



Département de l'Environnement

**Diplôme Universitaire de Technologie
Génie Minéral et Environnement
DUT GME**

STAGE TECHNIQUE DE FIN D'ÉTUDE

**Traitement des eaux usées et
Perspectives de Valorisation des Boues de la
STEP de Tamuda Bay**

Réalisé (e) par : TITAFI Asmae

Lieu de Stage :

**Encadré (e) par : Pr. Abderahim LAHRACH, FST FES
Ms. Younes ARGAZ, Amendis**

Jury et Date de Soutenance : Le Lundi 23 Juin 2014

Pr. Naoual Rais

Pr. Lahcen Benaabidate

Pr. Abderahim Lahrach

Année universitaire 2013 – 2014

Dédicaces

Nous dédions ce travail :

✚ A nos parents, source de tendresse et d'amour, Pour leurs soutiens tout longs de notre vie scolaire

✚ A notre famille, nos enseignants

✚ A nos chers amis pour leurs aides valorisantes

✚ A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail

✚ Nous leurs exprimons toute notre gratitude et notre profond respect pour les efforts qu'ils ont déployé afin de nous soutenir.

Liste d'abréviation

MES : Matières en Suspension

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours, caractérise la matière organique biodégradable.

DCO : Demande chimique en oxygène, caractérise « toute » la matière organique.

C_m : Charge massique en kg DBO₅/kg MES/j

V (m³): Volume de bassin d'aération ;

S (Kg/m³) : Concentration en MEST des boues en aération ;

L₀ (mg/l) : Concentration moyenne en DBO₅ de l'eau à traiter ;

Q (m³/j) : Débit journalier d'eaux résiduaires à épurer

C_p: Charge polluante journalière traitée.

C_v : Charge volumique en kg DBO₅/ m³.j

[DBO₅] : Concentration g/l DBO₅

V : Volume m³ du bassin d'aération

[MES] : Concentration boues dans le bassin g/l

I_b : l'indice de boue

MS boues : Production de boue en kg MS/j

MVS : Matière Volatils en Suspension

TAC : Titre alcalimétrique complet

AGV : teneur en acides gras volatiles

Liste des photos de la STEP

Photo 1 : Step tamuda bay

Photo 1 : Dégrilleur automatique et manuelle

Photo 2 : Poste de dessablage-déshuilage

Photo 3 : DécantEUR primaire

Photo 4 : Bassin biologique

Photo 5 : la zone de contact

Photo 6 : Clarificateur

Photo 7 : Filtre à tamis rotatif (10 μ m)

Photo 8: Photographie de bassin de chloration

Photo 9: Photographie de sortie de l'eau épurée vers la nature

Photo 10 : Epaississeur hersé

Photo 11 : Table d'égouttage

Photo 12 : Photographie Digesteur

Photo 13 : Chaudière

Photo 14 : Gazomètre

Photo 15 : Torchère

Photo16 : Centrifugeuse

Photo17 : Boues déshydratées

Photo 18 : les différents type des boues de la STEP Tamuda Bay

Liste des figures :

Figure 1 : Carte d'emplacement des stations de pompage et relevage alimentant la STEP

Figure 2: STEP Tamuda bay

Figure 3: STEP Tamuda bay en 3D

Figure 4: schéma synoptique de la station d'épuration de Tamuda bay

Figure 5 : Schéma process de Prétraitement et traitement Biologique

Figure 6: Schéma process traitement des boues

Figure 7 : Schéma des voies métaboliques principales de la digestion anaérobie

Figure 9 : Équivalences énergétiques de 1 m³ de méthane

Figure 8 : valorisation énergétique de biogaz

Figure 10 – Représentation schématique de la pyrolyse

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition général des boues d'épuration

Tableau 2: Concentration moyenne des boues françaises en COT (source SYPREA)

Tableau 3 : Les principaux pathogènes contenus dans les boues d'épuration et les maladies engendrés

Tableau 4 : Valeurs des paramètres du compostage des boues d'épuration par les méthodes de compostage aéré statique et en andains retournés

Tableau 5 : Concentration moyenne en ETM des boues d'épurations

Sommaire

Introduction	7
<i>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STATION TAMUDA BAY</i>	7
I-L'état D'assainissement Dans La Province De TETOUAN [1].....	8
I-1. L'état Ancienne D'assainissement.....	9
I- 2. L'état Actuel D'assainissement	10
I- 2. 1. Système de dépollution de Tétouan	10
I- 2. 2. Système de dépollution de Tamuda Bay	10
II-Situation du STEP	12
I-Prétraitement	14
I-1. Dégrillage :	14
I-2. Dessablage- Dégraissage :	15
II-Traitement primaire	15
III-Traitement secondaire par boue activée	16
III-1 .Traitement biologique	16
III-2. La clarification	17
IV-Traitement Tertiaire	18
IV-1 .Filtration mécanique.....	18
IV-2. Désinfection au chlore gazeux.....	19
I- Epaississement.....	20
II- Digestion Anaérobie	21

II-1. Principe de fonctionnement.....	21
II-2. Le biogaz	22
II-3. Gazomètre	22
III- Déshydratation centrifugeuse des boues	24
IV-Désodorisation De La Station D'épuration	24
CHAPITRE II : VALORISATION DES BOUES D'EPURATION	26
I- Caractérisations des boues d'épuration :	27
I-1. Matières organiques :	27
I-2. Eléments fertilisants :	27
I-3. Contaminants chimiques :	27
I-3-1. Les éléments traces métalliques ou ETM :	28
I-3-2. Les composés traces organiques ou CTO	28
I-4. Microorganismes pathogènes et parasites :	29
II- Les différentes filières de la valorisation des boues d'épuration.....	29
II-1 Méthanisation ou digestion anaérobie.....	29
II-2. Incinération	32
II-2-1. Incinération en cimenterie.....	32
II-3-2. Incinération en centrale thermique	32
II-4. Pyrolyse	33
II-5. Utilisation agricole des boues :	33
II-5-1. Epanchage direct des boues :	33
II-5-2. Compostage :	34
CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE	36
I- Echantillonnage des boues :	37
II- Protocoles des analyses :	37
II-1. Détermination du PH :	37
II-2. Teneur en matières sèches et siccité (MS).....	38
II-3. Détermination de la Teneur en matières volatiles sèches (MVS)	38
II-4. Détermination de la teneur en acides gras volatiles AGV et Titre alcalimétrique complet TAC :	39
Conclusion.....	41

Introduction

L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'ils ne causent pas de pollution de ces autres sources. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce qu'on évacue après des utilisations diverses est considéré comme de l'eau usée. L'eau de pluie, ainsi que les différents polluants qui s'écoulent dans les égouts, aboutissent dans les établissements de traitement des eaux usées.

Le traitement des eaux usées présente une solution primordiale pour les problèmes générés par les eaux usées et la pollution de milieu récepteur de ces eaux surtout les eaux usées non-traitées. Les zones littorales sont des écosystèmes fragiles, la zone de Tamuda bay possède une flore et une faune extrêmement diversifiées et de paysages agréables, ces derniers sont le support d'une importante activité économique et touristique.

Afin de protéger cette zone, une station d'épuration est mise en place par Amendis, filiale du groupe Veolia Environnement-Maroc, en partenariat avec le ministère de l'Intérieur et le secrétariat d'Etat chargé de l'eau et de l'environnement. Cette station est de type boue activée qui nécessite un pilotage afin d'assurer le bon fonctionnement du traitement et un rendement qui répond aux exigences de cahier de charge de la station de dépollution de Tamuda bay.

Dans ce cadre ce rapport sera divisé en trois chapitres en plus une introduction et une conclusion. Le premier chapitre sera consacré pour la présentation de la STEP TAMUDA BAY et les différentes phases de traitement des eaux usées dans la STEP de Tamuda bay depuis le prétraitement jusqu'au traitement tertiaire.

En ce qui concerne le deuxième chapitre, il présente le processus de traitement des différents types des boues ainsi leur valorisation et leur destination finale.

Par suite dans le troisième chapitre, elle traite les enjeux de pilotage et d'exploitation de la station d'épuration de Tamuda bay afin de mener un traitement qui répond aux exigences fixer par le système de management environnementales ainsi les gérant de la station, dans ce chapitre les différents paramètres qui indiquent le fonctionnement de chaque processus de traitement dans ces différents phases depuis le prétraitement jusqu'au traitement tertiaire.

***CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA
STATION TAMUDA BAY***

I-L'état D'assainissement Dans La Province de Tétouan

Le déversement des eaux usées des villes de Tétouan, M'diq, Martil et Fnideq a causé des importants dommages sur l'environnement de la région. Pour remédier à ces problèmes environnementaux, Amendis Tétouan, filiale du groupe Veolia Environnement-Maroc en partenariat avec le ministère de l'Intérieur et le secrétariat d'Etat chargé de l'eau et de l'environnement construit une station de prétraitement pour Martil et une autre de traitement pour Tamuda Bay .(STEP tamuda bay,2011)

I-1. L'état Ancienne D'assainissement

Les rejets d'eaux usées domestiques de la province de Tétouan sont rejetées la plus part du temps sans traitement préalable, soit dans les Oueds côtiers: Martil, Fnideq, Negro et Laou, soit directement dans la mer Méditerranée, soit encore déversées dans des puits perdus.

