècheurs	45
II.8.5.4 Considérations énergétiques	47
II.8.5.5 Intérêts de Séchage	48

Chapitre III

III. Valorisation des boues activées	50
III.1 Introduction.....	50
III.2 La valorisation agricole.....	50
III.2.1 L'épandage	50
III.2.1.1 Les risques d'épandage.....	51
III.2.2 Le compostage des boues	52
III.3 Valorisation énergétique	Erreur ! Signet non défini.
III.3.1 La méthanisation	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Utilisation du biogaz	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1 Composition du biogaz	58
III.4.2 Propriétés du Biogaz	58
III.5 Voies d'élimination des boues.....	59
III.5.1 La mise en décharge.....	59

III.5.2 L'incinération des boues.....	60
III.5.2.1 Installation d'incinération	61
III.5.2.1.1 Fours d'incinération	63
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale	Erreur ! Signet non défini.
Références bibliographiques.....	70

Introduction générale

Introduction générale

La croissance démographique et le développement des activités humaines s'accompagnent inévitablement d'une production croissante de rejets polluants et d'une complexification de ces derniers. Une estimation montre qu'une personne consomme 150 à 200 litres en moyenne d'eau potable par jour. Une fois utilisée, il est nécessaire d'évacuer cette eau dans de bonnes conditions afin de protéger l'environnement.

De nombreuses substances sont déversées dans l'eau ce qui alter sa qualité. Cette pollution est produite par des matières minérales et organiques, indésirables ou toxiques qui sont en suspension, en solution ou en émulsion. Ce problème est devenu une préoccupation majeure pour l'ensemble de la population et une priorité pour les autorités publiques, parmi les moyens de lutte contre les eaux polluées que nous à offert la technologie sont les stations d'épuration des eaux polluées (STEP).

Les stations d'épuration ont pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents avant leur rejet dans le milieu naturel. Si l'eau, en fin de traitement, est effectivement épurée, la pollution initiale se retrouve en partie stockée et concentrée dans les boues issues des diverses étapes de traitement de l'eau. Ces boues sont donc considérées comme un déchet, qu'il faut éliminer tout en respectant certaines contraintes. La gestion, la valorisation et l'élimination de ces boues constituent, en général, une sérieuse problématique pour le gestionnaire du secteur de l'assainissement et des stations d'épuration. Ces opérations sont complexes et coûteuses pour la collectivité.

L'objectif de notre travail consiste à étudier les deux voies de valorisation des boues existantes, à partir de systèmes d'évacuation des eaux usées et leur méthode de traitement.

La première partie de ce travail concerne une vision générale sur l'assainissement des eaux et leur types avec des paramètres précisés pour objectif de réduire l'exposition de la population aux maladies en leur offrant un cadre de vie sain, ensuite les polluantes (microbiologiques et organiques...) qui existent sur les eaux domestiques et enfin les étapes de traitement au niveau de station d'épuration (prétraitement, traitement primaire, secondaire et tertiaire) qui permet d'élimination des différentes matières polluantes, le deuxième chapitre se focalise sur des généralités des boues, leur types, caractérisations et classifications aussi de quoi se composer, d'autre part on indique la procédure complète de traitement de la boue à partir de l'épaississement vers le séchage.

L'exploitation de ces déchets est ainsi très importante, pas uniquement du point de vue énergétique, mais aussi sur le plan écologique et économique. Ils existent deux filières de valorisation des boues, agricole (l'épandage et le compostage) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur (production d'engrais) ajoutée en minimisant les risques de pollution aussi on a la méthanisation qui est l'une des voie de valorisation énergétique (production de biogaz comme source de chaleur et d'électricité), nous avons terminé notre travail par les voie d'élimination des boues ; l'une des ces méthodes est la mise en décharge et la deuxième est définit sous l'incinération qui est un procédé de traitement des déchets présentés sous formes de boues, destiné à en réduire le poids et le volume par combustion. Les boues incinérées sont principalement les boues issues du traitement des eaux usées, produites en stations d'épuration.

Chapitre I : Origines et étapes de traitement des eaux usées

I. Origine et étapes de traitement des eaux usées**I.1 Introduction**

Depuis quelques années, une urbanisation croissante et une densification spatiale importante ; et les infrastructures d'assainissement sont malheureusement très insuffisantes et très peu développées induisant des maladies diverses liées à la vie dans un environnement insalubre. C'est pourquoi L'assainissement en milieu urbain et rural est sans doute indispensable à un épanouissement, et surtout primordiale pour la protection de l'hygiène du milieu environnant et il représente un enjeu majeur tant pour la santé public que pour l'environnement. L'assainissement a pour objet l'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales par des dispositifs compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement, il est règlementé dans le code de la santé publique et dans le code général des collectivités territoriales, puisque ce sont en premier chef notre santé et les communes qui sont concernées.

À partir d'un système d'assainissement cette eau usée est épuré a pour objectif de réduire la charge polluante ça veut dire éliminer tous les polluantes qui existent dans les eaux usées avec certaine méthode de traitement, afin de rendre au milieu aquatique qui est le milieu récepteur une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs.

I.2 Collecte des eaux domestiques**I.2.1 Définition :**

On appelle « système d'évacuation des eaux » l'ensemble des dispositifs et des produits utilisés et raccordés entre eux de traitement des eaux usées d'une agglomération (assainissement collectif), ou d'un ensemble de parcelles (assainissement non collectif), avant leur rejet dans le milieu naturel.

I. 2.2 objectif :

Mis en place dans le cadre de l'assainissement, le système d'évacuation des eaux vise les objectifs suivants :

- Permettre dans un premier temps aux habitants de se débarrasser des eaux domestiques une fois qu'elles ne peuvent plus être utilisées ;

- Traitement dans un second temps pour éliminer la charge polluante, afin qu'une fois déversées dans la nature, elles ne représentent aucun danger pour elle.
- L'assainissement réduit l'exposition de la population aux maladies en leur offrant un cadre de vie sain. C'est un élément crucial pour briser le cycle (infection – maladie - guérison -infection).

[1]

I.3 types d'assainissement

Il existe deux types d'assainissement des eaux usées domestiques à savoir:

- 1 – l'assainissement collectif (AC)
- 2 – l'assainissement non collectif (ANC) ou individuel
- 3 – L'assainissement semi collectif (ASC)

I.3.1 l'assainissement collectif

Le système d'évacuation des eaux collectif a été mis en place par la commune. Comme son nom l'indique, il est « commun » à toutes les habitations d'un village, d'une ville.

Les systèmes d'évacuation des eaux collectives ont pour rôle de collecter les eaux en provenance de chaque habitation, et de les évacuer par pression vers une station d'épuration qui va les traiter. Pour remplir leur rôle, ils doivent être reliés aux canalisations de chaque maison, chacune d'elle devant être pourvue de siphon fixé à une conduite d'évacuation. Puis ce réseau doit être relié à une « chute », c'est-à-dire une canalisation à large diamètre. [1]

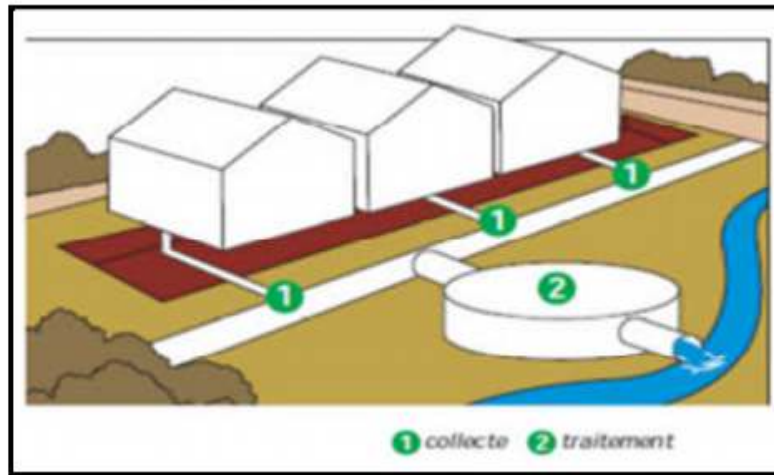


Figure I.1: Types d'installation d'assainissement collectif.

I.3.1.1 les paramètres d'assainissement collectif des eaux usées

La collecte des eaux usées communales peut être décrite à partir des paramètres suivants :

- **Taux de desserte**

Il est défini comme le rapport entre le nombre d'habitations desservies par le réseau d'assainissement collectif et le nombre total d'habitations.

- **Taux de raccordement**

Le taux de raccordement est le rapport de la population raccordée effectivement au réseau d'assainissement collectif (réseau de collecte et station de traitement) à la population desservie par celui-ci.

- **Taux de collecte**

Le Taux de collecte est défini comme le rapport de la quantité de matières polluantes captées par le réseau à la quantité de matières polluantes générées dans la zone desservie par le réseau. Il s'agit d'un indice calculé à base de DBO5.

I.3.1.2 L'objectif Visé

L'assainissement collectif a pour objectif de :

- ✓ protéger la santé,
- ✓ protéger la salubrité publique,
- ✓ Protéger l'environnement contre les risques des eaux usées et pluviales notamment domestiques.

I.3.2 l'assainissement non collectif

Le système d'évacuation d'eau individuel est possible et recommandé lorsque les canalisations domestiques ne peuvent être raccordées au système collectif, et ce, parce que ce dernier n'a pas encore été mis en place dans la zone où est située l'habitation, ou parce qu'il est trop loin.

On entend par assainissement non-collectif tout système d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, l'épuration, l'infiltration ou le rejet des eaux usées domestiques non raccordés au réseau public.



Figure I.2: assainissement non collectif.

I.3.2.1 Les objectifs du service public d'assainissement non collectif

- - la mise aux normes des dispositifs les plus impactant pour le milieu récepteur,
- - la baisse des rejets d'eaux usées mal ou non traitées.

I.3.3 L'assainissement semi collectif

Le système d'assainissement semi collectif est intermédiaire entre le collectif et l'autonome. On l'appelle aussi réseau de petit diamètre (REPD) et il est constitué des parties suivantes:

- Des fosses intermédiaires (ou fosses d'interception) éliminent les matières flottantes et en suspension
- Un réseau de canalisations de petit diamètre qui capte toutes les eaux décantées les achemine vers l'exutoire
- Un exutoire final qui peut être un réseau conventionnel ou une station d'épuration.

Le principe de fonctionnement du réseau de petit diamètre est basé sur la collecte d'effluents de fosses septiques. La fosse septique élimine un pourcentage élevé de matières en suspension et de graisses, la faible fraction de solides non retenus possède un poids spécifique à peu près équivalent à celui de l'eau.

[3]

I.4 Différents types de réseaux d'assainissement

L'assainissement collectif suppose d'avoir un réseau urbain d'assainissement auquel les usagers se raccordent pour collecter les eaux usées ; ainsi le réseau peut être unitaire ou séparatif. Le réseau unitaire collecte ensemble dans une même canalisation, les eaux usées domestiques et les eaux pluviales, tandis que dans le réseau séparatif, il y a deux raccordements par habitation, un pour les eaux usées domestiques et le second pour les eaux pluviales.

I.4.1 Réseau unitaire

Un système dit unitaire, appelé aussi « tout à l'égout », est un système qui draine l'ensemble des eaux usées et pluviales vers l'extérieur de l'agglomération par un réseau unique. C'est un système compact qui convient mieux pour les milieux urbains de hautes densités, mais qui pose, mais qui pose des problèmes d'auto-curage en période sèche. [4]

I.4.2 Réseau séparatif

Un système dit séparatif qui collecte séparément les eaux usées et les eaux pluviales dans deux réseaux distincts. Il est adopté dans les petites et moyennes agglomérations et dans les extensions des grandes villes [4]

I.4.3 Réseau pseudo séparatif

C'est un réseau séparatif particulier dans lequel le réseau d'évacuation des eaux usées reçoit certaines eaux pluviales (toiture, cours, etc.), le réseau pluvial ne reçoit que les eaux de ruissellement des chaussées et des trottoirs. [4]

I. 5. Le différent polluant existant dans les eaux domestiques

a. Matières en suspensions

Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond ; elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent. Elles peuvent rendre les eaux très opaques et provoquer aussi une eutrophisation.

b. Sels minéraux

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique. [5]

c. Les polluants organiques

➤ **Les pesticides**

On désigne généralement comme des produits utilisés en agriculture les conséquences néfastes dues aux pesticides sont liées aux caractères suivants :

- Rémanence et stabilité chimique conduisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires.

- Rupture de l'équilibre naturel.

➤ **Les détergents**

Sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence dans les eaux est due aux rejets d'effluent urbains. Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- L'apparition de goût de savon.

- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle.

- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau.

d. Les polluants minéraux

➤ **Les éléments minéraux nutritifs**

(Nitrates et phosphates) : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques (Mayet., 1994), il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

➤ **phosphore**

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en P₂O₅). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (FAO, 2003). Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation; cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore

➤ **potassium (K⁺)**

: Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de K₂O) et permet donc de répondre partiellement aux besoins

I. 6.4.1.3. Chlore et sodium :

Leur origine est :

* Naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains salés)

* humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j).

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres

e. Les polluants microbiologiques

➤ Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les fèces est d'environ 10¹² bactéries/g (Asano, 1998). Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ proteus et entérobactéries, 10³ à 10⁴ streptocoques et 10² à 10³ clostridiums. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonelles dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau ce sont les coliformes thermo tolérants.

➤ Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées (Baumont et al, 2004). Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *giardialambliia*.

➤ Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent En infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, Contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination Contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le coronavirus où elle Peut aussi avoir lieu par inhalation. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules Par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui Conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus Entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les Rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite.

[6]

I.6 Traitement des Eaux Usées domestiques

1.6.1 Définition

Le traitement des eaux usées sert à éviter le plus possible de polluer le milieu naturel ou elles sont rejetées. Pour cela, on dispose des stations d'épuration qui nettoient ces eaux. Aujourd'hui, les stations de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dépollution compactes, couvertes, désodorisées, automatisées. Elles mettent en oeuvre des traitements de plus en plus performants, capables d'éliminer à la fois les différentes substances polluantes carbonées, azotées et phosphorées. Ces stations sont dimensionnées pour traiter une certaines charges de pollution et assurer un rejet conforme aux valeurs limites définies par l'arrêté préfectoral d'autorisation. [7]

1.6.2 L'objectif du traitement

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à base prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

I.6.3 Les différentes Traitement des eaux usées

I.6.3.1 le prétraitement

Le prétraitement constitue l'ensemble des opérations physiques et mécaniques destinées à extraire des eaux usées la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. On se débarrasse ici des éléments grossiers, sableux et graisseux.

[8]

Ils se composent de 4 étapes

I.7.6.1.1 Le relevage

Le relevage est nécessaire avant tous prétraitement pour assurer un passage gravitaire de l'eau dans les différents ouvrages de traitement, le niveau d'entrée des eaux à épurer étant plus bas que le niveau de sortie du clarificateur des eaux épurées avant rejet dans le milieu naturel. On utilise alors un système de relevage assuré par des pompes à roues multicanaux fermés ou par vis d'Archimède.



Figure I.3 : poste de relevage – STEP de kais

I.6.3.1.2 Le dégrillage

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques, etc. En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus

serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage.

I.6.3.1.3. Le Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autres particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion,

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, sa dégradation provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau.



Figure I.4: Dessableur

[9]

I.6.3.1.4 Déshuilage et dégraissage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent à séparer des produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée, dans une enceinte liquide de volume suffisant.

Les graisses sont des matières en suspension (à condition qu'une température suffisamment basse autorise leur figeage) d'origine essentiellement animal (ou végétal), présente dans les ERU et dans certaines ERI (agroalimentaire), et en faible quantité sur les bassins de pluie, lagune, étangs ... Le produit se présente sous la forme de particules libres, ou plutôt agglomérées avec des matières en suspension diverses (qu'il faut essayer de détacher pour autoriser leur flottation). De fait, n récupère toujours, en même temps que les graisses proprement dites, certains produits flottants tels que débris divers végétaux (fibres) ou animaux (abattoirs), élastomères et plastique ...

Le dégraissage est donc un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal de boues de fond fermentescibles. Son rendement est difficile à définir par suite des difficultés d'échantillonnage et d'analyse.

On a coutume d'appeler *huiles* des produits liquides non miscible à l'eau aussi différents que les huiles végétales, les huiles minérales, les hydrocarbures légers et le terme déshuilage est habituellement réserver à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les ERI, en particulier dans les industries du pétrole (mais normalement absentes des ERU , leur rejet en égout étant interdit) .

❖ Principe

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations.



Figure I.5 : déshuileur –STEP de kais

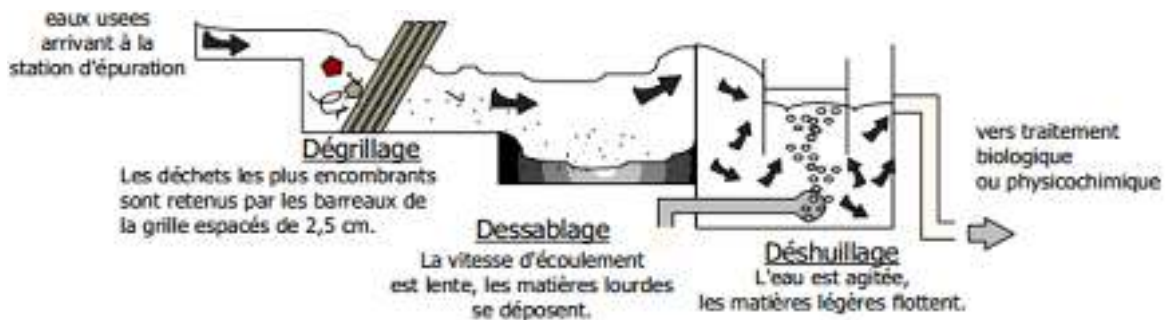


Figure I.6 : Schéma résumé du prétraitement

I.7.3.2 Traitement primaire

Le traitement primaire des eaux usées permet une élimination des différentes matières polluantes solides et dans certains cas un épaissement des boues. Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et floculant. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation. (Boues physico-chimiques) Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension.

Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration. Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines. Se rajoutent ensuite les traitements secondaires voire tertiaires.

- **la floculation** : c'est-à-dire la précipitation de ces matières sous l'effet de réactifs chimiques, permet d'accélérer et de compléter leur décantation.
- **la centrifugation** : est employée pour les rejets fortement chargés en MES et ayant une faible vitesse de décantation.
- **la filtration** : s'applique à des MES peu nombreuses et de petite taille.

I.6.3. 3 Traitement secondaire (traitement biologique)

I.6.3.3.1 Définition et principe

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries. (REJSEK, 2002). Ces traitements sont basés sur la capacité des micro-organismes à oxyder la matière minérale (NH_3 ...) et les matières constitutives de la DCO et de la DBO d'une part (aérobie), et à réduire d'autre part les molécules comportant de l'oxygène : NO_3^- (anoxie), SO_4^{2-} et CO_2 (anaérobie). Ils vont permettre ainsi d'éliminer la pollution soluble biodégradable et une partie de MES.

Les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des microorganismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou finement dispersées (Desjardins, 1997). La dégradation peut se réaliser par voie aérobie ou anaérobie. Les deux familles ont besoin d'avoir chaud ($25\text{ }^\circ\text{C}$) et d'un pH ni trop acide ou basique ($\text{pH} = 7$).

- a. **la voie anaérobie** : si les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, en milieu réducteur. Le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de CO_2 , méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonées, de type industriel (basserie, sucrerie, conserverie ...).
- b. **la voie aérobie** : si l'oxygène est associé aux réactions. Cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO_2 et de biomasse. [6]

I.6.3.3.2. Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées

I.6.3.3.2.1. Procédés biologiques extensifs

Ils reposent sur les phénomènes de l'autoépuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux. Ce sont le lagunage, l'épandage. [10]

I.6.3.3.2.1.1 Procédé du lagunage (culture libre)

a) **Définition :** Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières.

b) Types de lagunage

Lagunage naturelle

Le lagunage naturel est une technique d'assainissement des eaux usées par un système ouvert de bassins successif (marais reconstituée) qui permet d'épurer complètement les matières organiques. Les micro-organismes qui sont à la base de la dépollution se développent en suspension dans des bassins dont la profondeur n'excède pas 1,2 m. Il convient de prévoir trois bassins en série. La production de l'oxygène est assurée par des algues qui se développent naturellement dans les bassins et à partir du phénomène de la photosynthèse. [11]

Lagunage aéré

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air.

Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année.

[8]

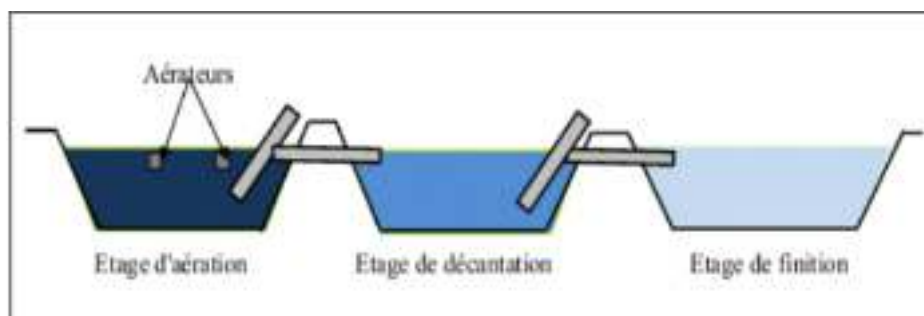


Figure I.7 : Le principe d'un lagunage aéré

Procédé biologique intensif

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu nature.

I.6.3.3.2.1.2 Disques biologiques (cultures fixées)

Les disques biologiques ou bio-disques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps (pour absorber de l'oxygène). Les disques sont recouverts par un bio film sur les deux faces. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr mn⁻¹. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu nature. [6]

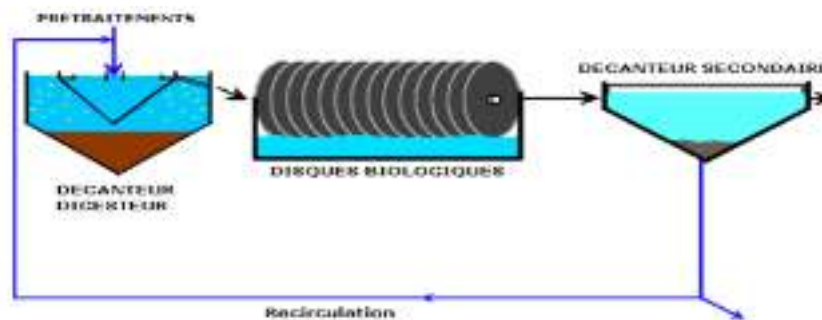


Figure I.8 : Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques.

Le lit bactérien (culture fixée)

Le principe de ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. L'aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau : et

l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'au micro-organisme assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gaz. [12]

I.6.3.4. Le traitement tertiaire

Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Par exemple, lors d'une réutilisation en irrigation maraichère (production de fruits et légumes sans traitement thermique industriel) il faut éliminer en priorité les pathogènes et garder des éléments nutritifs, alors que lors d'une réutilisation en milieu urbain ou pour une recharge de nappe, l'azote et le phosphore doivent être éliminés afin d'éviter tout risque d'eutrophisation (*Dunglas, 2014*). Dans la plupart des cas, la qualité d'eau requise pour une réutilisation des eaux usées traitées, est le niveau de qualité A (Tableau 4). C'est en partant de ce niveau de qualité à respecter, qui est le plus contraignant, qu'une liste des différents traitements tertiaires possibles va être établie dans la suite de ce rapport.

I.6.3.4.1 Élimination des MES et de la matière organique

Plusieurs traitements tertiaires basés sur le principe de la filtration sont possibles pour abattre les matières en suspension et les matières organiques.

Les procédés les plus courants sont la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF), l'osmose inverse (OI) et la filtration sur milieu granulaire (sable, anthracite,...). L'infiltration-percolation peut également être utilisée comme traitement de finition (*Boutin & al.*

Tableau 3 : Performances (en %) des différents traitements tertiaires

	MF	UF	NF	OI	Filtration sur milieu granulaire	Infiltration-percolation
<i>DBO</i>	75 – 90	80 - 90				60 -100
<i>DCO</i>	70 - 85	75 - 90	COT : 90 - 98	COT : 90 - 98		30-50
<i>MES</i>	95 - 98	96 – 99,9	40 - 60	90 - 98	1 à 8 mg/L	65-95

I.6.3.4.2 Élimination de l'Azote et du Phosphore

Élimination de l'azote

Parfois, l'élimination souhaitée en azote n'est pas obtenue en sortie de station. Une étape de nitrification et/ou dénitrification avec apport de substrat carboné peut alors être ajoutée dans la filière de traitement. Cette étape placée généralement après le traitement biologique secondaire est appelée traitement tertiaire de l'azote. Les procédés associant traitement biologique et filtrant comme les biofiltres sont particulièrement efficace pour éliminer la pollution azotée résiduelle. Ils sont généralement utilisés pour une nitrification tertiaire. Pour une dénitrification tertiaire, un ajout de carbone soluble (méthanol ou acétate) est effectué pour apporter une source de carbone organique aux bactéries dénitrifiantes car elles sont hétérotrophes. Ce type de traitement permet d'abaisser au maximum la concentration en azote des eaux usées.

