

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERSCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSIT DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET**  
**SCIENCES DE LATERRE**



**Mémoire de fin d'étude**  
**En vue de l'obtention du diplôme de Master**  
**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Filière : Sciences de la Terre**  
**Spécialité : Ressources en eaux et Géo-Environnement**

**Etude de valorisation des Boues issues des STEPS**  
**Cas de la STEP Beni Mered à Blida**

**Présentée Par :**  
Rahmani Sidali  
Messad Ali Amir

**Membres du jury :**

Mr K. HENIA	MAA	UDBKM	Président
Mme R. MEHDAOUI	MCA	U. SAAD DAHLEB	Examineur
Mme K. CHOUCANE	MCB	UDBKM	Promoteur

**Année Universitaire : 2019/2020**

## ***Remerciements***

D'abord, nous remercions «Dieu le tout puissant» de nous avoir donné le courage et la patience pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère et profonde reconnaissance à notre promotrice Dr CHOUCHANE KARIMA pour sa patience avec nous, et pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de ce travail.

Nous remercions également tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble des enseignants de la faculté des Sciences de la Nature et de la Terre de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

Enfin, nous remercions tous ceux qui de près ou de loin ont participé à l'enrichissement de ce mémoire.

# Dédicaces

*Je dédie ce mémoire*

*A ma famille et à tous mes amis*

*SIDALI*

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à la lumière de ma vie : mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma scolarité.

- ❖ A mes frères et sœurs
- ❖ A mes oncles
- ❖ A mes grands parents
- ❖ A toute ma grande famille
- ❖ A mes très chers amis

*ALI AMIR*

## Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>Chapitre I : Généralité sur l'épuration</b>	
1. Définition des eaux usées	4
2. Origine des eaux usées	5
2.1 Les eaux usées urbaines	5
2.2. Les eaux industrielles	6
3. Les caractéristiques des eaux usées	6
3.1 Les paramètres physiques	6
3.2 Les paramètres chimiques	7
4. Normes de rejets	7
4.1 Normes de rejets Algérienne	7
5. Différents Procédés d'épuration des eaux usées	8
5.1 Le prétraitement	9
5.2 Le traitement primaire	9
5.3 Le traitement secondaire ou traitement biologiques	10
5.4 Le traitement tertiaire	14
<b>Chapitre II : Valorisation des Boues d'épuration</b>	
1. Introduction	16
1.1 Production de boues de STEP	16
1.2 Caractérisation des boues	16
1.3 Type des boues résiduaires	18
1.4 Valorisation organique	19
2. Principe de la production aérobie à boues activées	20
2.1 Principe de la digestion des boues de STEP	20
3. Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues	24
3.1 Valorisation énergétique par combustion	25
3.2. Stockage en installations de stockage de déchet non dangereux (ISDND)	25
4. la méthanisation	26
4.1. Les principales phases du processus de méthanisation	26
5. Le biogaz	27
5.1. Composition du biogaz	27
5.2. Caractéristique physique	27
5.3. Valeur énergétique du biogaz	28
6. Stockage du biogaz	29
7. Production et utilisation du biogaz	29
7.1. La production de chaleur :	29
7.2. Le biogaz carburant :	29
7.3. L'injection dans le réseau:	30
7.4. La production d'électricité :	30
7.5. Production de froid :	30
8. Avantages et inconvénients du biogaz	31
<b>Chapitre III : Partie expérimentale :</b>	
1. Introduction :	33
2. Identification de la STEP de Beni Mered	33
2.1. Moyens humains	33

## Sommaire

---

---

2.2 Condition de fonctionnement	35
2.3 Fonctionnement	35
2.4 Conditions de charge et de débit de l'effluents (cahier des garanties)	36
2.5 Traitement des Eaux	37
3. Protocole expérimental : Influence de la température et le temps sur la production de biogaz :	37
3.1 la température :	37
3.2 le Temps :	39
4. Dispositif expérimental :	42
4.1 Première expérience : Etude de la digestion anaérobie des boues aux températures de 37°C et 55°C	43
4.2 Deuxième expérience: Etude qualitative de la production du biogaz	45
4.3 Résultat et discussion	51
<b>CONCLUSION GENERALE :</b>	52
<b>Références Bibliographiques</b>	54

## Liste des Tableaux

---

---

Tableau I.01	Normes de rejets dans un milieu récepteur	8
Tableau II.1	Caractéristique physique du biogaz comparé au gaz naturel	28
Tableau II.2	Pouvoir calorifique du biogaz selon sa teneur en méthane	28
Tableau III.1	condition de fonctionnement de la STEP de Beni Mared	35
Tableau III.2	Conditions de charge et de débit de l'effluent	36
Tableau III.3	Caractéristiques de l'effluent à la sortie (boue seule à 37°C)	45
Tableau III.4	Caractéristiques de la capacité de production du biogaz à la sortie (boues seules à 37°C)	44
Tableau III.5	Caractéristiques de l'effluent à la sortie (boue seule à 55°C)	44
Tableau III.6	Caractéristiques de la capacité de production du biogaz à la sortie (boue seule à 55°C)	45