➤ Pour la zone Tétouan, 75% des eaux usées urbaines sont collectées, tandis que le reste est déversé dans des fosses ou d'autres systèmes autonomes. Toutes les eaux usées générées par la ville sont déversées sans traitement dans l'Oued Martil, qui se jette dans la mer Méditerranée à 8 km à l'Est de Tétouan.

➤ Les unités industrielles situées le long de l'Oued (papeteries, industries textile, abattoirs, laiteries,...) déversent directement leurs eaux usées dans l'Oued, sans traitement préalable, ce qui constitue une atteinte grave à l'environnement.

➤ Les centres urbains de la Province de Tétouan (Martil, M'diq, Fnideq) sont équipés de réseaux d'assainissement dont le taux de desserte des populations varie de 41 à 81 %.

➤ Les effluents de Martil sont rejetés directement dans le milieu marin sans aucun traitement, causant des nuisances et des problèmes sanitaires.

➤ Pour la zone Kabila jusqu'à Rifiene il n'ya pas de réseaux des eaux usées, la plupart des complexes touristique déverse leurs rejets dans des fosses privées et d'autres déverses leurs rejets directement vers la mer ou bien vers la lagune S'mir et Oued negro. Deux mini stations de traitement des complexes touristiques, club Med et Restinga fonctionnent occasionnellement dans des conditions non conformes aux normes.

➤ Pour la zone Fnideq la quasi-totalité des eaux usées sont collectées par des réseaux, qui déversent via des cours d'eaux ou conduites et dalots vers la mer sans aucun traitement. Il existe aussi des quartiers qui ne sont pas assainis et déversent leurs rejets à ciel ouverte.

➤ Au niveau de cette province, seuls M'diq et certains complexes touristiques sont équipés de stations d'épuration (STEP).

I- 2. L'état Actuel D'assainissement

I- 2. 1. Système de dépollution de Tétouan

Le système de dépollution s'articule autour des composantes suivantes :

✓ Les effluents de Tétouan sont collectés au moyen de :

→ Intercepteur "amont" alternant des sections en refoulement et des sections gravitaires collectant les effluents de Laouzienne et des bassins Nekata, Tamouda, Samsa, Jamaa Mezouak, Bario pour ensuite les transférer par pompage dans l'intercepteur gravitaire "aval" intra-urbain au niveau de l'avenue Khénifra.

→ Intercepteur "aval" gravitaire posé en milieu urbain, collecte la grande majorité des effluents des bassins centre ville, ancienne Médina, Teffaline, Boujerrah, ainsi qu'une partie de la zone Est de Tétouan (Boussafou, Touabel) pour les transférer vers la station de pompage-refoulement Aviation.

✓ Les effluents de la ville de Martil et de la Zone Industrielle sont collectés au niveau de 3 stations de pompage : SP Bras Mort, SP Oum Kaltoum et SP Zone Industrielle, puis sont refoulés vers SP Plaine Martil ;

✓ Les eaux usées de la ville de M'diq sont acheminées vers SP Barça puis refoulées vers SP Tassiest qui les transférera vers SP Plaine Martil ;

✓ Les stations de pompage Plaine Martil et Aviation refoulent les effluents, vers la station de prétraitement ;

✓ Les eaux ayant subi un traitement préliminaire (dégrillage, dessablage-déshuilage) sont ensuite refoulées, vers la station de mise en charge de l'émissaire.

✓ L'émissaire marin, réalisé en 2007, atteint une longueur de 3,1 Km pour un diamètre de 1100 mm, et une profondeur de 38 m au point de rejet.

I- 2. 2. Système de dépollution de Tamuda Bay

Le système de dépollution de la ville de Fnideq et de la zone Tamuda Bay est formé par les composants suivants :

Un premier intercepteur, dans la partie Nord de l'oued Negro, alternant les parties gravitaires en galerie et en canalisation et les parties en charge bordant la RN 13 jusqu'à l'entrée de la ville de Fnideq. Dans cette partie est prévue la construction de trois stations de pompage :

✓ SP. Oued Fnideq avec un débit au refoulement : $Q = 435 \text{ l/s}$

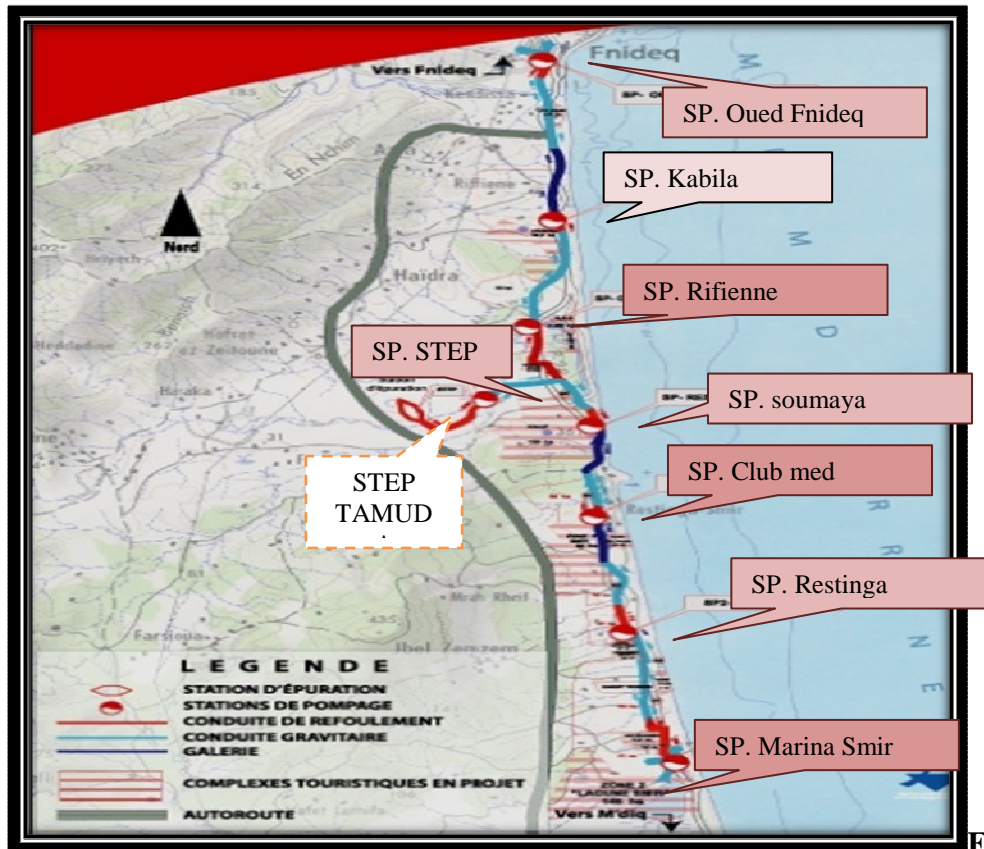
✓ SP. Rifienne, avec un débit au refoulement : $Q = 523 \text{ l/s}$

- ✓ SP. Soumaya, avec un débit au refoulement : $Q = 790 \text{ l/s}$

Un deuxième intercepteur, dans la partie sud de l’oued Negro, alternant les parties gravitaires en canalisation et les parties en canalisation bordant la RN 13 jusqu’à kabila. Aussi quatre stations de relevage sont prévues :

- ✓ SP. Kabila, avec un débit au refoulement : $Q = 64 \text{ l/s}$
- ✓ SP. Marina Smir, avec un débit au refoulement : $Q = 110 \text{ l/s}$
- ✓ SP. Restinga, avec un débit au refoulement : $Q = 206 \text{ l/s}$
- ✓ SP. Club Med. avec un débit au refoulement : $Q = 290 \text{ l/s}$

Les effluents des deux intercepteurs Nord et Sud de l’Oued Negro drainent les eaux collectées vers une dernière station de refoulement SP. Step qui recevra par conséquent l’ensemble des eaux usées de la zone et les refoule vers la station d’épuration Tamuda Bay.



Figure

1 : Carte d’emplacement des stations de pompage et relevage alimentant la STEP

II-Situation du STEP



Figure 2 : STEP Tamuda bay

La station d'épuration des eaux usées de Tamuda Bay, située entre les villes de M'diq et de Fnideq, mise sur le développement du tourisme balnéaire pour lequel elle s'est donnée une identité visuelle et commerciale unifiée "Tamuda", du nom d'une antique cité phénicienne bâtie dans la région, renvoyant ainsi à un patrimoine culturel et historique riche aux couleurs méditerranéennes.