Élimination du phosphore

Une déphosphatation biologique peut être mise en place. La biomasse accumule alors le phosphore. Cette déphosphatation est souvent couplée avec le traitement biologique secondaire. Un traitement physico-chimique peut aussi être effectué. Dans ce cas, un ajout de chlorure ferrique permet aux ions phosphates de former un précipité de phosphate de fer, qui est ensuite éliminé par une étape de séparation par exemple, le procédé Actiflo de Veolia

permet une précipitation quasi-totale du phosphore (95%) grâce à un procédé tertiaire de clarification à grande vitesse.

I.6.3.4.3 Élimination des pathogènes

Les procédés comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la nanofiltration, permettent d'éliminer la plupart de ces pathogènes. Mais il peut y avoir une nouvelle contamination à l'aval. Il est donc nécessaire d'ajouter une étape de désinfection. Elle élimine et empêche tout développement de pathogènes lors de la réutilisation.

Les caractéristiques principales d'un procédé de désinfection sont les suivantes :

- Être efficace sur les microorganismes pathogènes
- Ne pas engendrer la formation de sous-produits indésirables
- Être non dangereux pour la santé et l'environnement.

I.6.3.4.3.1 La désinfection par chloration

La méthode la plus ancienne de désinfection est l'utilisation de chlore. Le chlore est injecté directement dans les eaux usées. Il peut être utilisé sous forme de chlore gazeux, hypochlorite de sodium et bioxyde de chlore. Cet oxydant très puissant permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose. En effet, il endommage les membranes des cellules. C'est une technique très facile à mettre en place et peu coûteuse. Toutefois, la désinfection des eaux usées par chloration peut avoir un impact négatif sur la faune et flore aquatique (toxicité du chlore résiduel). De plus, les réactions entre le chlore et les matières organiques restantes dans les eaux peuvent former des sous-produits organochlorés, parfois cancérigène.

I.6.3.4.3.2 La désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz oxydant très puissant, qui permet de dégrader la matière organique et d'éliminer les principales sources pathogènes présentes dans l'eau.

La désinfection par l'ozone se déroule comme suit. L'eau en sortie de STEP est stockée dans une cuve tampon. Elle sera ensuite pompée pour passer à travers un ou plusieurs filtres à tamis pour ensuite être introduite dans une « chambre d'impact ». C'est dans cette chambre que sera injecté l'ozone. Un mélange parfait entre l'ozone et l'eau est alors réalisé. C'est un générateur d'ozone qui produit l'ozone nécessaire au traitement. Il n'y a pas d'utilisation de

produits chimiques. Il faut juste de l'air et de l'électricité. Environ 10 g/h/m³d'eau d'ozone est suffisant pour éliminer l'ensemble des pathogènes avec un temps d'exposition est d'une heure. À la sortie de ce traitement tertiaire, l'eau peut être rejetée dans le milieu naturel ou être réutilisée.

I.6.3.4.3.4 La désinfection par l'UV

Le procédé d'ultraviolet se place à la suite d'un traitement secondaire du type boues activées plus clarificateur. Les rayonnements UV sont des ondes lumineuses de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. Leur pouvoir germicide dépend de la longueur d'onde émise. Ce sont les UVc compris entre 200 et 280 nm qui sont les plus germicides.

La source d'émission UV utilisée en désinfection est la lampe à vapeur de mercure. Il s'agit de lampes à arc électrique qui provoque l'excitation des atomes de mercure, puis l'émission de radiations par retour à leur état fondamental.



Figure 1.9 : Exemple de lampe UV [13]

Conclusion

Dans ce chapitre on a présente une généralité sur le système d'évacuation des eaux usées domestiques, leur types d'assainissements.

Aussi les polluantes qui existent dans ces eaux soit organiques ou minérales passent par les différentes traitements (primaire, secondaire ou biologique, tertiaire) à titre d'exemple traitement par lagunage et par boues active qui ont à appliquer dans le cadre d'assainissement et d'épuration des eaux usées.

Chapitre II : Généralité sur les boues activées

II.1.Introduction

La filière boue représente une partie considérable des coûts d'exploitation d'une station d'épuration, quelque fois même majeur parmi les autres postes. Cela s'explique notamment par le mode d'élimination et les volumes à transporter. Pour réduire ces coûts, une solution simple consiste à optimiser les coûts de transport en augmentant les installations de stockage. Quant aux modes d'élimination, l'enfouissement et l'incinération présentent un coût conséquent. Bien moindre est le recyclage agronomique ; l'épandage restant cependant à la charge du maître d'ouvrage de la station d'épuration. Enfin, une autre manière de réduire les coûts d'exploitation et de diminuer l'empreinte écologique de l'élimination des boues d'épuration, consiste à diminuer l'énergie consommée par les installations voire à valoriser l'énergie produite. Le séchage solaire présente ainsi l'intérêt direct de nécessiter de faibles consommations d'énergie : environ 250 kW par tonne d'eau évaporée, contre environ 850 kW par tonne évaporée pour le séchage direct et 950 kW pour le séchage indirect.

II.2. Définition

Les boues activées sont l'accumulation de micro-organismes qui dégradent la matière organique lors du traitement des eaux usées biologiques aérobies. Une boue activée se compose principalement de bactéries, de champignons et de protozoaires et aussi des substances minérales et organiques. [14]



Figure II.1 boue d'épuration

II.3. Les différents types de boues issues des eaux usées

II.3.1 Les boues primaires

Elles proviennent du décanteur primaire et correspondent en grande partie au piégeage de la pollution particulaire d'entrée. Dans le cas où la pollution colloïdale doit être piégée, l'ajout de réactifs chimiques (coagulants et floculant) est nécessaire.

Leurs principales caractéristiques sont :

- d'avoir une bonne aptitude à la décantation, ce qui permet l'obtention de concentrations élevées par simple épaissement car elles contiennent des particules de grosse taille et de densité élevée.
- d'être favorable à la déshydratation et donc aux traitements visant à les épaisir ;
- d'avoir une teneur importante en matières organiques, fonction de la typologie des eaux d'entrée. Ce taux de matières organiques par rapport aux MES (matières en suspension) diminue lors des épisodes pluvieux ou lors d'ajout de réactifs chimiques (et plus particulièrement lors d'ajout de coagulants minéraux).

À titre d'information, les rendements obtenus peuvent être les suivants :

II.3.2 Les boues secondaires

Les boues secondaires, ou biologiques, proviennent du traitement biologique qui est possible grâce aux micro-organismes épurateurs du milieu, essentiellement des bactéries. Sous l'effet des paramètres de fonctionnement retenus sur le réacteur biologique, les bactéries libres épuratrices du départ vont adopter une structure en floes. Ceux-ci sont de taille différente selon la charge massique retenue dans le système et de qualité différente (taux de MVS) selon la part d'auto oxydation de la biomasse, dépendante aussi de la charge massique et de la typologie des eaux d'entrée (fraction des MVS sur les MES). La formation de floes va faciliter la rétention par décantation de la biomasse au sein du clarificateur.

En fonction de la charge massique retenue (quantité de MO entrante, quantité de biomasse présente dans le bassin), on distingue:

- les boues dites d'aération prolongée (Cm \leq 0.1kg de DBO₅/kg MVS) avec un taux de MVS de l'ordre de 65 à 70 %
- les boues dites de moyenne charge (Cm \leq 0.5kg de DBO₅/kg MVS) avec un taux de MVS de 70 à 75 %.

- les boues dites de forte charge ($C_m > 0.5\text{kg de DBO}_5/\text{kg MVS}$) avec un taux de MVS supérieur de 80 %.

Les boues secondaires ou biologiques ont pour caractéristiques :

- d'être peu favorable à la déshydratation, ce qui engendre des coûts supplémentaires pour l'épaississement,
- d'être de qualité variable suivant les paramètres de fonctionnement fixés ou subis qui engendrent des siccités différentes. [15]

II.3.3 Les boues tertiaires

Les boues tertiaires sont le plus souvent issues d'un traitement physico-chimique après un traitement biologique (d'où la notion de traitement tertiaire). Ce traitement tertiaire a pour principal objectif un rôle d'affinage du traitement. Il s'avère obligatoire derrière une boue activée lorsque les niveaux de rejets demandés sont très contraignants comme une teneur en MES inférieur à 20 mg MES/l, une teneur en phosphore inférieure à 1 mg Pt/l et une concentration en DCO inférieure à 60 mg/l. Elles sont le plus souvent obtenues par l'ajout de réactifs chimiques et elles sont aussi le plus souvent plus difficiles à déshydrater.

II.3.4 Les boues mixtes

Les boues mixtes correspondent au mélange des boues primaires et secondaires voir tertiaires. Leur aptitude à la concentration par rapport aux boues biologiques est améliorée lors d'ajout de boues primaires. [15]

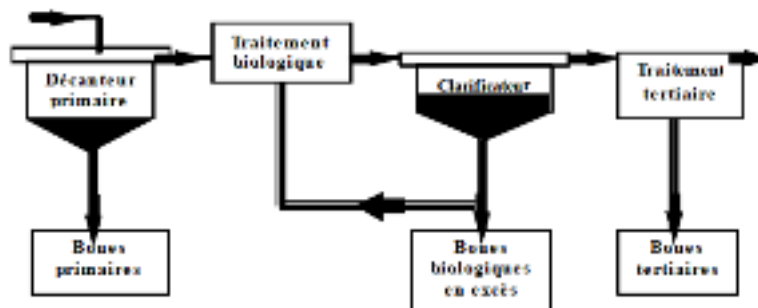


Figure II.2 : Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées.

Tableau II.1 Différents types de boues de STEP et leur composition

Types de boues Boues mixtes	Boues primaires	Boues secondaires ou boues activées	Boues mixtes
Origine traitement biologique secondaire	Traitement primaire par décantation	traitement biologique secondaire	Traitement primaire et secondaire
Composition	Matière inorganique	composés organiques avec un petit pourcentage de composés inorganiques	mélange de boues primaires et de boues biologiques

II.4.Caractérisation des boues

La caractérisation d'une boue est fondamentale pour le choix de la méthode de traitement qui lui est applicable ainsi que pour la prévision des performances des appareils à employer.

Deux caractères majeurs sont à la base de cette classification :

II.4.1 Caractère organique ou minéral

Le caractère organique entrainera généralement la nécessité d'une stabilisation des matières organiques ou permettra une dernière étape d'oxydation thermique.

II.4.2 Caractère hydrophile ou hydrophobe

La déshydratation de la boue liquide sera d'autant plus difficile que les matières en suspension seront très liées à l'eau, donc hydrophiles.

Cette composition dépend à la fois de la nature de la pollution initiale de l'eau et des procédés d'épuration auxquels cette eau a été soumise à différents traitements. [16]

II.5. Classification des boues

II.5.1 Classe organique-hydrophile

C'est une des classes les plus étendues. Les difficultés de déshydratation de ces boues sont dues à la présence d'une fraction importante de colloïdes hydrophiles. Se rangent dans cette catégorie toutes les boues résultant du traitement biologique d'eaux résiduaires, et dont la teneur en matières volatiles peut atteindre 90 % de la totalité des matières sèches (eaux résiduaires d'IAA, de chimie organique, par exemple).

II.5.2 Classe minérale-hydrophile

Ces boues contiennent des hydroxydes métalliques formés au cours des procédés physico-chimiques par précipitation d'ions métalliques présents dans l'eau à traiter (Al, Fe, Zn, Cr). [16]

II.5.3 Classe huileuse

Elle est caractérisée par la présence dans les effluents de quantités même faibles d'huiles ou de graisses minérales (ou animales). Ces huiles sont en émulsion ou adsorbées sur les particules boueuses hydrophiles ou hydrophobes, en particulier sur les floes biologiques (ex. : traitement d'eaux résiduaires de raffinerie).

II.5.4 Classe minérale-hydrophobe

Ces boues sont caractérisées par un taux prépondérant de matières particulaires à faible teneur en eau liée (sables, limons, scories, battitures, sels cristallisés...), typique des traitements de débouillage d'eaux potables ou des boues de certains traitements primaires en ERI.

II.5.5 Classe-minérale-hydrophile-hydrophobe

Ces boues comprennent principalement des matières hydrophobes mais auxquelles sont mélangées suffisamment de matières hydrophiles pour que l'influence défavorable de celles-ci en déshydratation devienne prépondérante. Ces matières hydrophiles sont souvent les hydroxydes métalliques résultant de la précipitation des coagulants minéraux (sels de Fe et Al).