## Liste des Figures

Figure I.01	Eaux usées dans le cycle de l'eau urbain	4
Figure I.02	Schéma d'une configuration d'une chaîne de traitement des eaux usées	8
Figure I.03	Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	9
Figure I.04	Schéma d'un traitement biologique	10
Figure I.05	Lagunage naturel	11
Figure I.06	Le principe d'un lagunage aéré	11
Figure I.07	Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques	12
Figure I.08	Lit bactérien	13
Figure I.09	Traitement tertiaire	14
Figure II.1	Principales étapes de la digestion anaérobie	21
Figure III.1	image d'un Bassin d'Aération de la STEP	34
Figure III.2	Evolution de la production de biogaz en fonction du temps pour la digestion anaérobie avec agitation continue	40
Figure III.3	Taux de méthane et de dioxyde de carbone en fonction de l'intensité d'agitation pour la digestion anaérobie avec agitation continue	40
Figure III.4	Evolution de la production de biogaz en fonction du temps pour la digestion anaérobie avec agitation intermittente	41
Figure III.5	Taux de méthane et de dioxyde de carbone en fonction de l'intervalle d'agitation	42
Figure III-6	Dispositif expérimental plus évolué	46
Figure III-7	Relevé de volume pendant 8 jours à $T_{int}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$	47
Figure III-8	Relevé de température et de volume pendant 8 jours à $T_{int}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
Figure III-9	Relevé de volume pendant 8 jours à $T_{int}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
Figure III-10	Relevé de température et de volume pendant 8 jours à $T_{int}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
Figure III-11	Relevé de volume pendant 8 jours à $T_{int}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .	49
Figure III-12	Relevé de température et de volume pendant 8 jours à $T_{int}=40\text{ }^{\circ}\text{C}$	50
Figure III-13	Volume de biogaz produit en fonction du temps	50

## INTRODUCTION GENERALE

---

### INTRODUCTION GENERALE :

L'eau a une valeur incontestable, qu'elle soit utilisée pour la consommation humaine, L'agriculture, les loisirs, le transport ou la production d'énergie.

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constaté depuis plusieurs décennies.

L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attirante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'engrais additionnels renouvelables et fiables.

Aussi, les eaux résiduaires peuvent être chargées par de nombreux polluants et constituent des milieux parfois très complexes. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration au niveau des stations d'épurations. La charge en agents polluants (boues) dans une eau peut être valorisée à partir de certains paramètres.

Par ailleurs, les boues d'épurations sont considérées comme une importante source de biomasse en Algérie, cependant leur utilisation comme source d'énergie reste restreinte par rapport à d'autres pays dans le monde.

La valorisation énergétique des boues issues du procédé épuratoire génère un biogaz après digestion anaérobie, ce dernier contient du méthane CH<sub>4</sub> qui a un pouvoir calorifique important et peut se considérer comme un combustible très intéressant pouvant se substituer au gaz naturel du fait qu'il est valorisable dans plusieurs applications énergétiques (production de chaleur, de l'électricité, carburant automobile et bio-méthane ...etc).

Dans notre travail, on a étudié le fonctionnement de la station d'épuration de Blida (Beni Mered) à boue activée et on a effectué la valorisation énergétique des boues d'épuration, dans le but de la production de biogaz .

Notre travail est divisé en deux grandes parties,

- la première partie est consacrée à l'étude de fonctionnement de la station d'épuration de Blida (Beni Mered) :

- En analysant les différents paramètres physico-chimique qui gèrent les eaux de la STEP, de vérifier une éventuelle valorisation des eaux traitées, dans le domaine agricole.

## INTRODUCTION GENERALE

---

- Dans la deuxième partie de notre travail, on vas mener des études sur le séchage ou la bio-méthanisation qui est l'une des méthodes de valorisation de la biomasse, pour cela on a fait le séchage de la boue afin de produire le biogaz qui est constitué essentiellement du dioxyde de carbone et du méthane. Ce dernier peut être valorisé par différentes voies: production de chaleur et d'électricité, utilisation comme carburant ou injection dans le réseau de gaz naturel.

Enfin, ce manuscrit est clôturé par une conclusion générale où nous présentons les résultats obtenues.

## **Chapitre I : Généralité sur l'épuration**

### **I-1 Définition des eaux usées**

### **I-2 Origine des eaux usées**

#### **I.2.1 Les eaux usées urbaines**

#### **I.2.2. Les eaux industrielles**

#### **I.2.3 Eaux agricoles**

### **I.3 Les caractéristiques des eaux usées**

#### **I.3.1 Les paramètres physiques**

#### **I.3.2 Les paramètres chimiques**

### **I.4 Normes de rejets**

### **I.5 Différents Procédés d'épuration des eaux usées**

#### **I.5.1 Le prétraitement**

#### **I.5.2 Le traitement primaire**

#### **I.5.3 Le traitement secondaire ou traitement biologiques**

#### **I.5.4 Le traitement tertiaire**

1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées et dont les propriétés naturelles ont été transformées par les utilisations domestiques, les entreprises industrielles, agricoles et autres. On englobe, aussi, les eaux de pluie qui s'écoulent dans ces canalisations. Elles contiennent de nombreux éléments polluants et nécessitent d'être traitées avant leur évacuation dans le milieu récepteur (C. Bliefert & R. Perraud, 2001).