Fig

ure 3: STEP Tamuda bay en 3D

La station de traitement des eaux usées de Tamuda bay est conçue pour recevoir les eaux de la zone littorale de Tamuda bay et pour satisfaire les besoins en assainissement d'une population de 170 000 Ha. Cette station regroupe les eaux de la zone touristique limitée par Kabila et Fnideq pour cela Amendis a mis en place 8 stations de pompage dans cette zone qui sont :

- Station de pompage oued fnideq
- Station De pompage Rifiyin
- Station de pompage Soumaya
- Station de pompage Ristenga 1
- Station de pompage Ristenga 2
- Station de pompage Marina peurto
- Station de pompage Kabila
- Station de pompage Alliyin

La station de pompage Alliyin regroupe les eaux usées prévenante de cette zone et les refoule vers la station de Tamuda Bay

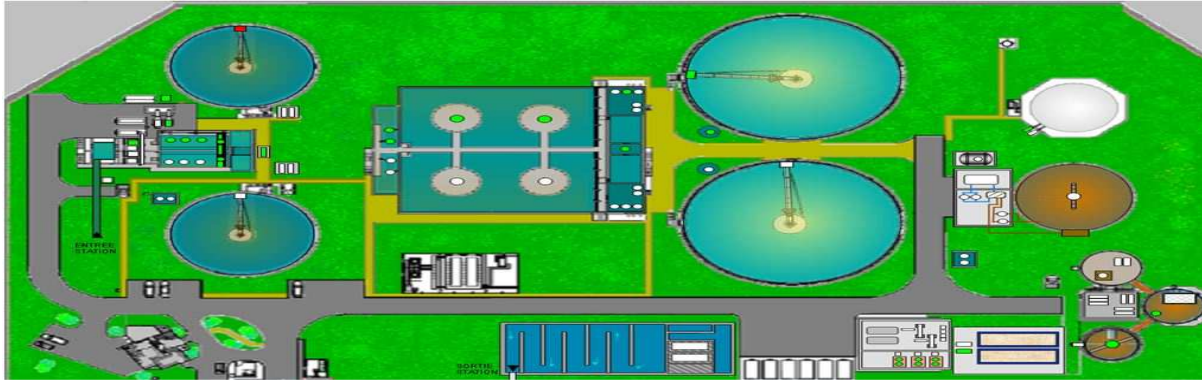


Figure 4: schéma synoptique de la station d'épuration de Tamuda bay

Le traitement des eaux usées se fait suivant une série de processus qui permet le rejet d'une eau de caractéristiques qui respectent les exigences de la station d'épuration et la sensibilité du milieu récepteurs. Le traitement est réalisé suivant deux files en parallèle cela est due à la situation et la localisation de la STEP vue que c'est une zone touristique donc la charge à traité varie selon les saisons et atteint son maximum pendant l'été d'où l'utilisation des deux files en même temps.

-Filière Eau-

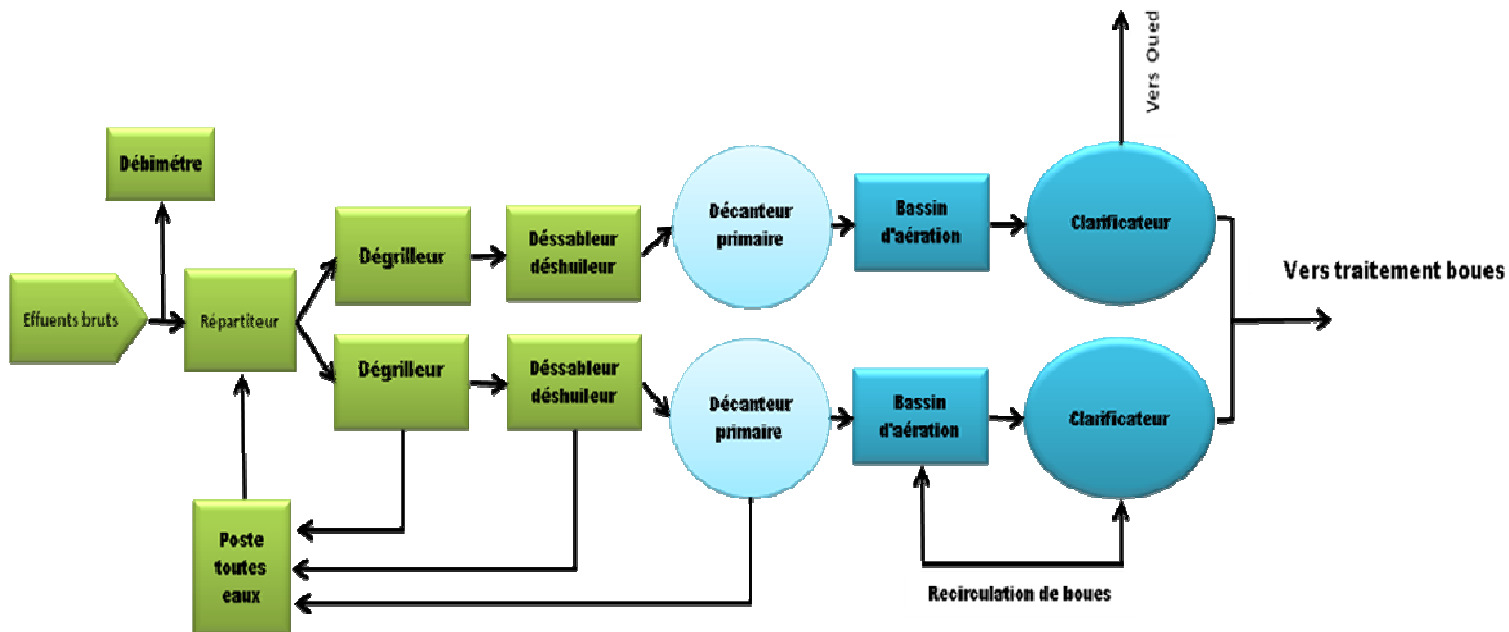


Figure 5 : Schéma process de Prétraitement et traitement Biologique

Les procédés de traitement :

I-Prétraitement

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses, spécialement dans des réseaux unitaires. A l'arrivée à la station d'épuration les eaux brutes doivent subir avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage nommés prétraitement et destinés à extraire des effluents, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Les prétraitements sont constitués par les opérations ci-après :

- Dégrillage
- Dessablage
- Déshuilage-dégraissage

I-1. Dégrillage :

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques, En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique, il faut donc les éliminer mécaniquement.

La STEP de Tamuda Bay se dispose de deux dégrilleurs manuels de 30mm d'espacement entre barreaux et de deux dégrilleurs automatiques de 10mm d'espacement entre barreaux, chaque file est munie d'un dégrilleur manuel et d'un dégrilleur automatique, ce dernier est utilisé dans le quotidien mais en cas de panne l'utilisation du dégrilleur manuel est indispensable.



Photo 1: Dégrilleur automatique et manuel

I-2. Dessablage- Dégraissage :

Le dessablage permet, par décantation, de retirer les sables mélangés dans les eaux par ruissellement ou amenés par l'érosion des canalisations. Cette pollution s'il n'était pas enlevé, se déposerait plus loin, gênant le fonctionnement de la station et provoquant une usure plus rapide des éléments mécaniques comme les pompes.

Le dégraissage est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des graisses. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de dégraissage (Photo 2), permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes).

Un pont racleur reprend les sables par deux pompes à sable embarquée et racle les graisses.

Les graisses sont émulsionnées par des aérateurs sous forme de moyennes bulle. Elles remontent ainsi à la surface et sont raclées pour être acheminées vers une fosse à graisses. Chaque file est équipée de trois aérateurs permettant d'assurer la flottation des graisses.

Les matières minérales (sables) décantent au fond de l'ouvrage, d'où elles sont reprises vers les classificateurs. Les eaux rejoindront le réseau de collecte interne de la filière eau. Les sables seront stockés dans une benne, où ils seront évacués en décharge contrôlée.



Photo 2: Poste de dessablage-déshuilage

II-Traitement primaire

La première étape de traitement proprement dite consiste à éliminer les matières organiques et minérales facilement décantables grâce à une décantation primaire. Cette étape est réalisée

dans 2 ouvrages cylindro-coniques situés après les prétraitements et en amont de la filière biologique. Ces ouvrages ont un diamètre de 25 m.

Le principe de fonctionnement de cette étape consiste à laisser décanter les effluents grâce à une vitesse peu élevée. Les matières décantées se retrouvent en fond d'ouvrage (boues primaires) et doivent donc être pompées pour être traitées sur la filière boues.



Photo 3 : Le décanteur primaire

L'étape de décantation primaire se dimensionne sur une vitesse ascensionnelle, permettant d'assurer une décantation suffisante pour obtenir les rendements souhaités. Ces rendements sont :

- ✚ Rendements sur la DBO5 = 30 %
- ✚ Rendement sur la DCO = 30 %
- ✚ Rendements sur la MES = 50 %

III-Traitement secondaire par boue activée

III-1 .Traitement biologique

L'épuration biologique s'effectue sur deux files comprenant chacune :

- ✓ Zone de contact
- ✓ Aération permettant d'éliminer la pollution carbonée et azotée
- ✓ Clarification où s'effectue la séparation boues/eau traitée
- ✓ Recirculation des boues assurant le réensemencement en boues du bassin d'aération.

Cette étape est conçue sur le principe des boues activées moyenne charge, afin

d'éliminer la pollution carbonée. La dégradation biologique de la pollution carbonée nécessite une zone aérée (Figure 7). Dans cette zone, les bactéries aérobies utilisent les matières organiques carbonées comme substrats et consomment en même temps de l'oxygène dissous pour leur respiration. La dégradation des matières organiques entraîne la production



Photo 4 : Bassin biologique



Photo 5 : la zone de contact

Cette biomasse épuratrice a la particularité de former une suspension de particules décantables ou floc bactérien. Une fois la réaction terminée, le mélange biomasse- eau est dirigé vers un ouvrage de séparation (clarificateur) dans lequel sont récupérées en fond d'ouvrage les boues biologiques et en surverse, les eaux épurées.

Dans un système dynamique de réaction biologique, une concentration stable des boues activées dans le bassin d'aération est maintenue par recirculation des boues décantées, tandis que la part en excès est extraite du système. Les boues en excès sont alors envoyées dans la filière de traitement des boues.