II.5.6 Classe fibreuse

Ces boues sont généralement faciles à déshydrater sauf lorsque la récupération poussée de fibres fait évoluer cette classe vers le type hydrophile, par suite de la présence d'hydroxydes ou de boues biologiques.

Ayant le plus souvent à traiter des mélanges de boues, toute élaboration d'une filière boue débutera par une estimation des différents ratios massiques de coprésence : ratio organique/minéral et ratio hydrophile/ hydrophobe. [16]

II.6 Composition et traitement des boues résiduaires

II.6.1 Composition des boues résiduaires

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

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

II.6.2 Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (Kakii et al. 1986 ; Indoue et al. 1996 ; ADEME, 2001 ; Jarde et al. 2003). [17]

II.6.3 Éléments fertilisants et amendements

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium (Zebarth et al. 2000 ; Su et al. 2004 ; Warman et al. 2005). Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et les nickels présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux. [17]

II.6.4 Contaminants chimiques inorganiques et organiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. (Chang et al. 1992 ; Cripps et al. 1992). D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (Alloway, 1995; McBride, 2003). Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, Phthalates, PCB, etc.) peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg}$ MS (Lega et al. 1997; Pérez et al. 2001).

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

vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées (Klöpffer, 1996).

II.6.5 Les micro-organismes pathogènes

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) Et provient en majorité des excréments humains ou animaux (Sahlström et al. 2004).

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées (Écrin, 2000). Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost (Arrêté n°2210 du 30 avril 2004: Abattoirs). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (Garrec et al. 2003).

II.7 Les caractéristiques physico-chimiques des boues

II.7.1 Caractéristiques chimiques

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

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

Les boues liquides : siccité de 0 à 10 %

Les boues pâteuses : siccité de 10 à 25%

Les boues solides : siccité de 25 à 80%

Les boues sèches : siccité supérieure à 80% [18]

TableauII.2 : Exemple de composition chimique moyenne de boues

Type de boue	Quantité (l/habit/j)	Matière sèche (kg/habit/j)	%Eau
<i>bassin primaire</i>	1,1	0,05	95,50%
<i>Bassin Secondaire</i>	2,4	0,036	98,50%
<i>filtre à Sable</i>	0,23	0,014	93,90%

Quelle que soit la destination finale, les boues en sortie de station subissent des traitements préalables consistant à réduire les volumes.

Le volume des boues est lié à leur teneur en eau ou, inversement, leur teneur en matières sèches, dite aussi siccité.

- une boue brute sans traitement contient 1% de MS ;
- une boue épaissie contient 5% de MS ;
- une boue déshydratée contient 25% de MS ;
- une boue sèche contient 90% de MS.

➤ **Matières volatiles sèches (MVS)** : La matière sèche est constituée de matières minérales et de Quelle que soit la destination finale, les boues en sortie de station subissent des traitements préalables consistant à réduire les volumes.

Le volume des boues est lié à leur teneur en eau ou, inversement, leur teneur en matières sèches, dite aussi siccité.

- une boue brute sans traitement contient 1% de MS ;
- une boue épaissie contient 5% de MS ;
- une boue déshydratée contient 25% de MS ;
- une boue sèche contient 90% de MS. matières organiques qui sont appelées matières volatiles sèches. La concentration en MVS est un taux par rapport à la matière sèche totale. Le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaissir ou à déshydrater, mais plus son exo-thermicité en incinération est faible. Il reste alors dans le creuset les sels minéraux sous forme de cendres.

II.7.2 Caractéristiques physiques :

Les propriétés mécaniques des boues plus ou moins Concentrées et, plus précisément, leur consistance. Un certain nombre de notions sont utilisables à priori pour décrire l'état physique d'une boue lorsqu'on veut en assurer la manutention. Il s'agit de :

- la liquidité ;
- la plasticité (aptitude à la compaction) ;
- la friabilité ;
- l'adhérence ;
- le comportement à l'agitation, etc.

Il existe des tests de caractérisation spécifique, permettant de classer une boue déterminée parmi trois états physiques conventionnels : liquide, plastique, solide avec retrait (friable).

[19]

II.8 Étapes de traitement des boues résiduaires

II.8.1 Objectif

Le principal objectif du traitement des boues en station d'épuration est d'en réduire le volume pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu. En effet, leur forte teneur en eau (99 %) et les fortes populations bactériennes qui s'y retrouvent en font un bouillon de culture favorable à la dégradation de la matière organique fraîche et très fermentescible qu'elles contiennent, avec production de mauvaises odeurs. Outre la teneur en éléments-traces (liée à la présence de matières minérales dissoutes ou insolubles), la siccité est un paramètre fondamental de la caractéristique des boues : elle s'exprime en tonnages de Matière Sèche (MS).

II.8.2 Épaississement

L'épaississement est la première étape du traitement des boues. C'est un procédé simple, consommant peu d'énergie. Il se fait dans des épaisseurs dont la boue ne doit pas dépasser

un temps de séjour court qui est de 24 à 48 heures au maximum, afin d'éviter les fermentations.

La STEP utilise deux méthodes pour l'épaississement des boues; l'épaississement gravitaire qui Consiste à tasser la boue primaire produite par décantation primaire par gravité, et l'épaississement dynamique par flottation qui sépare la phase solide, des boues biologiques ou boues activées, de la phase liquide provoquée par une remontée à la surface des boues sous L'effet de la pression de fines bulles d'air.

L'épaississement sert principalement à réduire le volume des boues brutes et augmente-la siccité à 10%, il constitue une étape préalable aux traitements suivants. L'eau récupérée est recyclée en tête de la station. Les boues épaissies et flottées sont additionnées, et envoyées pour être stabilisées. [20]



Figure II.3 : Épaississement des boues

II.8.2.1 Épaississement gravitaire

D'une façon générale, la technique de concentration des boues la plus utilisée consiste à faire séjourner des boues dans des bassins de forme cylindro-conique jusqu'à 5 m de diamètre, on peut utiliser le type statique, simple cuve cylindrique à fond conique (45 à 70° sur l'horizontale). Au-delà de cette dimension, on munit des cuves à radier et à pente faible d'un système de raclage et d'agitation lente dont le rôle est double :

- Faciliter le glissement des boues vers la fosse centrale d'où elles sont extraites ;

- Permettre le dégagement de l'eau interstitielle et des gaz occlus dans les boues au moyen d'une herse verticale accrochée au dispositif tournant.

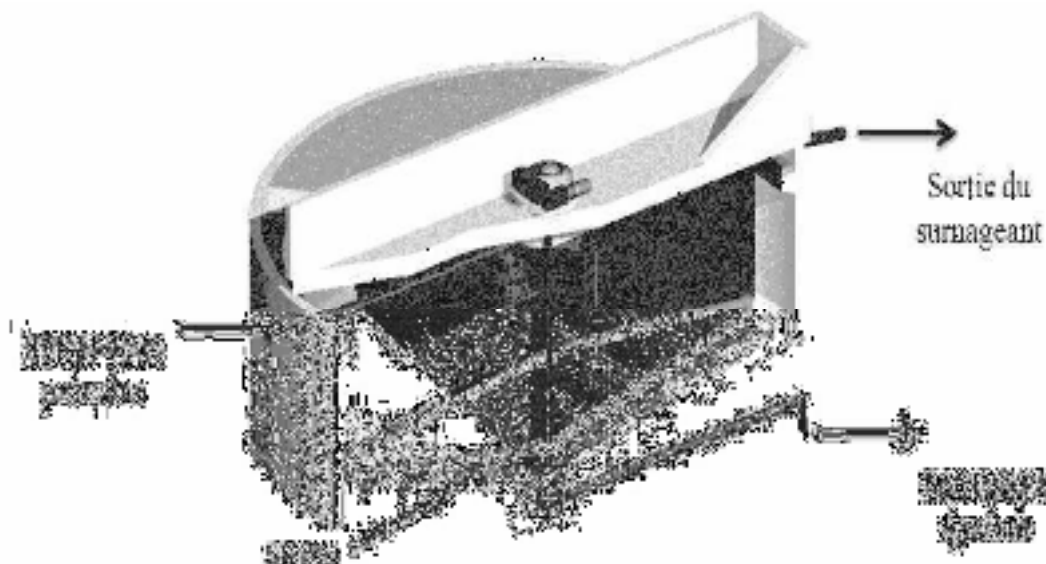


Figure II 4 : Coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire

II.8.2.2 Épaississement dynamique

Au classique épaisseur par décantation statique sont venues s'ajouter, depuis quelques années, trois techniques d'épaississement dynamiques qui, en particulier avec les boues légères (comme les boues biologiques en excès), permettent d'obtenir des meilleurs taux d'épaississement au prix, il est vrai, d'une plus forte dépense d'énergie électrique et éventuellement de réactifs floculant. Il s'agit de la flottation, de la décantation centrifuge et, plus récemment, des grilles et tamis d'égouttage. [19]

➤ **Épaississement par flottation** : Il présente un grand intérêt pour la concentration de suspensions boueuses à « floccs » légers, de faible décantabilité (boues d'hydroxydes métalliques, boues biologiques en excès à titre indicatif...). Le procédé généralement mis-en œuvre en traitement des boues est l'aérofottation, qui produit des micros bulle d'air selon la technique de pressurisation – détente : (détente du fluide préalablement mis en contact avec l'air comprimé à une pression comprise entre 3 et 6 bars). [19]

➤ **Épaississement par centrifugation** : Peu utilisé jusqu'à présent, en raison essentiellement de problèmes de colmatage, cette technique paraît cependant assez bien adaptée à l'épaississement des boues activées sans conditionnement polymérique préalable.

Des résultats très prometteurs ont été obtenus également avec des machines du type décanteuse continue à axe horizontal lorsqu'elles sont conçues avec un bol plein cylindro-conique d'angle de conicité très réduit (de l'ordre de 4° pour certains modèles). L'obtention de rendements d'extraction supérieurs à 90 % nécessite, le plus souvent, un conditionnement polymérique préalable des boues. L'épaississement centrifuge présente l'avantage d'obtenir, en général, d'une concentration élevée de la phase boueuse par la mise en œuvre d'appareillages dont le faible encombrement permet la conception d'une unité d'épaississement très compacte. L'inconvénient majeur vient de frais d'exploitation très importants en énergie.

➤ **Épaississement réalisé par des systèmes drainants (grilles et tamis d'égouttage)** :

Il a connu un développement récent dans les stations d'épuration biologique de petite et moyenne capacité, pour obtenir un taux d'épaississement conséquent pour la valorisation agricole des boues sous forme liquide. Les équipements mis en œuvre sont de conception simple et robuste ; ils fonctionnent en continu pour réaliser un épaississement accéléré des boues préalablement floculées à l'aide de polymères de synthèse suivant le principe d'égouttage naturel et de raclage.

II.8.2.3 Épaississement des boues primaires et biologiques

➤ **Épaississement des boues primaires** : Les boues extraites en fond de décanteur primaire, ainsi que les boues issues du traitement tertiaires, sont envoyées vers l'épaississement gravitaire.

L'épaississement des boues primaires est réalisé en silo épaisseur hersé jusqu'à une concentration de 35 g/l.

La charge au radier retenue est de 85 Kg MS/m².j et la vitesse ascensionnelle de 0.28m³/m².h.

➤ **Épaississement des boues biologiques** : L'épaississement des boues secondaires est réalisé par 2 flottateurs à pressurisation indirecte. Les boues préalablement conditionnées avec du polymère sont admises dans le flottateur via une cheminée centrale assurant le mélange avec de l'eau pressurisée.

Les boues flottées s'agglomèrent à la surface du flottateur jusqu'à former une couche épaisse. Celles-ci sont récupérées via une coupe tournante se déplaçant sur la périphérie de la cuve.

Les particules lourdes, non accrochées par les micros bulles décantent en fond d'ouvrage. Le flottateur est équipé d'une racle de fond, permettant de ramener ces boues décantées vers un puisard central. Il sera équipé de pompes de pressurisation, de compresseurs et d'une installation de préparation et de dosage de polymère. [19]

II.8.3 Stabilisation

Une fois épaissies, les boues peuvent subir deux options de traitement :

- Desséchement plus accentué pour obtenir 30 à 40 % de matières sèches.
- Stabilisation avant l'étape de déshydratation.

Les boues sont stabilisées afin de permettre :

- D'éviter la dégradation anaérobie pendant leur stockage ultérieur (putréfaction) qui peut produire des odeurs offensives (NH₃, H₂S) etc. ...).
- une destruction totale des germes pathogènes,
- une destruction partielle des matières solides,
- une augmentation des teneurs d'azote soluble (NH₄).