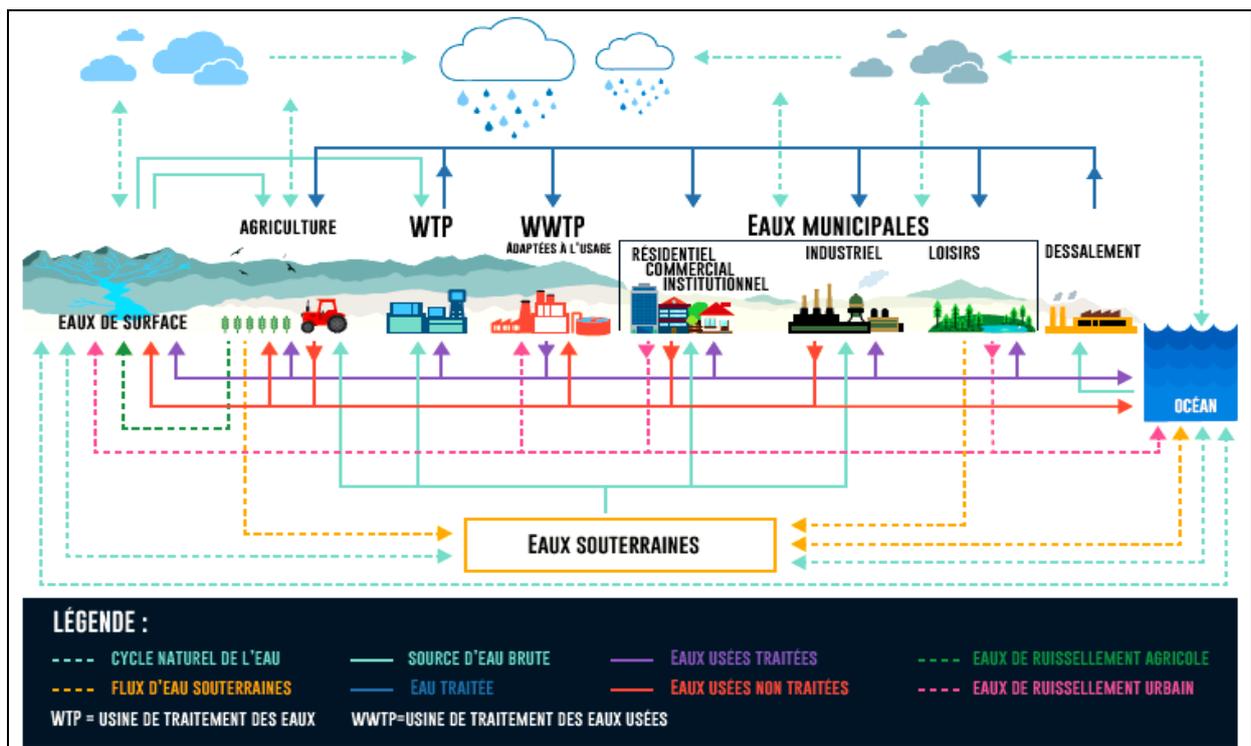


Figure I.01 : Eaux usées dans le cycle de l'eau urbain (WWAP, 2017).

**2 .Origine des eaux usées**

On cite souvent des statistiques selon lesquelles les eaux usées sont théoriquement composées de 99 % d'eau et de 1 % de matières en suspension, colloïdales et dissoutes. Bien que la composition exacte des eaux usées varie naturellement entre différentes sources et au fil du temps, l'eau demeure de loin son constituant principal. Différentes sources d'eaux usées peuvent présenter d'autres types de composants à des concentrations variables. Les eaux usées domestiques et municipales sont susceptibles de contenir des charges bactériennes élevées, bien que la plupart des bactéries présentes dans les matières fécales humaines ne soient pas pathogènes en soi. Toutefois, lorsqu'une infection se produit, un grand nombre de microorganismes pathogènes (tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes) sont répandus dans l'environnement par les matières fécales. Pour réduire le fardeau des maladies, l'élimination des agents pathogènes est souvent le principal objectif des systèmes de traitement des eaux usées. Les eaux usées issues d'activités industrielles et minières ainsi que de la gestion des déchets, peuvent également contenir des composés organiques toxiques tels que les hydrocarbures, les bi phényles poly chlorés (BPC), les polluants organiques persistants (POP), les composés organiques volatils (COV) et les solvants chlorés. De très petites quantités de certains composés organiques peuvent contaminer d'importantes quantités d'eau. Un litre d'essence, par exemple, est suffisant pour contaminer un million de litres d'eau souterraine (WWAP, 2017).

Suivant l'origine des substances polluantes, on distingue les catégories des eaux usées :

**2.1 Les eaux usées urbaines**

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toute sorte de déchets minéraux et organiques et toutes sortes de micropolluants (R. Desjardins, 1997).

**2.1.1 Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines (C. Gomella & H. Guerre, 1978).

**2.1.2 Eaux pluviales (Ruissellement)**

Elles peuvent aussi constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, ...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit "unitaire", les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques (Y. Libes, 2010).

**2.2. Les eaux industrielles**

L'eau résiduaire industrielle désigne l'eau qui provient des activités industrielles. Elle est différente des eaux usées domestiques et ses caractéristiques varient d'une industrie à une autre. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations de traitement (S1).

**2.3 Eaux agricoles**

sont des eaux usées provenant d'établissements ou sont gardés ou élevés des animaux entraînant une charge polluante globale inférieure à une valeur maximale fixée par le gouvernement et qui ne sont ni des jardins zoologiques ni des animaleries permanentes.

**3 Les caractéristiques des eaux usées**

Les eaux usées sont caractérisées par plusieurs paramètres. On distingue deux catégories de paramètres physiques et chimiques.

**3.1 Les paramètres physiques**

Une eau usée peut contenir une multitude de paramètres physiques on peut citer :

**3.1.1 Les Matières En Suspension (MES)**

Il s'agit de matières qui ne sont ni soluble ni colloïdales. On peut considérer qu'ils représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules minérales du type mucilagineuse (A. Chekroun, 2013).

**3.1.2 Les Matières Volatiles en suspension (MVS)**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 6500°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Après évaporation de la partie organique des matières en suspension, La quantité de MVS est obtenue par différence entre les quantités de MES et de MMS (A. Chekroun, 2013).

**3.1.3 Les matières minérales**

Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussière par exemple (A. Chekroun, 2013).

**3.1.4 Les coliformes**

Ce sont des bactéries, retrouvées dans les intestins des animaux à sang chaud. Pourtant, s'il y en a dans les eaux usées, cela indique que des bactéries pathogènes pourraient y être aussi présentes (A. Chekroun, 2013).

**3.2 Les paramètres chimiques****3.2.1 DBO<sub>5</sub>**

La DBO<sub>5</sub> exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours (Suschka J, Ferreira E. 1986).

**3.2.2 DCO**

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies. Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables (Taradat M H, 1992).