III-2. La clarification

Cette étape consiste à séparer l'eau des boues ou des résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux : les clarificateurs (photo 6). Les boues biologiques se déposent au fond du bassin, où elles sont raclées et évacuées. Les effluents clarifiés sont renvoyés vers le rejet ou vers le traitement tertiaire tandis que les boues biologiques décantées sont recirculées. Les boues en excès sont extraites vers la filière boue.



hoto 6: Clarificateur

Pour obtenir une biomasse épuratrice, il est nécessaire de maintenir une certaine quantité de biomasse dans le bassin d'aération. L'équilibre entre l'extraction d'une part, et la recirculation d'autre part, permet de maintenir l'âge de boues et la concentration indiquée pour le bon fonctionnement du réacteur biologique.

Les boues activées dans le bassin d'aération sont maintenue par recirculation des boues décantées, tandis que la part en excès est extraite du système par des pompes spécifiques vers la table d'égouttage. La recirculation a donc pour but de ramener les boues actives dans le bassin d'aération et le réglage du taux de recirculation. Les bâches à flottants file 1 et file 2 récupèrent les flottants issus de leurs clarificateurs respectifs.

Chaque bêche à flottants, équipé d'une pompe immergée renvoie les flottants produits par les clarificateurs, dans la bêche à écumes communes.

La bêche à écumes commune récupère les écumes des bassins d'aération et les flottants provenant des bâches à flottants des clarificateurs file 1 et file 2.

La bêche à écume commune, équipé d'une pompe immergée (et une pompe en secours caisse) renvoie les écumes et flottants produits par la station, dans la bêche de mélange des boues.

IV-Traitement Tertiaire

IV-1 .Filtration mécanique

Le principe retenu est une filtration mécanique à nettoyage automatique. Les eaux issues du traitement biologique sont filtrées avant leur désinfection et leur réutilisation comme eau d'arrosage ou leur rejet dans l'oued Negro



Photo 7 : Filtre à tamis rotatif (10µm)

IV-2. Désinfection par chlore gazeux

La désinfection des eaux épurées est réalisée par le chlore gazeux. Un bassin chicané permet d'assurer un temps de contact d'au moins 20 minutes.

L'unité de stockage et d'injection de chlore gazeux comprend tous les équipements et accessoires nécessaires au bon fonctionnement de l'installation (chloromètres, hydroéjecteurs, pompes d'eau motrice...) ainsi que tous les équipements et accessoires de sécurité correspondant à une installation de chloration au chlore gazeux. Une fosse est prévue pour l'immersion d'un tank de chlore en cas d'urgence pour la neutralisation de fuites de chlore éventuelles. L'unité de neutralisation comprend tous les équipements et accessoires nécessaires :

Cuve de solution neutralisante, tour de neutralisation à garnissage, pompes de recirculation et extracteur d'air chloré.

Les locaux seront ventilés et équipés de sonde de détection de fuites de chlore.



Photo 8: Photographie de bassin



Photo 9: Photographie de sortie de l'eau épurée vers la

-Filière Boue-

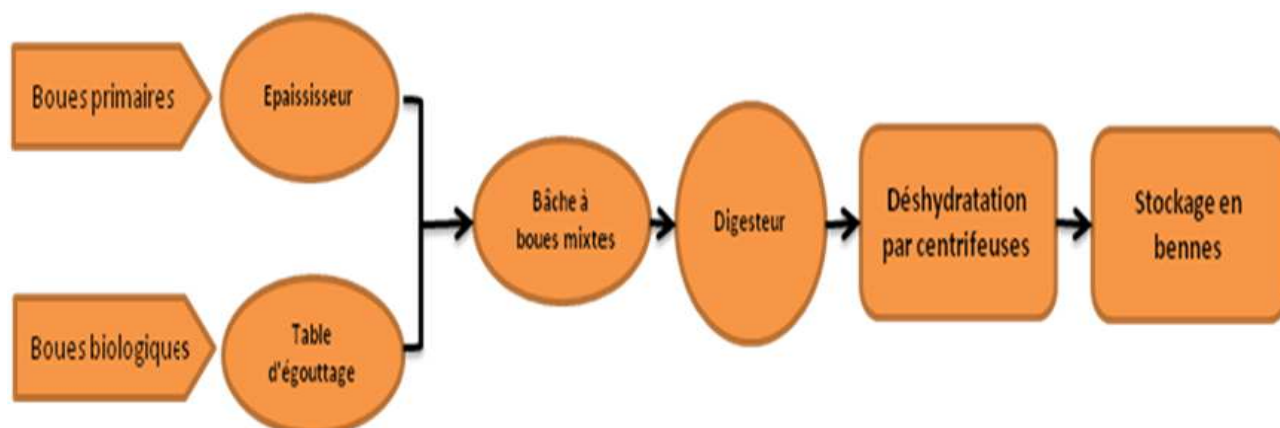


Figure 6: Schéma process traitement des boues

I- Epaississement

La filière boue comporte, avant l'étape de stabilisation ou de déshydratation, une phase d'épaississement, induisant une réduction importante du volume et une augmentation de la concentration des boues issues des traitements secondaires ou primaires des effluents urbains. Les boues issues des décanteurs primaires sont épaissies au niveau de l'épaississeur hersé.

Les boues issues de la filière biologique sont acheminées sur une table d'égouttage.

Avant l'introduction des boues dans la table d'égouttage, les boues subissent un conditionnement par injection de polymère.

Ce conditionnement est primordial pour permettre l'agglomération des boues en floccs, assurant une première séparation liquide/solide.

Le point d'injection du polymère peut être réalisé en amont ou en aval des pompes d'alimentation en boues.

La boue floculée se déverse uniformément sur la bande filtrante à l'aide d'un tube répartiteur. Ainsi, l'eau libérée lors de la floculation s'écoule librement au travers des mailles de la bande filtrante. Le processus de filtration gravitaire est accentué à l'aide de plusieurs rangées de bobines en quinconce. En fin de zone de filtration, intervient une étape de pressage à l'aide d'un rouleau de pressage réglable.



Photo 10 : Epaisseur herse



Photo11: Table d'égouttage

La boue ainsi épaissie est raclée par un grattoir et évacuée gravitairement vers la bêche de mélange situé en dessous de la table d'égouttage, dont le rôle est d'homogénéiser les boues et de permettre également une alimentation continue du digesteur, ces boues sont appelés boues mixtes.

Pour permettre à la bande de conserver son pouvoir de filtration, elle est lavée en permanence sur son chemin de retour vers la zone d'égouttage.

Les boues primaires épaissies et les boues biologiques sorties de la table d'égouttage sont refoulées dans une bêche de mélange tampon, dont le rôle est d'homogénéiser les boues et de permettre également une alimentation continue du digesteur.

La bêche est équipée d'un agitateur immergé pour l'homogénéisation des boues. Il est dimensionné de façon à obtenir des boues épaissies à une valeur moyenne de 60 g/l, à partir des boues extraites des décanteurs primaires à environ 10 g/l. il est munit d'un broyeur qui permet de déchirés les matières décantées avec les boues primaire set qui sont de grande taille.

II-Digestion Anaérobie

II-1. Principe de fonctionnement

Le mélange des boues est introduit dans le digesteur pour être traité.

Le but de ce traitement est de :

- ✓ Réaliser une réduction en masse des boues produites.
- ✓ Réduire les matières organiques (aussi appelées matières volatiles) présentes dans les boues, de manière à obtenir une stabilisation des boues.
- ✓ Transformer la texture des boues pour obtenir une bonne aptitude à la déshydratation.

Les boues ainsi réduites et digérées peuvent ensuite être déshydratées sur les centrifugeuses.

Pour réaliser ce processus, il est nécessaire de créer les conditions pour le développement des bactéries spécifiques à la digestion : absence d'oxygène, température, temps de séjour.

L'avantage principal du traitement de boues par digestion est qu'il permet d'obtenir des différentes transformations des boues, tout en produisant de l'énergie grâce à la production de biogaz généré par la digestion. Ce biogaz peut ensuite être utilisé pour d'une part le réchauffage des boues (pour maintenir les boues à 37°C dans le digesteur), mais également pour la production d'énergie.

Les boues extraites de la digestion sont refoulées dans une bache à boues digérées, dont le rôle est d'homogénéiser les boues et de permettre également une alimentation continue, sans arrêt intempestif de l'unité de déshydratation pendant un cycle complet de déshydratation.

La bache est équipée d'un agitateur immergé pour l'homogénéisation des boues.



Photo 12: Photographie de Digesteur



Photo13: Chaudière

II-2. Le biogaz

Le biogaz est produit pendant la digestion anaérobie par transformation des matières organiques contenues dans les boues en méthane et gaz carbonique.

Le biogaz produit par la digestion dépend de la qualité des boues à digérer (quantité de matières organiques dans les boues appelée MVS).

II-3. Gazomètre

La production de biogaz et les besoins en biogaz ne sont pas concomitants : un stockage est donc nécessaire avec une capacité de 600 m³.

Le stockage du gaz s'effectue dans un gazomètre à membrane souple constituée par une double membrane.

Un compresseur d'air assure une pression constante entre les deux membranes et donc une pression de biogaz constante. Le gazomètre est du type à double membrane. Le gazomètre souple pressurisé est constitué de deux enveloppes, la première, étanche au gaz forme le réservoir, la deuxième extérieure pressurisée assure la résistance aux intempéries.

Les enveloppes sont confectionnées avec des matériaux dont les caractéristiques ont été optimisées pour résister aux contraintes de conditions climatiques pour l'enveloppe extérieure et de résistance et d'étanchéité au biogaz pour le réservoir.