Il existe différentes catégories de procédés de stabilisation des boues (procédés biologiques, chimiques, ou thermiques). L'objectif principal de la stabilisation est l'élimination des matières organiques et volatiles pour empêcher toute fermentation au moment du stockage des boues. Une boue est considérée comme complètement stabilisée si elle est complètement humifiée. Les substances humiques sont non putrescibles, se dégradant peu et ne présentant pas de risques d'émanation de mauvaises odeurs.

En fait, la définition des boues stabilisées est encore controversée ; il n'y a pas de définition universelle adoptée et il n'y a pas encore de testes (chimique ou biologique) de détermination du seuil de stabilité des boues.

➤ **Stabilisation chimique par la chaux** : La chaux est ajoutée pour augmenter le pH des boues jusqu'à 12 ou plus ; ce qui limite le développement de microorganismes. Par conséquent, les boues ne peuvent être dégradées tant que le pH est maintenu à ces valeurs, les microorganismes sont complètement tués au bout de 3 heures d'application. Les dosages de chaux utilisés peuvent être de 100 à 500g de Ca (OH)₂/Kg de matières sèches pendant au moins 14 jours, variant selon qu'il s'agisse de boues primaires ou de boues activées.

➤ **Stabilisation thermique** : C'est un processus continu où les boues sont chauffées à 260 °C

Dans un vessel sous une pression de 2760 KN/m², pour une courte période (30 min). Dans la plupart des cas ce procédé sert à la fois à la stabilisation et au conditionnement des boues. Sous une forte température et pression, les liaisons entre l'eau se rompent et les matières solides coagulent. En plus les matières protéiques sont détruites ce qui élimine les cellules vivantes, les matières organiques et l'azote ammoniacal.

➤ **Stabilisation biologique** : Les procédés biologiques de stabilisation sont les systèmes les plus pratiqués ; résultant de l'utilisation des fractions organiques et volatiles des boues ; telle manière à ne pas avoir d'anaérobiose au moment du stockage ; les boues résultantes ont un volume plus réduit moins d'odeurs et plus grandes teneurs de matières particulaires. Le procédé le plus commun est la digestion anaérobie (avec chauffage ou non).

La matière organique des boues primaires est converti biologiquement sous les conditions d'anaérobiose, ont des produits finaux comme le méthane (CH₄), le dioxyde de carbone (CO₂). Les boues sont introduites dans le réacteur anaérobie fonctionnent d'une manière continue ou intermittente ; ainsi les boues sont stabilisées. (BOEGLIN, 2001).

Tableau II.3 : Avantage et Inconvénients de procédé de stabilisation

Stabilisation	Avantages	Inconvénients
Biologique (Méthanisation)	<ul style="list-style-type: none"> - réduction jusqu'à 50% du volume - facile à transporter et stocker - production de biogaz 	pas efficace pour l'élimination des germes pathogènes
Chimique (Chaulage)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du pH des boues (>12) - Réduction de la contamination fécale et des germes d'origine fécale - Pas d'odeur indésirable, augmentation de la siccité et de la valeur agronomique facilite le transport et le stockage des boues 	manipulation délicate

II.8.4 La déshydratation

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

II.8.4.1 La déshydratation mécanique

Elle s'opère par **centrifugation** ou par **filtration**. La centrifugation consiste à séparer l'eau des boues épaissies par la force centrifuge développée dans un cylindre tournant à grande vitesse. En sortie, les boues sont pâteuses avec une siccité de 18 à 20 % pour la première génération d'équipements, et de 20 à 25 % de siccité pour la seconde. Pendant longtemps, cette technique

a surtout concerné les stations de plus de 10.000 EH ; aujourd'hui des solutions existent pour les plus petites.

La filtration par filtres à bandes consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles. Les premiers modèles (à basse et moyenne pression) ne permettaient d'atteindre que 15 à 17% de siccité. Les modèles plus récents (à haute pression) permettent d'atteindre jusqu'à 18 à 20%. En sortie, les boues se présentent sous forme de petites plaques.

La filtration par filtres-presses à plateaux (appelés couramment filtres-presses) consiste en une compression des boues entre deux plateaux équipés de toiles filtrantes. En sortie, les boues se présentent sous forme de « gâteaux » solides avec une siccité de l'ordre de 30 à 35 %.

Si la centrifugation permet une déshydratation continue en circuit fermé (automatisé), avec les filtres-presses elle est discontinue. Avec les filtres à bande, elle se déroule en circuits ouverts (avec production d'aérosols, composés d'air et d'eau), ce qui oblige souvent à capoter les équipements pour éviter la dispersion de mauvaises odeurs.

La déshydratation mécanique concerne surtout les grosses stations (plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'EH). Depuis récemment, elle se développe dans les moyennes installations (de 3.000 à 10.000 EH). Dans les très grosses, il s'agit le plus souvent de filtres-presses (car plus coûteux en investissement et en exploitation), et dans les petites (1000 à 2000 EH) de filtres à bandes. Les filtres à bandes seraient encore les matériels les plus utilisés pour la déshydratation, les centrifugeuses les plus vendues sur le marché actuel.



Figure II.5 : Filtre a bandes

II.8.4.2 La déshydratation par géomembranes :

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



Figure II.6 : Déshydratation Géomembrane

Tableau II.4 : Avantage et inconvénients des traitements des boues

Traitement	Avantages	Inconvénients
Épaississement Gravitaire	exploitation simple peu couteuse	-faible performance avec les boues biologiques - Temps de séjour très long
Déshydratation à Bandes	- performante pour boues biologique - grande productivité - fonctionnement en continu	- incapacité de traiter les boues fibreuses - technique abandonnée Stabilisation

II.8.5 Le séchage

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

II.8.5.1 Le séchage thermique

Il repose sur deux méthodes : directe et indirecte. Le séchage direct consiste en une évaporation des boues par convection, via un fluide caloporteur. Le séchage indirect repose quant à lui en un échange de chaleur par conduction, via une paroi chauffée par un fluide caloporteur. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %. Ces deux procédés sont très énergivores : ils représentent un poste sur lequel il est possible de réduire l'empreinte environnementale de la filière boue, par exemple en mettant en place des boucles de récupération d'énergie.

II.8.5.2 Les lits de séchage

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire. Une autre variante de ce procédé consiste à mettre les lits de séchage sous couvert végétal (roseaux), ce qui permet de s'affranchir des conditions climatiques. Ce procédé est appelé lits à macrophytes. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %. Ce procédé de séchage présente l'intérêt d'être en plus une solution de stockage des boues. Il est particulièrement bien adapté aux stations d'épuration des collectivités de moins de 5.000 EH. [21]

II.8.5.3 Les différents types de sécheurs

Les sécheurs sont divisés en deux grands types : les sécheurs directs et indirects

➤ Sécheurs directs (sécheur rotatif ou à tambour)

Dans ces types des sécheurs la boue est mise en contact direct avec la source de chaleur qui peut être de l'air chaud ou de la vapeur surchauffée.

Le sécheur est constitué d'un long cylindre rotatif horizontal ou légèrement incliné pour faciliter le déplacement du solide (1 à 2.5 m de diamètre et une dizaine de mètres de longueur). Il peut fonctionner à Co-ou contre-courant.

Un système d'**extrusion** ou de **granulation** divise le solide à l'entrée. L'air chaud circule à la surface de la boue pendant que le sécheur est en rotation. L'intérieur du tambour est muni d'organes divers assurant le brassage et la progression du solide dans le four. Il peut s'agir d'un jeu d'ailerons, de fléaux et de palettes ou de chicanes, ou bien encore d'un rotor interne qui malaxe la boue. [18]

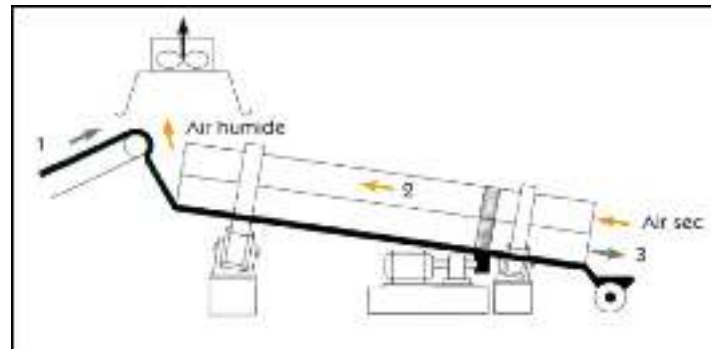


Figure II.7 : Tambour rotatif de type direct. 1. Entrée du produit humide ;
2. Léchage d'air chaud ; 3. Sortie du produit sec (Adema et al. 2000).

➤ **Sécheurs indirects (sécheurs Tambours rotatifs)**

La boue est séparée de la source de chaleur qui est constituée de parois chauffées par un fluide caloporteur.

Ils sont constitués d'un cylindre tournant dont l'axe est légèrement incliné par rapport à l'horizontale pour favoriser l'avancée des boues. La rotation lente du tambour partiellement rempli assure le renouvellement du produit sur la surface d'échange.

Il existe d'autres types des sécheurs indirects tels que les sécheurs à couche mince, les sécheurs à disques et les sécheurs à palettes. [18]

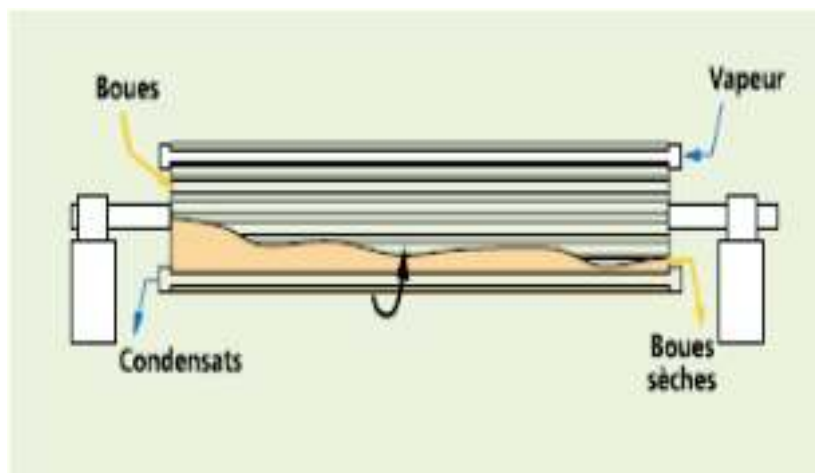


Figure II.8 : Tambours rotatifs

II.8.5.4 Considérations énergétiques

Le coût énergétique du séchage est de l'ordre de 800 à 1000 kWh par tonne d'eau extraite. Le coût rapporté à la tonne de matière sèche de boue se situe entre 2300 et 3050 DH selon les sources. En termes d'investissements, l'utilisation du sécheur indirect est indiquée pour de faibles capacités évaporatoires. Par contre, l'emploi d'un sécheur direct se révélera judicieux pour des capacités évaporatoires élevées, de l'ordre de 3 à 4 tonnes d'eau par heure.

Tableau II.5 : Avantages et inconvénients des sécheurs

	SÉCHEUR DIRECT	SÉCHEUR INDIRECT
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> -Simplicité de la technologie -Absence de pièces en mouvement -Robustesse -Mise en forme aisée -granulation ou extrusion -Faibles temps de séjour - Peu de sensibilité à la siccité Initiale 	<ul style="list-style-type: none"> -Simplicité des périphériques - Plus facilement sécurisable - Faibles débits gazeux à traiter -Confinement des buées et odeurs
INCONVENIENTS	<ul style="list-style-type: none"> -Complexité des périphériques -Contrôle des odeurs -Risques d'explosions 	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie complexe - Temps de séjour plus long - Capacité évaporatoire limitée (4 T d'eau /h) - Problèmes lors du passage à l'état pâteux de la boue : croûtage, pannes,

II.8.5.5 Intérêts de Séchage

Le séchage s'intègre à toutes les grandes voies de traitement des boues. Ses principaux intérêts sont :

- Réduction de la masse et du volume mais attention à la masse volumique,
- Meilleure image et perception seulement si les boues séchées sont de structure granulaire sans excès de poussières,
- Large accès aux filières : agronomique et surtout thermique,
- Favorise le transport et diminue les impacts Environnementaux,
- Améliorer les possibilités de recyclage (Co-incinération en centrale d'énergie,
- cimenterie, valorisation comme amendement agricole).