**4. Normes de rejets**

Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usées à ne pas dépasser. On distingue :

**4.1 Normes de rejets Algérienne**

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau N°02 (JORADP : décret exécutif N 06-141 du 19 Avril 2002)

Tableau I.01 : Normes de rejets dans un milieu récepteur

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30	Aluminium	mg/l	03
Ph	/	6,5 à 8,5	Cadmium	mg/l	0.2
MES	mg/l	35	Fer	mg/l	03
DBO <sub>5</sub>	mg/l	35	Manganèse	mg/l	01
DCO	mg/l	120	Mercure total	mg/l	0.01
Azote	mg/l	30	Nickel total	mg/l	0.5
Phosphates	mg/l	02	Plomb total	mg/l	0.5
Phosphore total	mg/l	10	Cuivre total	mg/l	0.5
Cyanures	mg/l	0.1	Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20	(*) Chrome III +	mg/l	03
Hydrocarbures totaux	mg/l	10	(*) Chrome VI +	mg/l	0.1
Indice Phénols	mg/l	0.3	(*) Solvants organiques	mg/l	20
Composés organiques chlorés	mg/l	05	(*) Chlore actif	mg/l	01
Chrome total	mg/l	0.5	(*) Détergents	mg/l	02

### 5. Différents Procédés d'épuration des eaux usées

Les différents procédés d'épuration sont représentés sur la Figure N° 02.

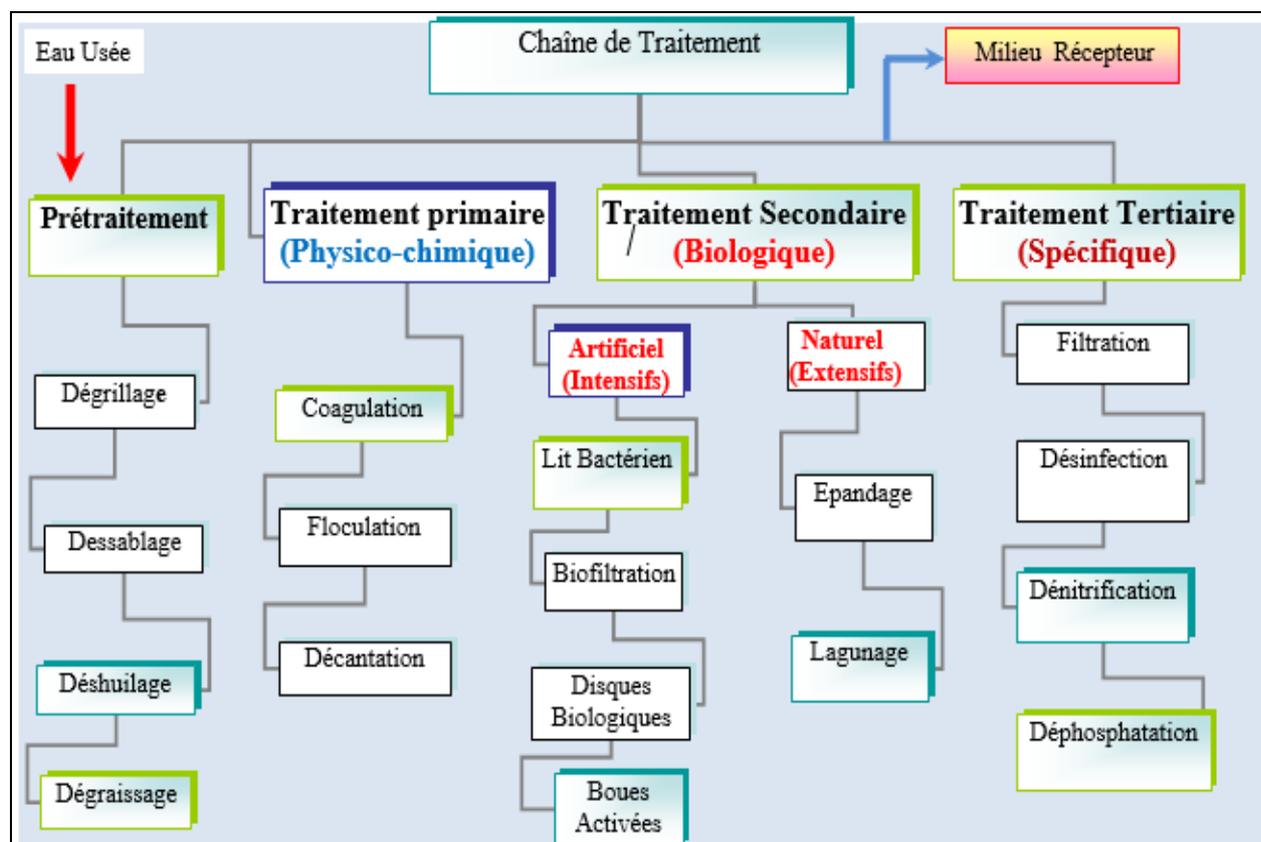


Figure I.02 : Schéma d'une configuration d'une chaîne de traitement des eaux usées

(2019).

### 5.1 Le prétraitement

Le Prétraitement a pour objectif de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement qui sont illustrés à dans la figure N°03.

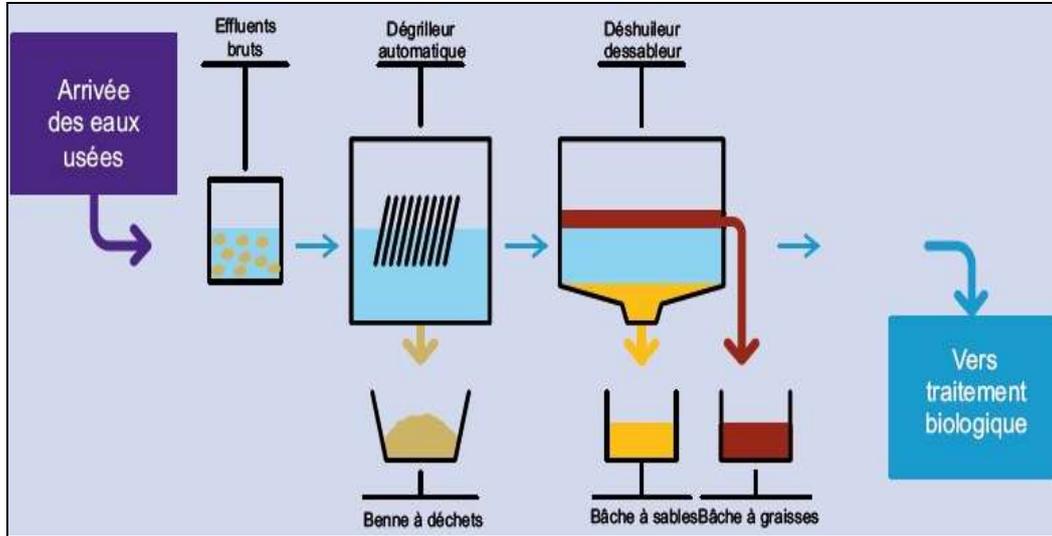


Figure I.03 : Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP (S2).