Lorsque la poche de biogaz se remplit, le volume intermédiaire entre les deux membranes se réduit.

Un registre flottant permet de maintenir une pression constante dans l'enveloppe intérieure (environ 20 mbars). Une garde hydraulique spécifique assure la protection contre une surpression accidentelle.

Une sonde à ultra-son va permettre de mesurer le déplacement de la membrane et de déterminer le niveau de gaz stocké.



II-4. Torchère

Avoir la possibilité de détruire le biogaz excédentaire est un impératif pour des raisons de sécurité et de nuisance olfactive. Cette opération est assurée dans une torchère dont la capacité permet de brûler la totalité du biogaz produit en pointe.



Photo 15: Torchère

III- Deshydratation centrifugeuse des boues

La déshydratation mécanique des boues une étape de séparation liquide/solide, une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide ou tout au moins pelletable.

Les centrifugeuses proposées garantissent la siccité (Si) supérieure à 20% et une densité du gâteau évacué de 1,05. Avant d'atteindre les centrifugeuses, les boues sont conditionnées au polymère.

La reprise des boues est assurée par le biais d'une trémie en inox qui permet l'alimentation gravitaire d'une pompe gaveuse des boues déshydratées qui permet le transport vers les bennes de stockage avant évacuation vers la décharge publique.



Photo 16 : Centrifugeuse isation de la st Photo 17 : Boue déshydratées

Les ouvrages les plus polluants ont été regroupés pour permettre leur désodorisation.

La collecte et le traitement de l'air vicié sont alors facilement réalisables avec un réseau de gaines minimum.

L'air est extrait du local de déshydratation et des ouvrages confinés, par réseau de gaine et un ventilateur.

Cet air transite ensuite à travers un biofiltre puis une couche de charbon actif.

Le biofiltre est composé de deux enceintes rectangulaires en container dernier voyage.

Chaque container sera divisé en deux parties contenant la partie biofiltration et la partie charbon actif.

Le remplissage du biofiltre se fait par le dessus de l'ouvrage.

L'arrivée de l'air s'effectue par le biais d'une entrée dans un vide sanitaire sous caillebotis de chaque containe.

CHAPITRE II : VALORISATION DES BOUES D'EPURATION

I- Caractérisations des boues d'épuration :

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration.

Les boues d'épuration contiennent des éléments bénéfiques et indispensables à la croissance des plantes et d'autres, appelés contaminants, dont l'effet est indésirable que ce soit pour la conservation des sols, pour la qualité alimentaire des cultures ou pour la santé de l'Homme et des animaux.

I-1. Matières organiques :

La matière organique des boues est constituée de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, Stabilisation). (Amir S., 2005)

I-2. Eléments fertilisants :

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. Des améliorations de la production, observés sur un certain nombre de cultures sont à mettre en relation avec une meilleure alimentation en N, P et K provenant des boues d'épuration.

Cependant, des effets néfastes peuvent également être observés suite à l'apport de ces fertilisants, notamment en ce qui concerne l'azote. Par exemple, il a été noté qu'un apport complémentaire de fertilisants avec une fourniture excessive d'azote entraîne la verse des plants. (CHENAOUI F., 2007)

Tableau 1 : Composition général des boues d'épuration

Matière sèche (MS)	2 à 95 % selon la siccité
Matière organique	50 à 70 % de la MS (30% si boues chaulées)
Azote	3 à 9% de la MS
phosphore	4 à 6 % de la MS
potasse	< à 1% de la MS
magnésie	< à 1% de la MS
chaux	4 à 8 % de la MS (25 % si boues chaulées)
carbone/azote	5 à 12

**I-3.
Contami
nants
chimique
s :**

I-3-1. Les éléments traces métalliques ou ETM :

Les ETM sont naturellement présents dans les sols et certains même sont indispensables aux plantes, ils font partie des oligo-éléments. Mais, selon la nature des eaux épurées, la teneur en certains éléments dans les boues peut s'élever considérablement. Et des apports répétés de boues par épandage pourrait, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures. Les ETM ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques pour l'homme sont Cd, Hg et Pb. Il existe une politique très rigoureuse de contrôle des rejets qui permet de produire des boues de faibles teneurs en ETM, même pour les grandes agglomérations, et ainsi préserver les teneurs naturelles du sol [INRA 2000].

I-3-2. Les composés traces organiques ou CTO

Les composés traces organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peinture et de solvant, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Cependant, au même titre que les ETM, les CTO peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols à haute dose ; or ces derniers sont indispensables à la fertilité des sols.

On peut citer dans cette catégorie de polluants organiques, les HPA ou hydrocarbures polycycliques aromatiques produits de la combustion des carburants et du chauffage et les pesticides et leurs dérivés chimiques (DDT, PCB). (CHENAOUI F., 2007)

Tableau 2: Concentration moyenne des boues françaises en COT (source SYPREA)

composés traces organiques (CTO)	Concentration (g/t de MS)	valeur -limite réglementaire (g/t de MS)
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)		
- Fluoranthène	0,53	5
- Benzo(a)fluoranthène	0,39	2,5
- Benzo(a)Pyrène	0,31	2
Polychlorobiphényles(PCB)		
	0,19	0,8

- Total des 7 PCB		
-------------------	--	--

I-4. Microorganismes pathogènes et parasites :

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, aussi bien en station que dans le sol. Il en existe une très grande variété mais seule une infime partie est pathogène. On les classe parmi les virus, les bactéries, les protozoaires, les champignons et les helminthes. La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité duquel elle provient : les eaux provenant d'abattoirs ou de toutes industries traitant de produits d'animaux sont plus largement contaminées. Vu la nature des effluents, les microorganismes entériques provenant des selles et urines seront les plus dominants.

Tableau 3 : Les principaux pathogènes contenus dans les boues d'épuration et les maladies engendrés (Mustin, 1987 ; cité par Souidi, 2003 d'après Hunt, 1984)

Tableau 3 : Les principaux pathogènes contenus dans les boues d'épuration et les maladies engendrés (Mustin, 1987 ; cité par Souidi, 2003 d'après Hunt, 1984)

Type d'organisme		Pathogène	Maladie ou trouble
Virus		Entérovirus	Infections à virus, variole, fièvre jaune, grippe, maladies infantiles...
		Adénovirus	
		Virus hépatique	Hépatite
Bactérie		Salmonelle	Salmonelloses, fièvre typhoïde
		Coliformes et bactéries devenues pathogènes	Diarrhées et gastroentérites
		Mycobactérium	Tuberculose
		Shigella	Dysenterie bacillaire
		Leptospires	Jaunisse à leptospiroses
Protozoaire		Amibes	Dysenterie amibienne
		Coccidies	Coccidioses
Animaux parasites pluricellulaires	Nématodes	Ascaris	Parasite intestinal
		Toxocara	Parasite des chiens et chats
	Cestodes	Ténia	

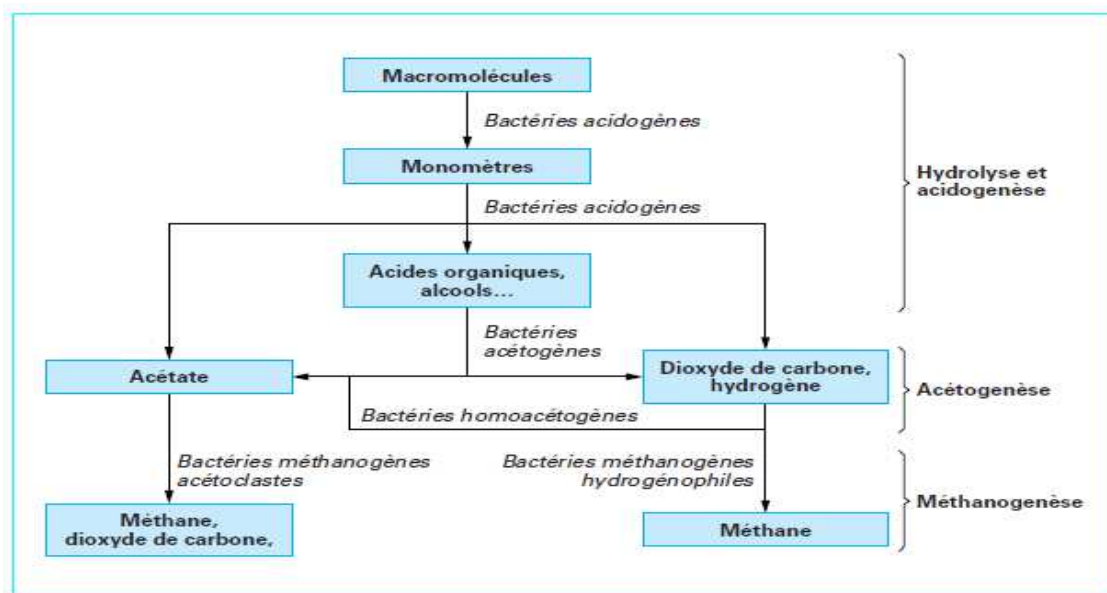
II-Les différentes filières de la valorisation des boues d'épuration

II-1 Méthanisation ou digestion anaérobie

La méthanisation est un phénomène naturel se produisant dans des biotopes variés (sédiments, rizières, décharges...) en l'absence d'oxygène. Il s'agit d'une bioconversion de la matière organique ou volatile (MO ou MV) réalisée par un écosystème constitué de nombreuses bactéries anaérobies. Selon les conditions de température, ces écosystèmes sont constitués de micro-organismes psychrophiles (au-dessous de 20 °C), mésophiles (entre 20 et 45 °C) ou Thermophiles (au-delà de 45 °C). La digestion anaérobie s'accompagne d'une libération de biogaz produit par les micro-organismes méthanogènes.