Conclusion

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

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

Chapitre III : Valorisation des boues activées

III Valorisation des boues activées

III.1 Introduction

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

III.2 La valorisation agricole

L'utilisation agricole est la solution la plus satisfaisante sur le plan de l'environnement, et la plus économique. Cependant pour une utilisation optimale ou pérenne, le produit doit être attrayant, le plus homogène possible. Les boues sont épandues dans les champs, directement sous forme liquide ou pâteuse (après déshydratation), puis enfuies. Cette pratique est la plus commune et doit être sauvegardée surtout pour toute les petites collectivités locales. [30]



Figure III.1 : valorisation agricole des boues.

III.2.1 L'épandage

L'épandage implique la dispersion et la diffusion d'un élément sur une surface relativement étendue dans un but de fertilisation du sol. Ces produits peuvent être des produits chimiques comme des herbicides, ou des pesticides, ou bien des engrais chimiques, des produits naturels,

comme des excréments animaux ou des boues d'épuration urbaines ou bien des effluents liquides d'origine industrielle. (R. Philippe et Just, 1994). [22]

L'épandage des boues présente des avantages agronomiques vus sa composition en éléments fertilisants (N et P), ainsi elles sont disponibles selon les besoins (besoin de stockage), faciles à utiliser, et rentable par comparaison à l'utilisation d'engrais minéraux de commerce.

Malgré les intérêts qu'elle présente, cette valorisation a des limites. Elle est assez mal acceptée quand la présence des ETM, des CTO et les germes pathogènes dans les boues dépassent certaines valeurs. [20]



Figure III.2 : l'épandage des boues

Les principaux objectifs sont :

- montrer l'innocuité et l'intérêt agronomique des boues,
- présenter le périmètre d'épandage et l'aptitude des sols,
- définir les modalités de réalisation de l'épandage : stockage, organisation, convention avec les agriculteurs,
- prévoir une solution alternative d'élimination.

[26]

III.2.1.1 Les risques d'épandage

L'épandage des boues d'épuration en agriculture est soumis à de stricts contrôles sanitaires et environnementaux, la limitation de l'épandage agricole peut provenir :

- des risques d'odeurs se dégageant de boues insuffisamment stabilisées,

- des risques bactériologiques, qui ne doivent cependant pas être surestimés, car l'action microbienne du sol est importante,
- de la contamination des boues par des métaux lourds (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, etc.). Ce risque n'est à craindre que pour les boues des zones fortement urbanisées (ruissellement) et industrialisées,
- sans négliger complètement les possibles obstacles d'ordre psychologique, le plus souvent, le manque de débouchés des boues organiques s'explique par des raisons d'hygiène publique et de distribution en terrain agricole et par le manque d'intérêt des cultivateurs pour un produit moins facile à utiliser et de moindre valeur par rapport aux engrais chimiques à forte teneur en azote et phosphore.

Pour pouvoir susciter l'intérêt des utilisateurs, il est indispensable de mettre ces boues sous une forme plus appropriée qui facilite leur mise en place.

Les boues sont généralement épandues sous quatre formes principales :

- boues simplement déshydratées,
- boues déshydratées et chaulées,
- boues déshydratées et séchées,
- boues déshydratées et compostées. [19]

III.2.2 Le compostage des boues

Le compostage est un procédé de stabilisation de la matière organique avant qu'il soit un procédé de valorisation organique produisant un compost.

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie (Sharma et al. 1997). Des communautés différentes de micro-organismes se succèdent lors du compostage, elles sont constituées majoritairement de bactéries, d'Actinomycètes, de Champignons (ou Mycètes), de Protozoaires ou d'Algues (Tuomela et al. 2000, Hassen et al. 2001). [27]

Il présente plusieurs avantages par rapport à l'épandage :

- réduction du volume des boues et de leur teneur en eau,
- réduction des odeurs,
- meilleure maniabilité (meilleure structure que les boues non compostées),

- stabilisation et hygiénisation naturelles sans additifs chimiques,
- plus grand intérêt agronomique (une grande quantité d'humus riche en éléments fertilisants).

Le compostage des boues nécessite leur mélange avec des déchets verts qui permettent une meilleure structuration et aération du produit final, et cela vue leur rapport très faible carbone/azote (C/N), et l'absence d'éléments structurants.

L'utilisation du compost fournit aux végétaux un support aéré, un réservoir d'eau et de nutriments. Ceci permet un enracinement important des végétaux, favorise leur productivité et diminue les risques d'érosion. [20]



Figure III.3 : compostage des boues

➤ Paramètres du compostage

Les conditions de bon développement des activités microbiologiques doivent être optimisées et leur suivi est indispensable pour évaluer la bonne conduite du compostage et l'obtention d'un produit final de bonne qualité (humus).

La composition chimique du substrat à composter doit avoir :

- un rapport carbone sur azote C/N en début de compostage qui se situe dans l'intervalle 20 à 30. Un rapport élevé lié à une teneur faible en azote conduit à un ralentissement de l'activité ou de la croissance des populations microbiennes,
- le pH est un paramètre qui intervient essentiellement par son rôle sélectif sur la microflore responsable de la décomposition des déchets initiaux. Le pH optimal est de 5,5 à 8.

➤ **Avantages du compost de boues**

Composter les boues de station d'épuration est une technique qui se développe aujourd'hui, dans la perspective de pérenniser le recyclage des boues. Les motivations sont autant réglementaires et pratiques que sociales. Les bonnes raisons de composter les boues sont énumérées ci-dessous :

- 1) le compost de boues est un produit stabilisé, qui ne génère pas d'odeurs lors des chantiers d'épandage,
- 2) le compost de boues est un produit hygiénisé, du fait de la montée en température au cours du procédé de fabrication (quasi absence de germes pathogènes),
- 3) le compost de boues est un fertilisant et un amendement,
- 4) les calendriers d'interdiction d'épandage sont réglementairement moins contraignants que pour les boues brutes dont le compost est issu,
- 5) le compostage permet de traiter simultanément boues et déchets verts des communes.

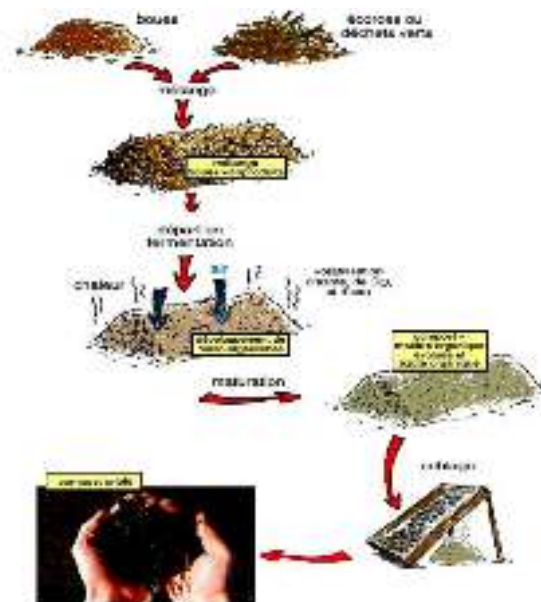


Figure III.4 : les différentes étapes de production d'un compost.

III.3 Valorisation énergétique

La valorisation énergétique consiste à récupérer de l'énergie des boues après leur incinération ou après la fermentation nommée aussi méthanisation des fractions organiques. Ainsi, l'incinération produit la chaleur des fumées qui peut être récupérée sous la forme de vapeur ou sous la forme d'électricité, et la méthanisation va produire du biogaz en même temps que le compost. De ce fait, la solution de méthanisation présente plus des atouts économiques environnementaux.

III.3.1 La méthanisation

La méthanisation (ou fermentation anaérobie) est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques qui sont dégradées partiellement en absence d'oxygène (digestion anaérobie), par l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes qui conduit à la formation du biogaz [composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH_4), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO_2) et de quelques gaz traces (NH_3 , N_2 , H_2S)] qui est source d'énergie renouvelable et d'un digestat utilisé comme fertilisant. [23]

La méthanisation se déroule en quatre étapes déterminées par les conditions physico-chimiques. Elle fait intervenir successivement trois groupes bactériens. Elle peut se dérouler dans trois gammes de températures, température qui conditionne la vitesse de réaction, la zone psychrophile pour des températures inférieures à 20°C , la zone mésophile de 20 à 45°C et la zone thermophile de 45 à 65°C . [18]

La digestion des boues comporte quatre phases de fermentation qui se déroulent simultanément dans le bioréacteur :

➤ **Hydrolyse** : certains micro-organismes libèrent dans le milieu des enzymes capables d'hydrolyser les macromolécules ou polymères en molécules simples ou monomères. Cette hydrolyse permet de rendre biodisponible la matière organique nécessaire à son assimilation dans le métabolisme microbien,

➤ **Acidogénèse** : les monomères sont ensuite hydrolysés en acides gras volatils en alcools et en ammonium,

➤ **Cétogénèse** : une grande partie des acides gras volatils (AGV) et des alcools est assimilée par les bactéries acétogènes autotrophes pour former de l'acétate. Une autre partie est convertie en hydrogène et dioxyde de carbone,

➤ **Méthanogènes** : le méthane est produit soit à partir de l'acétate (bactéries méthanogènes acétoclastes), soit à partir du dioxyde de carbone et de l'hydrogène (bactéries méthanogènes hydrogénéophiles). [18]

Le biogaz issu de la digestion anaérobie contient principalement du méthane et du gaz carbonique. La proportion de ces deux gaz dépend de la nature du substrat, et précisément de la proportion Carbone - Hydrogène - Oxygène - Azote (CHON)

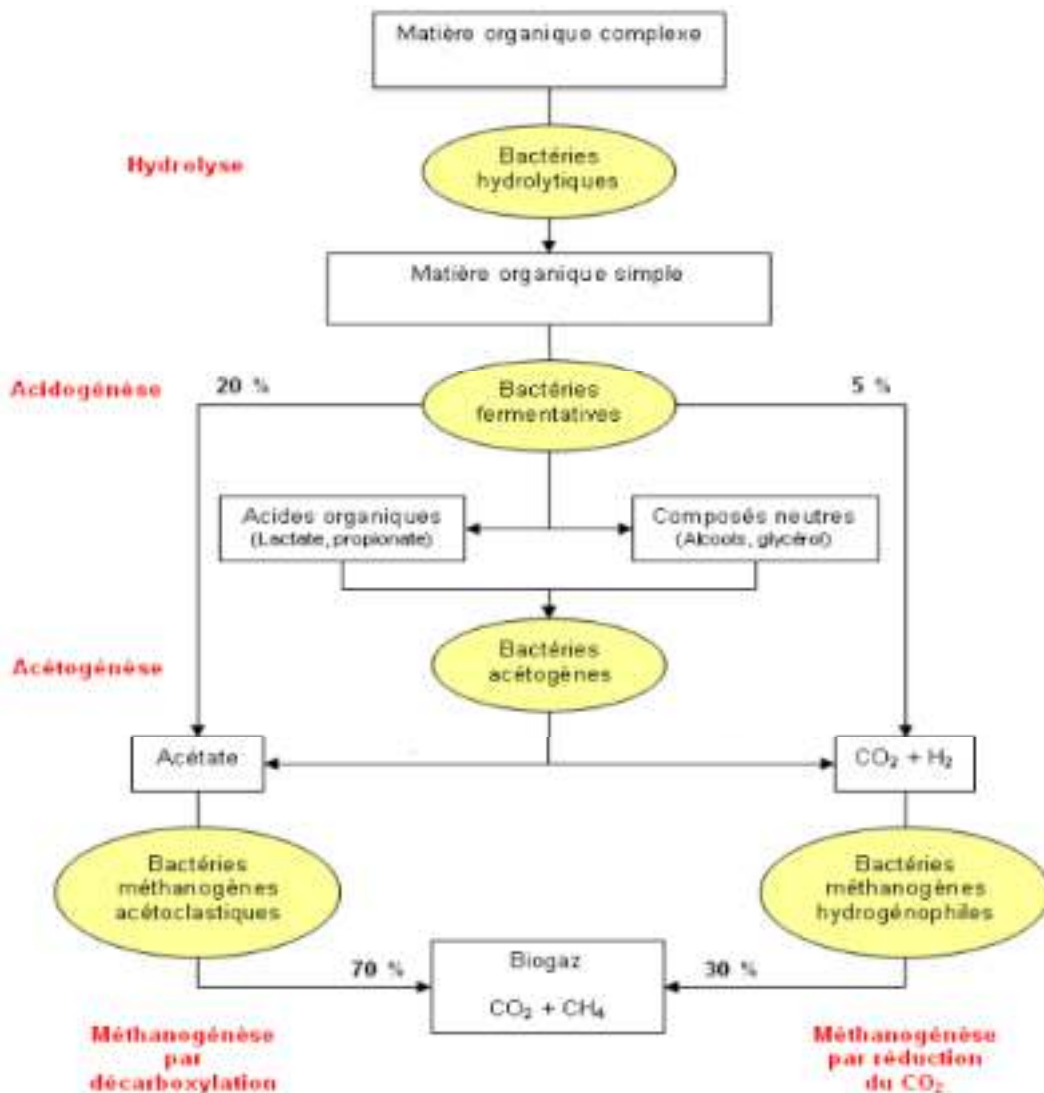


Figure III.5 : Les étapes de la méthanisation

➤ **Les conditions de la réaction de méthanisation**

Dans ce qui précède, nous avons vu les différentes réactions et les différents microorganismes qui interviennent lors de la méthanisation. Toutefois, pour que ces réactions se produisent, les conditions du milieu sont très importantes.