Il comprend le dégrillage pour retenir les déchets volumineux, le dessablage, pour obtenir une meilleure décantation, le dégraissage et le déshuilage pour éviter l'encrassement de la station par des corps gras (R. Kesbi, 2016).

### 5.2 Le traitement primaire

Il s'agit le plus souvent d'une décantation qui permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension.

En utilisant des procédés physiques ou physico-chimiques visant la décantation poussée des matières en suspension dans l'eau. On distingue :

#### 5.2.1 La décantation physique (naturelle)

Les matières en suspension qui ont souvent une teneur en matière organique importante (de 70 à 90 %) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau vont se décanter naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures (R. Kesbi, 2016).

#### 5.2.2 La décantation physico-chimique

Les performances de la décantation peuvent être ainsi améliorées par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) (R. Kesbi, 2016).

### 5.3 Le traitement secondaire ou traitement biologiques

Le traitement secondaire est un traitement purement biologique des eaux usées et a pour objet de réduire la teneur en matière organique présentes dans ces eaux et leur dégradation biologique par les micro-organismes (A. Haoua, 2007). On a :

- Les procédés extensifs,
- Les procédés Intensifs.

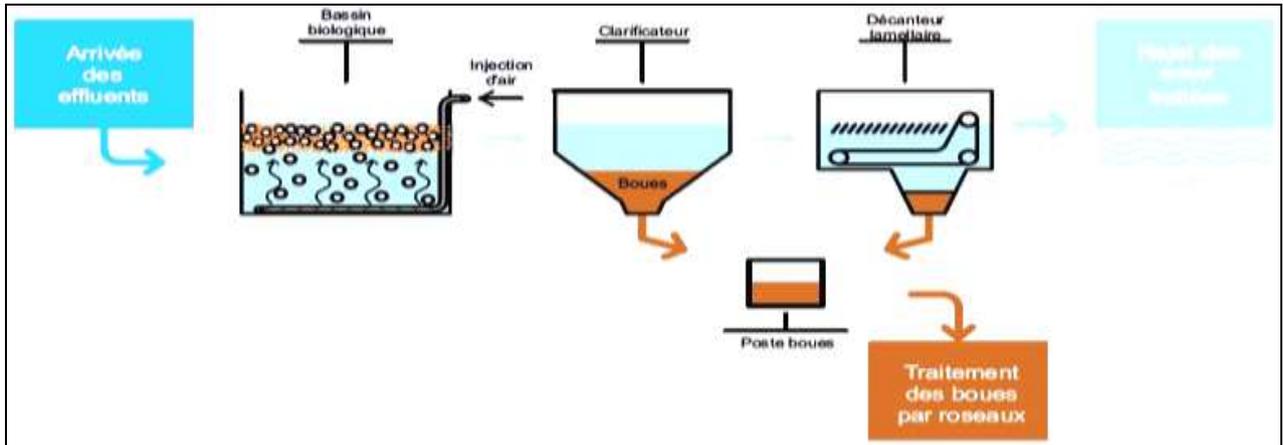


Figure I.04 : Schéma d'un traitement biologique (S2).

#### 5.3.1 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, etc.

##### 5.3.1.1 Le lagunage

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux (Josep P, 2002).

##### a- Lagunage naturel

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est trois. Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse.

La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière, ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces

bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique (Rejasse Sandrine, 2009).

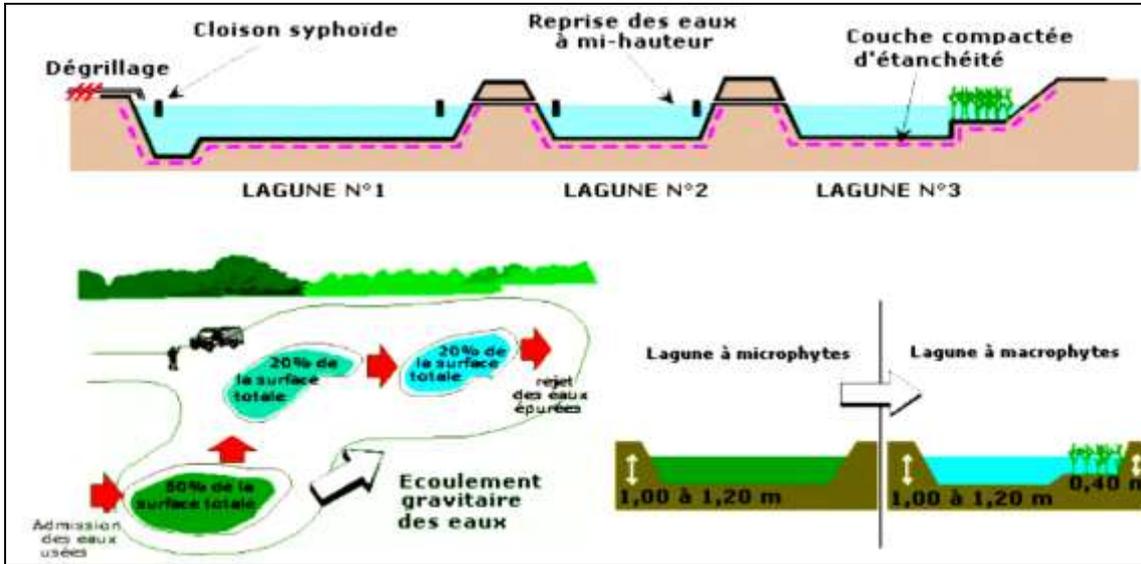


Figure I.05 : Lagunage naturel (Karima Allaoui, 2009).