Cette tendance naturelle des boues à la fermentation peut être domestiquée dans un bioréacteur qui permet d'entretenir les conditions optimales d'anaérobiose, de mélange et de température. La digestion des boues comporte quatre phases de fermentation qui se déroulent simultanément dans le bioréacteur (figure 7) :

- **hydrolyse** : certains micro-organismes libèrent dans le milieu des enzymes (protéases, lipases, cellulases...) capables d'hydrolyser les macromolécules ou polymères (protéines, lipides et polysaccharides) en molécules simples ou monomères (acides aminés, acides gras, oses). 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 (acide acétique, lactique, propionique, butyrique), en alcools (éthanol, glycérol) et en ammonium ;
- **acétogénèse** : 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 ;
- **méthanogénèse** : 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).



Figure

e 7 : Schéma des voies métaboliques principales de la digestion anaérobie

La méthanisation des boues s'avère être une technique efficace. Parmi ses avantages :

- La réduction de 40 à 50% des quantités des boues à gérer
- L'élimination importante des nuisances olfactives
- La production d'un digestat (boue digérée) pratiquement stabilisée, débarrassée en grande partie des germes pathogènes (bactéries, virus, parasites)
- La réduction de la teneur en composés organiques volatils
- La production d'énergie sous forme de biogaz.

Valorisation du biogaz :

Plusieurs voies de valorisation du biogaz sont possibles selon les paramètres technico-économiques et les conditions relatives au site :

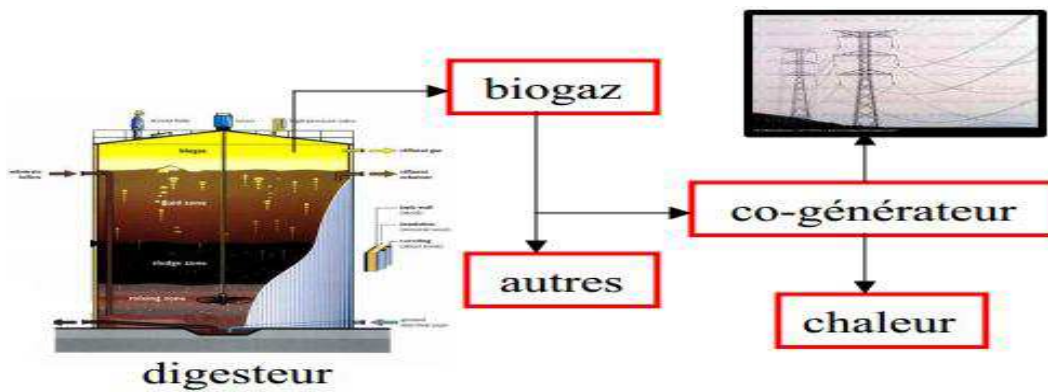


Figure 8 : valorisation énergétique de biogaz

- ✓ Production de la chaleur : c'est la voie la plus classique et la mieux maîtrisée vu qu'elle présente des contraintes d'épuration sur le biogaz relativement légères ; la teneur en CH₄ peut descendre jusqu'à 20%. La chaleur est utilisée soit en interne pour faire fonctionner l'installation de méthanisation, soit pour faire fonctionner des structures proches de l'installation.
- ✓ L'électricité : Elle est générée soit classiquement avec l'utilisation d'une chaudière au biogaz suivie d'une turbine à vapeur, soit par l'utilisation de moteurs à gaz.
- ✓ Cogénération : il s'agit de la production combinée de la chaleur et d'électricité.
- ✓ Production de carburant : les spécifications de pureté de gaz pour cette application sont beaucoup plus sévères que pour les précédentes, puisque le biogaz utilisé doit contenir un minimum de 96% de méthane.
1m³ de méthane est équivalent à 9,7 kWh d'électricité. Ceci équivaut 1,15 litre d'essence ou encore 1 litre de mazout (Figure 9).



Figure 9

re 9 : Équivalences énergétiques de 1 m³ de méthane

La boue digérée après centrifugation peut être valorisée par différentes voies. Il peut être utilisé comme engrais ou fertilisant en agriculture, en sylviculture ou pour la réhabilitation des sols dégradés.

En fait, après la digestion anaérobie des boues, seules les teneurs en carbone et en soufre diminuent, mais la valeur agronomique est conservée dans le digestat.

II-2.Incineration (Jérôme GAY)

II-2-1.Incineration en cimenterie

La fabrication industrielle de ciment fait appel à différentes matières premières, essentiellement du calcaire et de l'argile (cru cimentier). Cette matière première est finement broyée, homogénéisée et préchauffée à 800 °C par les gaz issus du four de cuisson. Elle arrive partiellement décarbonatée dans le four rotatif dans lequel elle est portée à haute température (1 450 °C). Le clinker ainsi obtenu est refroidi rapidement et se présente sous la forme de granulé. Le ciment résulte du broyage du clinker et de l'addition de gypse. L'ajout de divers constituants donnera naissance à différents ciments.

Il existe trois systèmes de cuisson pour la fabrication du clinker :

✚ **la voie humide** : elle consiste à additionner de l'eau lors du broyage du cru pour le rendre pâteux et facilement manipulable.

Ce système est en voie de disparition. En effet, celui-ci est très énergivore ;

✚ **la voie semi-sèche** : elle consiste à ajouter la quantité juste nécessaire d'eau (environ 15 %) pour fabriquer des granulés. Les granulés sont séchés et partiellement décarbonatés sur une grille avant l'introduction dans le four. Ce système consomme moins d'énergie que la voie humide ;

✚ **la voie sèche** : le cru cimentier est finement broyé et séché dans un broyeur. La farine alors obtenue est introduite dans le four par un échangeur de chaleur cyclonique multiétages de manière à préchauffer la farine en retenant les poussières. La consommation énergétique de ce système est beaucoup plus faible.

II-3-2.Incineration en centrale thermique

Les centrales thermiques à charbon sont des centrales énergétiques produisant de l'électricité et de la chaleur à partir de charbon, par cogénération. Le charbon est pulvérisé dans un broyeur et mélangé avec de l'air préchauffé. Le mélange est introduit dans une chambre de combustion par des brûleurs. La chaudière est tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau sous pression. La chaleur dégagée par la combustion du charbon porte la température de la vapeur d'eau à 560 °C environ, sous une pression de 165 bar. La vapeur produite est détendue dans des turbines. Elles assurent la conversion de l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique. Les turbines sont couplées à des alternateurs produisant l'électricité. La détente de la vapeur est réalisée dans trois étages successifs : haute (165 bar), moyenne (34 bar) et basse pression (0,3 bar). La vapeur est alors dirigée vers le condenseur dans lequel circule de l'eau de refroidissement issue d'un fleuve ou de la mer. La vapeur est condensée et cette eau est réintroduite dans le circuit de génération de vapeur. Les fumées de combustion sont traitées par des dépoussiéreurs électrostatiques qui éliminent les cendres volantes et sont évacuées par une grande cheminée. Les fumées contiennent encore des oxydes de soufre et des oxydes d'azote. Les centrales sont de plus en plus équipées de systèmes de désulfuration qui permettent d'éliminer près de 90 % des oxydes de soufre par un lavage humide des gaz de combustion. Il faut environ une centaine de tonnes de charbon à l'heure pour développer une puissance électrique de 250 MW. Le rendement des centrales thermiques à flammes est aujourd'hui de 38 % pour les centrales classiques et peut monter jusqu'à 55 % en cycle combinée (récupération de la chaleur résiduelle pour un nouveau turbinage). Le charbon est un combustible fossile qui peut être remplacé, dans une certaine mesure, par des déchets homogènes (boues sèches). Ces dernières permettent alors de diminuer la quantité de gaz à effet de serre produit par la centrale thermique.

II-4. Pyrolyse.

La pyrolyse (ou thermolyse) est une dissociation thermique de la matière organique et de la matière minérale, en l'absence d'oxygène (moins de 2 %), sous l'action de la chaleur (400 à 800 °C). Il s'agit donc d'un traitement thermique sans combustion et endothermique.

Selon les conditions de la réaction (température, pression partielle en oxygène, pression totale), la fraction organique se décompose en gaz, huiles et résidus solides carbonés. Les faibles températures favorisent la production d'huile par rapport au gaz (figure 9). Ces sous-produits seront récupérés en sortie du procédé, dans le but d'être valorisés.

La faible teneur en oxygène peut être obtenue en opérant sous vide partiel, en réinjectant une partie des gaz produits dans le réacteur ou en injectant de l'azote gazeux dans le sas d'entrée des boues. Les technologies de thermolyse se différencient selon le type de réacteur, les méthodes de chauffage du réacteur et les conditions opératoires de la conversion.