➤ La température

La réaction de méthanisation est globalement accélérée par la chaleur mais, dans le détail, ce mécanisme est plus complexe. Chaque groupe de bactéries a une température de confort différente et, en dehors de ces domaines de températures, il peut avoir une inhibition des réactions [29].

Il existe trois zones de températures pour la méthanisation :

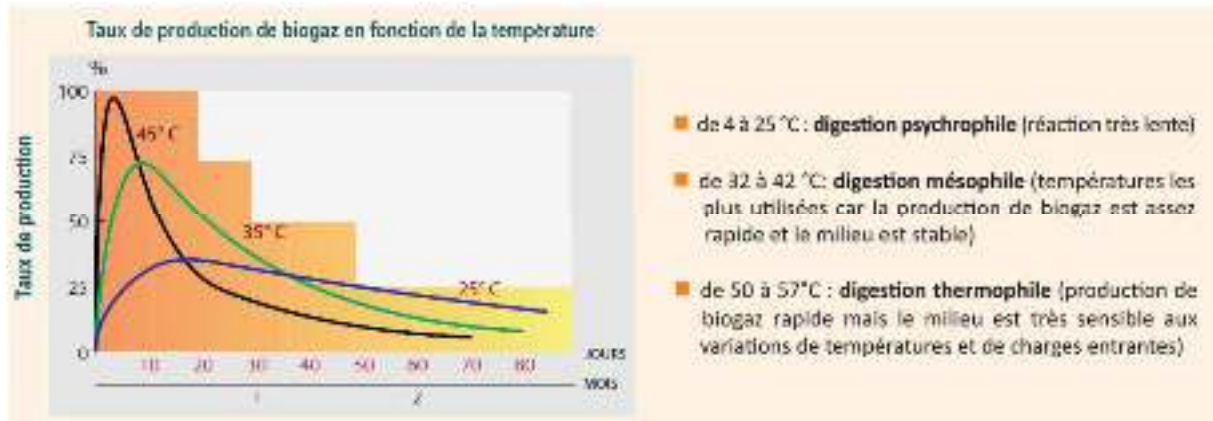


Figure III.6: Production de biogaz en fonction de la température [29]

Des variations journalières de 1°C peuvent perturber la digestion thermophile alors que la digestion mésophile résiste à des variations de 2 à 3°C. Dans tous les cas, les changements de température sont à éviter car les bactéries hydrolytiques et acidogènes résistent mieux aux variations que les autres groupes de bactéries, il ya donc un risque d'accumulation d'acides dans le digesteur, donc un arrêt de la réaction.

➤ Le pH

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Comme pour la température, les groupes de bactéries ont des domaines de pH de croissance optimaux différents. Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogénèse et à la méthanogénèse.

➤ Le rapport Carbone / Azote

Le rapport C/N est important pour la stabilité du processus. Si ce rapport est trop important, le carbone a du mal à être complètement dégradé. À l'inverse, un rapport trop faible peut entraîner une production importante d'ammoniac qui inhibe les bactéries. Pour avoir une bonne stabilité, le rapport C/N doit être compris entre 10 et 30 environ [29].

III.4 Utilisation du biogaz

Le biogaz généré dans cette étape est généralement utilisé en :

- **Chaudière** : pour produire de l'énergie calorifique, car le pouvoir calorifique des boues est intéressant. Il constitue ainsi une énergie renouvelable de qualité et peut être récupéré et valorisé de plusieurs façons. L'utilisation du biogaz offre le meilleur rendement si l'extraction est continue et constante. Cette condition est nécessaire car la production de biogaz au niveau des stations d'épuration est continue et le stockage du biogaz n'est pas économiquement avantageux. Il est préférable que le point d'utilisation du biogaz soit relativement proche de la station où il est produit.

- **Cogénération** : L'utilisation la plus courante du biogaz est la production d'électricité. On utilise pour cela un moteur à combustion interne ou bien une turbine à gaz. Les moteurs à gaz peuvent être installés et déplacés rapidement et ont une haute flexibilité d'utilisation. Les turbines à gaz sont intéressantes pour la valorisation de la chaleur, elles permettent d'obtenir en plus de l'électricité de la chaleur utilisable pour la production de vapeur. Il est avantageux de ne pas utiliser que l'électricité mais aussi la chaleur que l'on peut récupérer au niveau du moteur ou de la turbine à gaz.

- **La chaleur** ainsi produite, est en premier lieu utilisée pour maintenir le digesteur à sa température de consigne. [19]

III.4.1 Composition du biogaz

Le biogaz est principalement constitué de méthane combustible et de gaz carbonique inerte. D'autres gaz peuvent venir s'ajouter de façon minoritaire dans la composition du biogaz : hydrogène, sulfure d'hydrogène (H₂S). La teneur de ces gaz dépend étroitement du déchet traité et du degré d'avancement de la méthanisation. [24]

III.4.2 Propriétés du Biogaz

Le biogaz est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant. Le PCI est le pouvoir calorifique inférieur lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état de vapeur:

- Le PCI du méthane à 0°C à pression atm = 9,94 kWh/m³. [24]
- Pour le biogaz, le PCI sera proportionnel à sa teneur en méthane (par exemple, pour un biogaz contenant 70% de méthane, le PCI sera de 9,94 x 0,7 = 6,96 kWh/m³).



Figure III.7 : Différentes voies de valorisation du biogaz

III.5 Voies d'élimination des boues

III.5.1 La mise en décharge

La mise en décharge se fait dans des centres d'enfouissement technique (CET) modernes, les déchets sont confinés dans les alvéoles, étanches recouverts de terre végétale. Il faut dire d'emblée que cette dernière est une mauvaise solution pour l'élimination des boues de STEP, et dans la mesure du possible, on lui préférera la valorisation, ou à défaut, l'incinération. Ces dernières solutions ne sont toutefois pas toujours possibles, soit que les quantités ou qualités des boues ne se prêtent pas à leur valorisation dans l'agriculture, soit que les installations d'incinération présentent des insuffisances de capacité ou des interruptions d'exploitation. Dans ces cas, la mise en décharge peut devoir être l'ultime recours pour l'élimination des boues.

III.5.2 L'incinération des boues

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics.

Les boues peuvent être incinérées sous diverses formes :

➤ Co-incinération avec les ordures

La Co incinération peut s'effectuer avec des boues séchées (60 à 90 % de siccité) ou avec des boues pâteuses (20 – 25 % de siccité),

➤ Incinération spécifique

Les boues à 20 – 30 % de siccité sont brûlées seules ou en mélange avec des graisses. À cette siccité, les boues ne sont généralement pas auto combustible. Il ne s'agit donc pas d'une valorisation énergétique. L'incinération spécifique est caractérisée par la réduction maximale du volume et de la masse des boues, par suite de la transformation des matières organiques par combustion en H₂O, CO₂, SO₂. Cette incinération est réservée à des stations de grande capacité (> 100 000 EH),

➤ Thermolyse

La thermolyse ou pyrolyse des boues (> 85% MS) est obtenue en l'absence d'air ($O_2 < 2\%$), à moyenne (400-500°C) ou haute (500-700°C) température. Cette distillation thermique nécessite un apport externe d'énergie et produit du gaz et du coke. Les gaz de pyrolyse (PCI de 10 à 20 MJ/Nm³) sont en général brûlés et fournissent une part de l'énergie requise par les processus endothermiques [31]. Quant au coke, il peut être utilisé comme combustible secondaire, [28]

Gazéification

La gazéification vise la conversion totale de la charge organique en gaz combustible. Le carbone est gazéifié par la réaction de gaz à l'eau pour donner d'une part un gaz combustible et un résidu inerte d'autre part. La conversion est réalisée en défaut d'air global par combustion de la boue (> 85% MS) à l'air, à l'air enrichi ou à l'oxygène. De la vapeur d'eau est parfois additionnée à l'agent gazéifiant. Les températures s'élèvent à 900-1100°C en cas d'utilisation d'air et à 1000-1400°C lors de l'emploi d'oxygène. La gazéification à l'air fournit un gaz pauvre (PCI de 4 à 7 MJ/Nm³), tandis que l'utilisation d'oxygène conduit à la production d'un gaz plus riche (PCI de 10 à 20 MJ/Nm³) par suppression du ballast d'azote. [28]

III.5.2.1 Installation d'incinération

L'atelier d'incinération se compose de différents blocs ce qui demande un espace assez grand

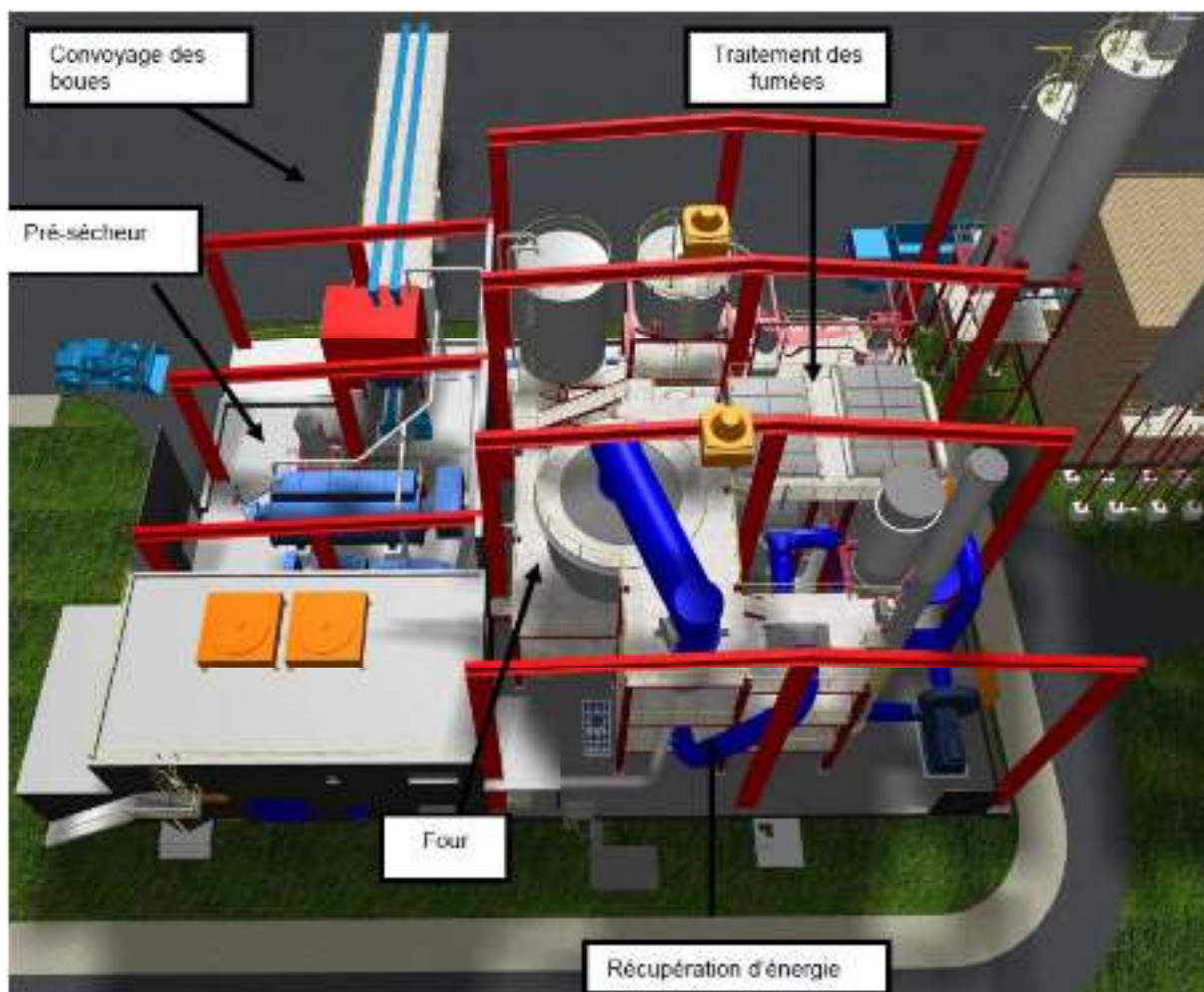


Figure III.8 : Atelier d'incinération des boues.