**b- Lagunage aéré**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs 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 (C.C.I Troyes, 2002).

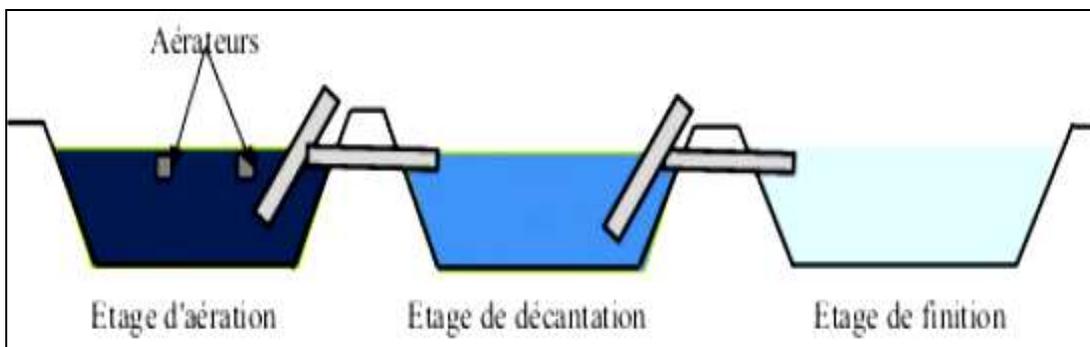


Figure I.06 : Le principe d'un lagunage aéré (Dahou Abderahim, Brek Adem, 2013).

### 5.3.2 Procédés biologiques intensifs

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 naturel (Faiza Mekhalif, 2009).

#### 5.3.2.1 Disques biologiques

La technologie de disques biologiques ou Bio-disque est un procédé d'épuration mettant en jeu un traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation pour assurer à la fois la mise en contact des bactéries avec l'effluent, leur oxygénation et le mélange. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel (S3).

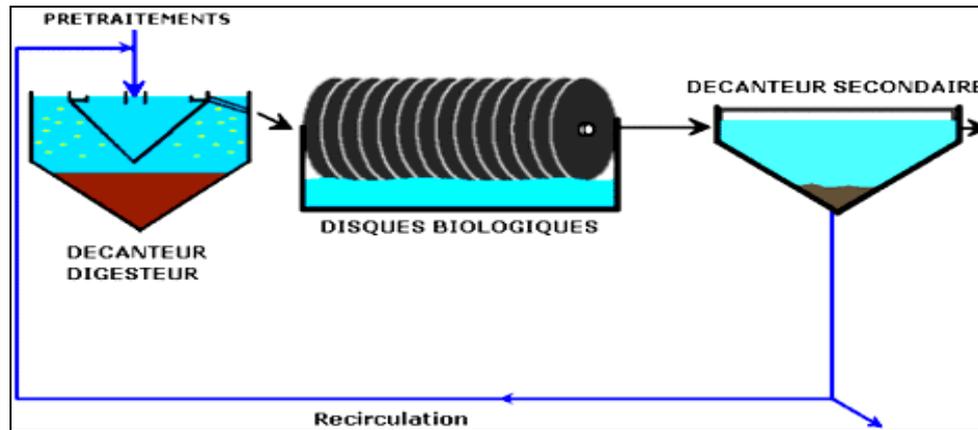


Figure I.07 : Schéma de principe d'une filière type de disques biologiques (Karima Allaoui, 2009).

#### 5.3.2.2 Lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. Une 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'aux micro-organismes 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 gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO<sub>5</sub> (Gaid A, 1984).

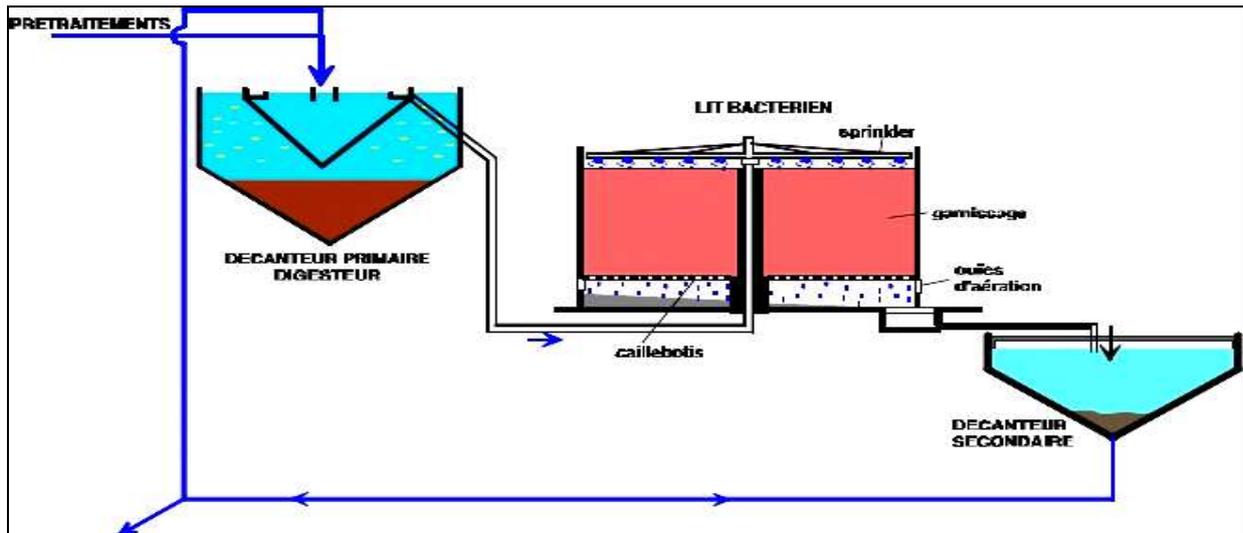


Figure I.08 : Lit bactérien (Karima Allaoui, 2009).