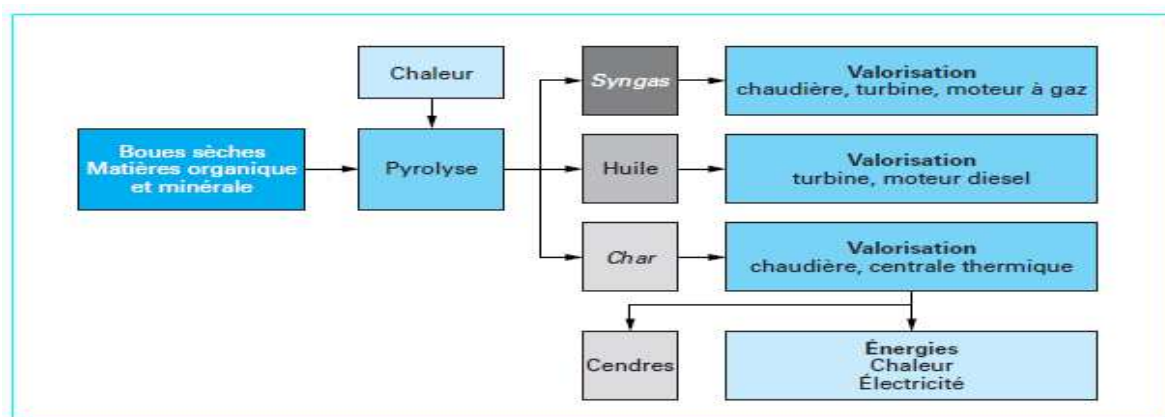


Figure 10 – Représentation schématique de la pyrolyse

II-5. Utilisation agricole des boues :

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

II-5-1. Epanchage direct des boues :

Compte tenu du pouvoir potentiel de fertilisation des boues, il s'avère intéressant de songer à épandre ces produits sur des sols agricoles. C'est dans la valeur d'amendement organique et calcique que ce trouve surtout l'intérêt agronomique des boues. Cette valeur est due aux constituants minéraux et organiques retirés des eaux usées au cours de l'épuration ou à la chaux apporté au cours du traitement de la boue. Les teneurs des boues en éléments fertilisants, bien qu'incomplètes pour combler les besoins des cultures, apportent une contribution valable aux productions agricoles.

L'apport des boues en éléments nutritifs contribue à enrichir les sols et à maintenir la fertilité des terres agricoles, ce qui permet d'obtenir de meilleurs rendements pour les cultures.

Il convient donc de privilégier l'usage des boues pour les cultures qui tirent un intérêt certain de cette pratique et de veiller au respect des conditions d'utilisation pour que les boues aient un intérêt optimum pour les agriculteurs.

Les conditions d'utilisation peuvent varier selon différents critères, qui sont à prendre en compte pour une fertilisation raisonnée. Ces critères sont : la nature des boues, l'occupation et les caractéristiques des sols, les pratiques culturales, l'accessibilité aux parcelles, la disponibilité des agriculteurs et la réglementation en vigueur. (Amir S., 2005)

La pratique de l'épandage des boues présente un certain nombre d'atouts qu'on peut résumer comme suit :

- ✓ C'est un mode de disposition final, écologique et économique
- ✓ Elle est conforme aux principes du développement durable
- ✓ Elle permet de mettre en valeur l'aspect fertilisant des boues
- ✓ Elle crée des emplois dans des secteurs variés tels que la chimie, l'agronomie et les biotechnologies.
- ✓ Elle favorise la concertation des différents intervenants du milieu : producteurs, utilisateurs et autres partenaires
- ✓ Elle est relativement peu coûteuse, rapidement accessible et elle peut absorber un volume de boues important
- ✓ La matière organique contenue dans les boues améliore la structure des sols et leur pouvoir de rétention de l'eau et des éléments minéraux.
- ✓ Elle réduit les quantités de boues enfouies, ce qui a pour effet de prolonger la longévité des lieux d'enfouissement sanitaire et d'en réduire la contamination par ces matières organiques.

Néanmoins, l'épandage a également des points faibles :

- ✓ Elle peut présenter des risques pour la santé humaine ou animale si l'on ne respecte pas les règles de l'art : fréquence d'épandage, milieux récepteurs potentiels selon la qualité des boues, stabilisation des boues, etc.
- ✓ les odeurs générées autour des lieux d'épandage peuvent indisposer les citoyens;
- ✓ les sites de valorisation sont parfois difficiles d'accès.
- ✓ mode de valorisation saisonnier, par conséquent, il faut trouver une solution alternative en période hivernale.
- ✓ nécessite un suivi important et un contrôle rigoureux de la qualité des boues; impossible à effectuer dans certaines régions, car celles-ci sont identifiées comme étant en surplus de lisier animal.

II-5-2. Compostage :

Le compostage des boues permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- ✓ Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, dues principalement à la présence de matières organiques biodégradables.
- ✓ Réduction du gisement par diminution de la masse de déchet

- ✓ Production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols agricoles.

Le compostage est un traitement biologique aérobie des déchets organiques sous forme solide ou semi solide. L'équation globale de bio-oxydation de la matière organique est la suivante. (RECORD, 2003)



La technique de compostage qui parait la plus adaptée à la région de l'Afrique du nord est celle d'andains avec retournements périodiques pour maintenir un milieu aérobie adéquat à la dégradation de la matière organique. (Soudi B., 2003)

Les principaux paramètres de compostage sont ceux qui influencent les conditions de vie des microorganismes à savoir le taux d'oxygène lacunaire, l'humidité, la température, les caractères physico-chimiques des matières à composter (rapport C/N, pH...).

Tableau 4 : Valeurs des paramètres du compostage des boues d'épuration par les méthodes de compostage aéré statique et en andains retournés (Mustin, 1987)

Paramètres	Valeurs des paramètres
Température	Compostage aéré statique : 55°C/ 3jours Andains retournés : 55°C/15jours 5 retournements minimum
Humidité	40-65%
Oxygène	5-15% des espaces lacunaires
C/N	10-30
pH	5-11
MVT	≥ 35%
Durée de compostage actif phase chaude	≥ 21 jours
Durée de la maturation	≥ 21 jours

CHAPITRE III : PARTIE EXPERIMENTALE

Dans ce chapitre sont exposées les différentes techniques et protocoles d'analyses utilisées pour répondre aux objectifs fixés. Une analyse chimique la plus large possible a été menée relative à « pH, conductivité, teneur en matières sèches, teneur en matières volatiles, titre alcalimétrique, acide gras volatile, métaux lourds... » afin de donner une carte d'identité ou une idée plus ou moins sur ces boues.

I- Echantillonnage des boues :

Les boues font l'objet d'un échantillonnage représentatif. Les récipients destinés à l'emballage final des échantillons doivent être inertes vis-à-vis des boues, résistants à l'humidité et étanches à l'eau et à la poussière. Il doit être représentatif d'un emplacement précis et avoir un volume suffisant pour les besoins d'analyse.

L'échantillon prélevé a une couleur noire foncée, sous forme solide fraîche et dégage une odeur désagréable.

On a fait les analyses sur 5 types des boues :



Photo 18 : les différents type des boues de la STEP Tamuda Bay

- ❖ Boues primaire : elles sont produites par une simple décantation des matières en suspension.
- ❖ Boues biologiques : essentiellement formées par les résidus de bactéries "cultivées" dans les ouvrages d'épuration, ils résultent de la transformation des matières organiques contenues dans les eaux usées.
- ❖ Boues mixtes: constituent des boues primaires épaissies et les boues biologiques sorties de la table d'égouttage.
- ❖ Boues digérés : sont les boues de la bêche de mélange après la digestion anaérobie.
- ❖ Boues déshydratés : sont des boues déshydratées par les centrifugeuses.

II-Protocoles des analyses :

II-1. Détermination du PH :

Le pH de la boue est une donnée essentielle car l'existence d'une phase minérale, sa spéciation et sa toxicité sont autant de paramètres liés au pH du milieu. La mesure du pH se fait le plus fréquemment dans une suspension aqueuse, le rapport de la masse de la boue au volume d'eau varie suivant les méthodes ou suivant la texture du milieu. Les valeurs du pH obtenues par cette méthode de mesure sont considérées comme les plus proches du pH du

milieu considéré. Elles expriment l'acidité réelle et prennent en compte les ions H_3O^+ libres dans la phase liquide.

Le principe de la méthode est la mise en équilibre ionique d'une certaine masse de solide avec un volume donné d'eau déminéralisée. La mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence s'effectue dans la suspension aqueuse à l'équilibre.

II-2. Teneur en matières sèches et siccité (MS)

Cette mesure s'effectue par la mise en place de l'échantillon dans un étuve à $105^\circ C$ durant 24 h. Connaissant la masse initiale et la masse finale après perte d'eau, la teneur en matières sèches est calculée.

- **Protocole :**

On Prend une coupelle en aluminium ou un creuset en porcelaine, on les peser et on note le poids de coupelle vide P_0 , puis on ajout un volume de boue dans la coupelle et on note le poids P_1 puis on les fait sécher dans une étuve à $105^\circ C \pm 5^\circ C$ pendant 24Heures .le lendemain on fait sortie la coupelle, la laisser refroidir dans le dessiccateur et on prend le poids P_2 .

- **Calcul de la matière sèche (MS) :**

La matière sèche est exprimée en g/l de poids frais. Soit :

P_0 : Masse de la coupelle vide.

P_1 : Masse de la coupelle avec l'échantillon avant le passage à l'étuve.

P_2 : Masse de la coupelle avec l'échantillon après l'étuvage.

$$Ms(g/l) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 1000$$

- **Siccité :**

$$Ms(g/l) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100$$

II-3. Détermination de la Teneur en matières volatiles sèches (MVS)

Le résidu sec obtenu lors de la mesure de la matière sèche est porté pendant 2 heures dans un four à moufle à $550^\circ C$. Connaissant la masse initiale et la masse finale, la teneur en matières volatiles sèches rapportées à la matière sèche est calculée.