➤ **Convoyage des boues**

Les boues sont directement convoyées des unités déshydratation de la STEP vers l'unité d'incinération à l'aide de vis sans fin ou transporteur à bandes. L'unité d'incinération possède ensuite une trémie de réception. Les boues dépotées dans cette trémie sont stockées dans un silo. Compte tenu de la siccité des boues (23 à 25%) et de la faible distance entre les pompes et le sécheur, des pompes à rotor excentré sont sélectionnées.

➤ **Pré-séchage des boues**

L'étape de pré-séchage permet d'économiser de l'énergie pendant l'étape d'incinération. En effet, la boue sera séchée de manière à atteindre des conditions d'auto-thermicité, c'est à dire qu'il ne sera pas nécessaire d'injecter du gaz ou du fuel supplémentaire pour assurer la combustion.



Figure III.9: Un pré-sécheur

III.5.2.1.1 Fours d'incinération

Sur le plan technologique, les principaux fours utilisés pour l'incinération des boues urbaines sont : les fours à soles, à lits fluidisés et fours à rouleaux.

➤ Fours à soles étagées

Ce type de four, particulièrement bien adapté à l'incinération des boues urbaines, fournit des gaz de combustion peu chargés en cendres volantes. D'exploitation aisée et économique, son coût d'investissement est, par contre, relativement élevé ce qui ne le rend compétitif que pour l'incinération d'un tonnage élevé de boues, correspondant à des populations supérieures à 300 000 habitants.

➤ Fours à rouleaux

Ils sont constitués de gros rouleaux à fonctionnement autonome qui tournent dans le sens de l'inclinaison du four. L'air est injecté par l'intérieur des rouleaux. La surface de combustion est alors plus grande que dans les fours à grille traditionnels. Ils sont utilisés dans des installations de capacité moyenne à forte.

➤ Fours à lits fluidisés

Le four maintient les déchets en suspension, en général au sein d'une masse de produits inertes (sable), grâce à un système d'injection d'air à la base de la chambre de combustion (fluidisation du lit). Le mouvement du lit entraîne un brassage des déchets et la présence d'inertes facilite l'homogénéisation de la température du four.

Il existe plusieurs types de fours à lit fluidisé : le lit fluidisé dense, le lit fluidisé rotatif et le lit fluidisé circulant. La différence réside dans la forme des fours, le type d'injection d'air (central, latéral, à grande vitesse...) et le mouvement des particules.

Le four se divise en trois zones : une boîte à vent, un lit de sable et une revanche. Le terme "lit fluidisé" vient de l'action violente de bouillonnement du lit de sable qui se produit sous l'effet de l'air soufflé par en-dessous. Pour garantir le débit régulier de l'air à travers le sable, il traverse au préalable la boîte à vent et l'arche réfractaire, par des bosselures qui assurent la distribution homogène de l'air. Pour profiter totalement d'un mélange idéal, la boue déshydratée, et lorsque c'est nécessaire le fuel d'apport, sont injectés directement dans le lit de sable, et instantanément brûlés à 680°C. Ensuite, le gaz de la combustion et la vapeur d'eau montent à travers une revanche en forme de goutte d'eau, en se débarrassant du sable. Le fonctionnement à une température de 850°C et le temps de séjour permettent de laver le gaz et d'achever la combustion. L'enchaînement de turbulence, temps, température, fait de l'incinération par lit fluidisé la méthode d'élimination des boues la plus économique et la plus respectueuse de l'Environnement. Le système de contrôle de la pollution de l'air du four se fera par voie humide.

Le gaz d'échappement quitte le lit fluidisé pour les systèmes de récupération de chaleur et de contrôle de pollution de l'air ; selon la nature des boues, le système de récupération de chaleur se compose, soit d'un échangeur primaire pour préchauffer l'air de combustion ou le gaz, soit d'une chaudière produisant de la vapeur. Dans les deux cas, la récupération de chaleur permet de réutiliser l'énergie pour des économies de coûts substantielles.

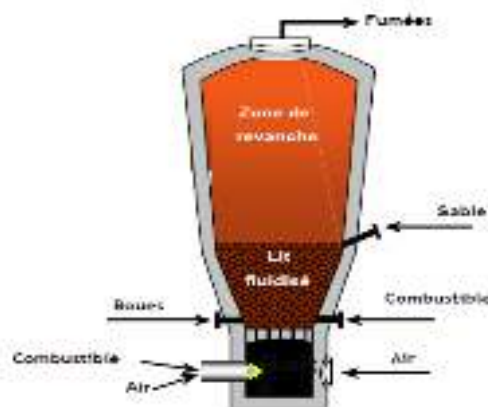


Figure III.10 : Coupe schématique d'un four à lit fluidisé

Tableau III.1 Avantages et inconvénients des filières d'élimination [25]

	Avantage	Inconvénient
Mis en décharge	<ul style="list-style-type: none"> - Transfert de responsabilité de l'élimination à un centre extérieur. - Acceptation de produits non conformes sur le plan du recyclage agronomique en cas de contamination des boues par des micropolluants organiques ou métalliques. - Mise en œuvre de la solution simplifiée 	<ul style="list-style-type: none"> Critères d'acceptation contraignant, et tout particulièrement pour la siccité (MS > 30 %) - Absence de recyclage des éléments fertilisants. - Impact environnemental des sites de stockage à moyen et long terme, d'où l'objectif de les dédier aux seuls déchets ultimes. - Rejet de gaz à effet de serre. - Nombre d'installations réduites pouvant impliquer des distances de déplacement importantes.
Incinération	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité : production de matières « inertes » et élimination de nuisances potentielles (odeurs, risques sanitaires, pollution de l'eau et toxicité des micropolluants). - Réutilisation possible des cendres, en cimenterie par exemple. - Réduction importante du volume (95 %) et de la masse (90 %) des boues (cas de produits à 20 	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de matières recyclables. - Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre. - Difficultés d'élimination des boues en cas d'arrêt technique de l'installation (au moins une fois par an) et donc nécessité de disposer d'une filière de secours. - Consommation d'énergie en cas d'un PCI inadapté (boues biologiques centrifugées, par

	<p>% de matière sèche).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduction significative du transport si incinération in situ des boues. - Autocombustibilité des boues présentant une bonne siccité et un taux de MVS élevé. 	<p>exemple).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement et d'exploitation plus élevé.
--	---	--

Conclusion

La valorisation des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation importante. Sur le plan économique le but à atteindre est en réalité de limiter les frais de leur traitement et de leur transport. Cette optimisation dépend des conditions d'écoulement du produit, des besoins en énergie et du coût de celle -ci, du prix de la main d'oeuvre des réactifs de conditionnement, etc.

Parallèlement, l'hygiène du travail et la protection de l'environnement imposent le développement de solutions provoquant le minimum de nuisances tout en restant économiquement supportables.

Conclusion générale

La présente étude a permis d'étudier les différentes voies de valorisation des boues issues des méthodes de traitement des eaux usées dans la station d'épuration qui représente une problématique très large au niveau mondiale.

Les boues constituent un enjeu économique et environnemental majeur. L'optimisation de l'épuration génère une forte augmentation des quantités de boues à traiter. Les boues d'épuration sont des déchets et doivent être éliminées ou valorisées conformément à l'ordonnance sur le traitement des déchets, elles sont caractérisés par une composition complexe qui englobe des éléments organiques et inorganiques, éliminées par traitement thermique dans des usines d'incinération des ordures ménagères, des installations d'incinération des boues. Avant d'être incinérées, elles subissent différents traitements pour en extraire les composés organiques et l'eau ; ceci permet de renforcer leur stabilité, de faciliter leur transport et d'optimiser leur valorisation.

Ce type de déchet peut être valorisé par épandage agricole, sous forme d'amendement fertilisant, par méthanisation avec production de biogaz, par compostage ou par incinération avec cogénération. En fonction de leurs destinées, les boues subissent différents traitements pour réduire leur teneur en eau pour les stabiliser et empêcher leur fermentation et pour réduire les risques de contamination biologique.

Si les infrastructures ou les caractéristiques des boues ne permettent pas cette valorisation, elles sont placées en centre de stockage.

A partir de la réalisation de notre recherche on distingue que la valorisation agricole est la solution la plus satisfaisante sur le plan de l'environnement, et la plus économique compte tenu du rendement de ce procédé et du coût d'investissement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] <https://www.assainissement.com/systemes-devacuation-des-eaux/>.
- [2] <https://wikimemoires.net/2019/12/l'assainissement-ecologique-industriel-des-eaux-usees/>.
- [3] Tourabi rahma 2015. Etude d'un réseau d'assainissement de l'uc 08 flanc norde chetouane.
- [4] Messaoudi Med El Amine ; Mezeraï Khaled ;2015. Proposition et dimensionnement d'un Réseau d'Assainissement pour le quartier 125 Logements –Remchi.
- [5] <file:///C:/Users/T/Documents/polluantes%20memeoir.pdf>.
- [6] Zeghoud Mohamed Seifeddine : 2014. Mémoire Présenté en vue de l'obtention de diplôme de Master ; THEME : Étude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de méghibra/
- [7] <https://www.memoireonline.com/11/13/7765/Traitement-des-eaux-usees-domestiques-par-biodenitrification--effet-du-nitrate.html>.
- [8] Le petit guide du traitement des eaux usées Station d'épuration de Strasbourg - La Wantzenau.
- [9] https://www.memoireonline.com/11/13/7935/Traitement-des-eaux-usees-urbaines-par-boues-actives-au-niveau-de-la-ville-de-Bordj-Bou-Argeridj.html?fbclid=IwAR1Ae50vv9M62n_MO0zONBINv4jn_On10ehasEZ1HYH_eLSziuezZA_GOww^.
- [10] Ben Elmouaz Ali, 2015. Performances épuratoires d'une station d'épuration de maghnia, Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master En Hydraulique, Université Abou Bekr belkaid.
- [11] http://toubkal.imist.ma/bitstream/123456789/9598/THESE_ABA%20AAKI.pdf?sequence=1.
- [12] Soror Wahiba Dkhil, 2012. Traitement des eaux usées urbaines de la ville de Bordj Bou Argeridj en Algérie effectué par la station des eaux usée ONA.
- [13] https://reseaueau.educagri.fr/files/fichierRessource1_Rapport_bibliographique_traitements_tertiaires.pdf.

- [14] <https://www.aquaportail.com/definition-14204-boues-actives.html>.
- [15] file:///C:/Users/T/Downloads/fndae39_2.pdf.
- [16] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-boues/caracterisation-des-boues-classification>.
- [17] <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000074/>.
- [18] Azouzzi marouane rhoujjati A. ait younes Omar ; 2012. Valorisation des boues de la station d'épuration de la ville de marrakech.
- [19] M.Ile Ait ayane karima M.Ile soufiya dounia 2009. Assainissement liquide de Marrakech Valorisation agricole et énergétique des boues issues de l'épuration des eaux usées de la ville de Marrakech.
- [20] Afgane Rachida ;2016. Mémoire de fin d'étude Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès (STEP-Fès).
- [21] <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/traitement-boues-station-epuration.php4>.
- [22] <https://agronomie.info/fr/valorisation-agricole-des-boues-residuaire/>.
- [23] Kardache loubna ,2016. Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme master en génie mécanique , valorisation énergétique des boues de la station d'épuration de boumerdes.
- [24] https://www.swim-h2020.eu/wp-content/uploads/2018/06/SWIM-H2020-SM_Sludge-Management_Algeria.pdf.
- [25] <https://eau.seine-et-marne.fr/sites/default/files/documents/Fiche6-destination-boues.pdf>.
- [26] La valorisation des boues d'épuration urbaines et industrielles par le recyclage agricole , Mémento à l'usage des maîtres d'ouvrage de station d'épuration.
- [27] Soumia Amir ,**2005. Thèse** présenté pour obtenir le titre de docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse, Formation doctorale : Sciences Agronomiques.
- [28] Telli sidi mohamed, 2013. Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)-Tlemcen.

[29] Meftah amine 2014. Valorisation énergétique par la méthanisation de boues de station d'épuration (STEP), Cas d'étude station Est de la ville Tizi- Ouzou (pont de bougie).

[30] KOLLER.E, 2004. Traitement des pollutions industrielles eau, air, déchets, sols, boues, 2nd ed. L'Usine nouvelle. 569 p.

[31] Antonini G. ,Traitement thermique des déchets – procédés et technologies associées. In techniques de l'ingénieur, volume G 2051. pages 1-18.techniques de l'ingénieur, b.