### 5.3.2.3 Les boues activées

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester et repose sur la constatation suivante : une eau d'égout aérée permet le développement rapide d'une flore bactérienne capable de dégrader des matières organiques polluantes. Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un flocc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'aération). Afin d'éviter la décantation des floccs dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante (Dhaouadi H, 2008).

### Paramètres de fonctionnement des stations à boues activées

Le procédé à boues activées est défini par les paramètres suivants :

- La charge massique.
- La charge volumique.
- Age des boues.
- Indice de Mohlman.
- Besoin en oxygène.

### 5.3.3 La décantation secondaire

Les performances de l'épuration biologique résultent de l'action d'aération et de clarification qui, sur le plan technique, forment une seule unité. La liqueur mixte maintenue

en suspension dans le bassin d'aération, passe dans un bassin de clarification de forme circulaire pour y être clarifiée. L'alimentation se fait au moyen d'une conduite en siphon surmontée au centre du bassin et d'une jupe de répartition.

Le floc se sépare dans l'eau interstitielle et se dépose sur le radier de l'ouvrage de clarification, tandis que l'eau clarifiée est évacuée par surverse dans une rigole périphérique (ANNAT).

#### 5.4 Le traitement tertiaire

Appelées aussi les traitements complémentaires qui visent l'élimination de la pollution azotée et phosphatée ainsi que la pollution biologique des eaux usées domestiques, ayant déjà subi au préalable des traitements primaires et secondaires qui s'avèrent insuffisants pour arriver bout de ces polluants. Pour cela les traitements tertiaires d'imposent et deviennent plus que nécessaires, afin de garantir une meilleure protection des milieux naturels récepteurs. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige. On y distingue généralement les opérations suivantes :

- La nitrification-dénitrification et dé-phosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique).
- La désinfection bactériologique et virologique (ANAAT).

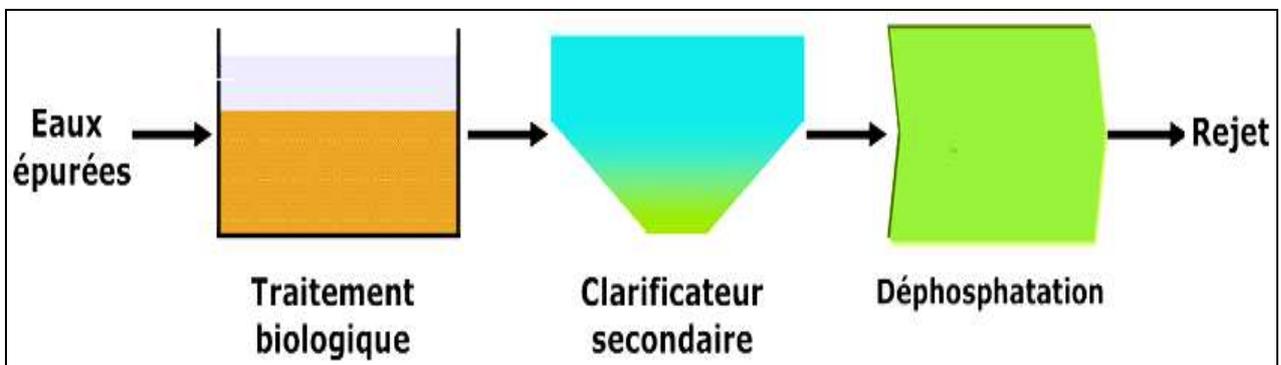


Figure I.09 : Traitement tertiaire (S4)

## **Chapitre II : Valorisation des Boues d'épuration**

### **1. Introduction**

#### **1.1 Production de boues de STEP**

#### **1.2 Caractérisation des boues**

#### **1.3 Types des boues résiduaire**

#### **1.4 Valorisation organique**

### **2 .Principe de la production aérobie à boues activées**

#### **2.1Principe de la digestion des boues de STEP**

### **3. Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues**

#### **3.1Valorisation énergétique par combustion**

#### **3.2.Stockage en installations de stockage de déchet non dangereux (ISDND)**

#### **4.la méthanisation**

#### **4.1. Les principales phases du processus de méthanisation**

### **5. Le biogaz**

#### **5.1. Composition du biogaz**

#### **5.2. Caractéristique physique**

#### **5.3. Valeur énergétique du biogaz**

#### **6.Stockage du biogaz**

#### **7.Production et utilisation du biogaz**

#### **7.1.La production de chaleur :**

#### **7.2.Le biogaz carburant :**

#### **7.3.L'injection dans le réseau**

#### **7.4.La production d'électricité**

#### **7.5.Production de froid**

#### **8. Avantages et inconvénients du biogaz**

### 1. Introduction

La production de boues est de plus en plus difficile à gérer du point de vue de manque d'espace de stockage, cela pousse les gouvernements à rechercher des solutions technologiques permettant de la réduire au même titre que la gestion des autres types de déchets.

#### 1.1 Production de boues de STEP

On appelle boues d'épuration les sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées. Les boues d'épuration urbaines résultent de différent traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité humaines et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir subis un prétraitement obligatoire. Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduelles qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques (PGPE.Mai 2014).