- **Protocole :**

Les matières volatiles sèches se font après les matières sèches, on procède comme suit : On prend la coupelle séchée à $105^\circ C$ et on fait introduire dans le Four à Moufle à $525^\circ C \pm 25^\circ C$ pendant 2heures puis on retire soigneusement la capsule du four en faisant attention à la chaleur et à l'envol des cendres, on laisse refroidir la coupelle au dessiccateur, on pèse la capsule et on note le poids **P3** en g.

- **Calcul de la matière volatile sèche (MVS)**

La matière volatile sèche est exprimée en pourcentage de poids frais. Soit :

P_3 : Masse de l'échantillon après calcination.

$$MVS\% = \frac{P2_P3}{P2_P0} * 100$$

Avec :

$$MS = MM + MVS$$

MM : Matière Minérale

MVS : Matière volatile Sèche (fraction organique)

II-4. Détermination de la teneur en acides gras volatiles AGV et Titre alcalimétrique complet TAC :

➤ **Principe :**

Au niveau du digesteur, le phénomène qui se produit c'est la digestion des boues dans des conditions d'anaérobiose deux étapes consécutives se déclenchent :

La première : c'est la liquéfaction des boues conduisant essentiellement à la formation des acides gras volatiles (AGV).

La deuxième : c'est la gazéification conduisant à la production du méthane à partir des AGV formés.

L'alcalinité bicarbonatée ou TAC joue un rôle Tampon (minimise les fluctuations du pH)

➤ **Domaine d'application :**

TAC : l'alcalinité correspond à la présence des carbonates, des bicarbonates et des hydroxydes.

AGV : l'acidité volatile correspond à la présence d'anhydride carbonique libre, d'acides minéraux et de sels d'acides forts et bases faibles.

➤ **Réactifs**

❖ H₂SO₄ : 0.1N

(H₂SO₄ N : 33ml d'acide concentré et 1000ml d'eau distillée)

❖ NaOH : 0.1N

(NaOH N : peser 42g de NaOH en pastille la diluer dans 1000ml d'eau distillée)

➤ **Mode opératoire :**

Premièrement on prélève 100 ml de boues liquides, on les verse dans un flacon de centrifugation, centrifuger à 4300 tr/min pendant 10 min, puis on récupère le culot avec de l'eau déminéralisée en ayant soin de ne rien perdre de la partie solide, on Centrifuge, et on répète l'opération une deuxième fois, et enfin on collecte le surnageant dans le bécher de 600 ml.

➤ **Mesure du TAC**

On Place le bécher sous l'agitation, on Prend le pH de la solution et on ajout H₂SO₄ (0.1N) jusqu'à avoir un PH=4 puis on note le volume V1 de H₂SO₄ (0.1N) versé.

➤ **Mesure des AGV**

Tout d'abord on ajout H2SO4 au surnageant jusqu'à avoir une valeur de PH=3.5, on fait bouillir la solution pendant 3 minutes exactes et on laisse refroidir. On place le bêcher sous l'agitation, ajouter le NaOH jusqu'à PH=4 et on note le volume V2 de NaOH. on ajoute de nouveau NaOH jusqu'à PH=7 et on note le volume V3 de NAOH.

➤ **Calcul du TAC :**

Soit V1 le volume, en ml , d'H2SO4(0.1N) consommé pour avoir un pH=4

➤ **Calcul de l'acidité gras volatile AGV :**

Soit : V2 le volume, en ml, de NAOH utilisé pour passer du PH 3.5 à PH 4

V3 le volume en ml de NAOH utilisé pour passer du PH

$$AGV \text{ en meq/l} = V3 - V2$$

$$AGV \text{ en mg/l de } CH_3COOH = (V3 - V2) * 60$$

$$TAC \text{ en meq/l} = V1$$

$$TAC \text{ en mg/l de } CaCO_3 = V1 * 50$$

➤ **Métaux lourds :**

Le tableau 2 ci-dessous montre les quantités moyennes des métaux lourds contenues dans la boue de STEP TAMUDA BAY (analyse faite par LPEE).

Tableau 5 : Concentration moyenne en ETM des boues d'épurations

Date	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Cr+Cu+Ni+Zn
	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS	mg/kg MS
19/09/2013	5,62	23,1	125	0,799	17,7	41,7	453	619
14/05/2014	0,545	16,4	156	0,28	13,2	35,8	484	670
Valeurs limite des boues	10	1000	1000	10	200	800	3000	4000

Conclusion

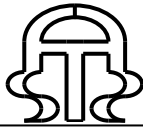
La station TAMUDA BAY joue un rôle très important pour la protection de l'environnement, la conservation des ressources en eau et la participation au développement durable de la région de Tétouan.

Des analyses réalisées dans le laboratoire sur les eaux usées avant et après traitement, ont montré qu'il y'a un rabattement très important de la matière organique, la matière minérale et la matière en suspension. Ce qui garantit un rejet conforme aux normes marocaine, permettant ainsi l'exploitation de ces eaux à L'arrosage des espaces longeant la zone Tamuda Bay, l'irrigation des espaces publics ou privés (golfs ou autres) et à l'utilisation industrielle. Et par conséquent la réduction de demande en eaux potable d'environ 2 000 000 m³ par an.

Ainsi que l'opération de la digestion des boues, donne 9,5tonne/jour des boues digérées qui seront utilisées comme fertilisant et la production de l'énergie verte par le système de cogénération, production environ 350KWh soit 35% des besoins de la STEP en énergie électrique.

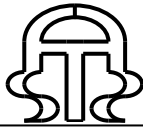
De ce fait la STEP présente des impacts positifs sur les ressources naturelles dans une zone balnéaire prometteuse, ainsi que sur les conditions sanitaires et socioéconomiques des populations ciblent de cette région de la Méditerranée massivement fréquentée par le tourisme, Et favorisera sans doute l'essor touristique de la zone, surtout dans le cadre d'une vision stratégique nouvelle visant un développement durable du nord en particulier et du Maroc en général.

Malgré la grande importance des stations d'épuration sur plusieurs échelles que ce soit, social, économique et environnement, il est toujours confronté à la difficulté d'accepter l'idée de réutiliser les eaux usées après leurs traitement, c'est pourquoi on recommande tout d'abord en parallèles avec les investissement dans ce domaine d'épuration des eaux usées, la sensibilisation des gents vis-à-vis réutilisation de ces eaux.



Référence

- ✓ Amir S., 2005 : Thèse de Doctorat ; Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : Devenir des micros polluants métalliques et organique et bilan humique du compost.
- ✓ CHENAOUI F., 2007 : Contribution au choix du mode d'élimination des boues d'épuration au Maroc. MEMOIRE DE TROISIEME CYCLE Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Rural :
- ✓ Looser et al, 1999; Kjeldsen et al, 2002; Marttinen et al. 2003. Etude bibliographique
- ✓ Moletta, R. « Procédés biologiques anaérobies, Dans Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires » Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris (2002).
- ✓ Notice d'exploitation réalisée par la station d'épuration de tamuda bay.
- ✓ RECORD, 2003. Méthanisation des déchets organiques. Etude bibliographique.
- ✓ Soudi B., 2003 : Manuel d'utilisation des boues résiduaires issues des stations d'épuration des eaux usées- Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays du Proche
- ✓ Valorisation énergétique des boues par Jérôme GAY Ingénieur INSA (Institut national des sciences appliquées) Chef de projets Environnement, société OSER (Ouverture Scientifique, Études et Réalisations). pdf
- ✓ http://docinsa2.insa-lyon.fr/these/2005/kribi/05_chapitre_2.pdf



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme DUT

Nom et Prénom : TITAFI Asmae

Année universitaire : 2013/2014

Intitulé : Traitement des eaux usées et Perspectives de Valorisation des Boues de la STEP de Tamuda Bay

Résumé

Le traitement des eaux usées dans la station d'épuration Tamuda bay s'accompagne d'une production importante des boues résiduelles. Cela pousse les responsables à rechercher des solutions technologiques permettant un traitement efficace et moins coûteux des boues. Une des technologies permettant le traitement de la fraction organique de ces boues est la digestion anaérobie, les boues deviennent une source de richesses. Cette technologie devient essentielle dans la production de compost et la production de biogaz, qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de la chaleur.

Dans notre projet l'intérêt est porté sur l'étude du processus de digestion anaérobie des boues de la station Tamuda Bay ainsi que l'optimisation de ce dernier, en contrôlant les différents paramètres de la stabilité du digesteur tels que le pH, l'alcalinité, les AGV..., ainsi que la mesure du taux spécifique de production de biogaz et évalué sa quantité et sa qualité.

La période du suivi des paramètres de stabilité de La digestion anaérobie des boues de la STEP, a montré généralement un bon déroulement du processus à l'exception de temps de séjours qui est très élevé (60 jours) par rapport au temps de séjour usuel pour une digestion mésophile qui est de l'ordre de 20 jours.

La valeur moyenne de la production de biogaz est de l'ordre de 455 m³ par jour, qui est utilisé actuellement à l'échauffement de digesteur, ce volume produit journallement produira une quantité d'énergie électrique de l'ordre de 2900 KWh par le système de cogénération

Mots Clés : Station Tamuda Bay, Boues, Digestion anaérobie, Biogaz, Valorisation.