#### 1.2 Caractérisation des boues

Ces boues sont caractérisées par un certain nombre de critères définissant leur composition physique et chimique:

##### 1.2.1. Les caractéristiques chimiques des boues

**1.2.1.1. Les matières en suspension:** Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (DUGUET J-P., 2006.)

**1.2.1.2. Les matières volatiles sèches:** Elles représentent la fraction organique des matières sèches et sont obtenues par calcination de ces matières sèches à 525°C/2 h, la différence de poids entre les matières sèches à 105 °C et les matières sèches à 525 °C donne la (perte au feu) et correspondant à la teneur en matières volatiles sèches en (mg /l) d'une eau (DUGUET J-P., 2006)

**1.2.1.3. Fraction volatile** : C'est le rapport des matières volatiles (en g/l) sur les matières sèches (en g/l). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) (DUDKOW S., 2001)

**1.2.1.4. La siccité**: Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90% (ASMAHANE B., 2011) .

- Boues liquide : siccité de 0-10%.
- Boues pâteuses : siccité de 10 -25%.
- Boues solides : siccité de 25 -85%.
- Boues sèches : siccité supérieure à 85%

**1.2.1.5. Indice de boue**: L'indice de boue est défini à partir de tests de décantation permettant d'obtenir des volumes de boues compris entre 100 et 250 ml (RODIER J., 2009)

Si:

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

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

IB > 200 : mauvaise décantation (boue riche en filaments) (AMADOU H., 2007)

**1.2.1.6. Définition de volume de décantation**: Le volume décanté pendant 30 min, doit impérativement être inférieur à 300 ml, au-delà, y a nécessité d'opérer une dilution des boues par de l'eau avant la réalisation du test (RODIER J., 2009)

## 1.2.2. Les caractéristiques physiques des boues

**1.2.2.1. La viscosité**: Les boues ne sont pas des liquides newtoniens, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement, cette viscosité permet de définir leur caractères thixotropiques qui est important pour leur transport (SEDKI A., 1995)

**1.2.2.2. Masse volumique**: Elle permet de calculer le volume de boue à convoier, en l'absence de mesure pour une boue liquide ou pâteuse, on peut considérer en première approximation la pondération suivante (ADEME, 2001)

$$r = 100 (1-S) + (900 FV + 2700 FM) S$$

$$FM = (1-FV)$$

**1.2.2.3. Le pouvoir calorifique**: Les teneurs en matières organiques des boues leur donnent une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de l'incinérer (AFEE. 1974).

**1.2.2.4. Le pouvoir calorifique inférieur:** Son importance est primordiale en incinération, généralement exprime par rapport aux MV, il est relié au C, H, N, O, S, par écriture de la stœchiométrie de combustion (SLIMANI K., 2007)

### 1.3 Types des boues résiduaires

Au cours des traitements primaires et secondaires des boues sont produites, elles sont classées en trois grandes catégories de boues urbaines qui diffèrent par grande hétérogénéité de nature et de composition (CHAHIDI ELOUAZZANI D. KHALIFA M. CHRISTIAN B., 2013)

**1.3.1. Les boues primaires:** C'est les boues de traitement primaire appelées boues fraîches, elles sont obtenues au niveau de décanteur primaire par simple décantation des matières en suspension (MES) contenue dans les eaux usées (ADDOU A., 2009)

**1.3.2. Les boues biologiques:** Ce sont les boues issues du traitement biologique des eaux usées. Elles sont issues des purges en sortie des bassins d'aération et sont également appelées boues activées en excès. On distingue aussi (CEN).

**a. les boues mixtes :** C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires. Ce mélange est généralement réalisé avant la stabilisation des boues (ADDOU A., 2009)

**b. les boues d'aération prolongée :** Ces boues existant au niveau de STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures (CEN).

**1.3.3. Les boues physico-chimiques :** Sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition, en tertiaire, on retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaine similitude avec des boues d'eau potable (ADEME, 2001).

### 1.4 Valorisation organique

#### 1.4.1 L'épandage

L'épandage des boues d'épuration consiste leur utilisation comme des éléments nutritifs, sur les sols inertes, érodés ou faiblement végétalisés à l'aide de matériels appropriés.

L'épandage des boues d'épuration reste une pratique courante. Cette technique est recommandée pour permettre la réhabilitation des sites stériles tels que les décharges, les carrières. L'aménagement des espaces verts urbains est aussi envisageable. L'épandage des boues présente des avantages agronomique vue 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 (Rachida, 2016).

#### 1.4.2 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.

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 (Rachida, 2016)

Ceci permet un enracinement important des végétaux, favorise leur productivité et diminue les risques d'érosion.

**2.Principe de la production aérobie à boues activées**

La digestion des boues facilite leur gestion quelle que soit leur traitement final. En effet, la méthanisation conduit en premier lieu à la réduction de 30 à 50% des volumes de boues produits dans la station d'épuration (Couturier ,2001). L'autre atout majeur réside dans la production d'énergie sous forme de biogaz, qui peut être aisément valorisé sous forme de chaleur et d'énergie électrique. Une partie de cette chaleur peut d'ailleurs être utilisée sur site, pour le maintien en température des digesteurs ou encore le chauffage des bâtiments.

Après un rapide rappel des fondamentaux de la digestion anaérobie, nous proposons un focus sur la digestion des boues et sur l'effet de la température.

**2.1 Principe de la digestion des boues de STEP**

Le processus de méthanisation a lieu sous l'action de plusieurs groupes de microorganismes. La transformation de la matière organique en méthane est généralement fractionnée en quatre phases successives : hydrolyse, acidogenèse, acétogenèse et méthanogenèse. Ces étapes sont illustrées par la figure II.1 (Buffière, 2009). L'hydrolyse et l'acidogenèse concernent la dépolymérisation des molécules complexes (comme les protéines, les graisses, les hydrates de carbone) par une action enzymatique suivie de leur fermentation rapide en acides aminés, acides gras et acides organiques. L'acétogenèse concerne la conversion de ces différents acides en acide acétique, qui est l'un des précurseurs du méthane dans la chaîne trophique. La méthanogenèse conduit à la formation de méthane soit à partir de l'acétate (voie acétotrophe) soit à partir de l'hydrogène (voie hydrogénotrophe). Dans le cas de la digestion des boues, les principales étapes limitantes sont l'hydrolyse et ensuite la méthanogenèse (Mahmoud, 2004).

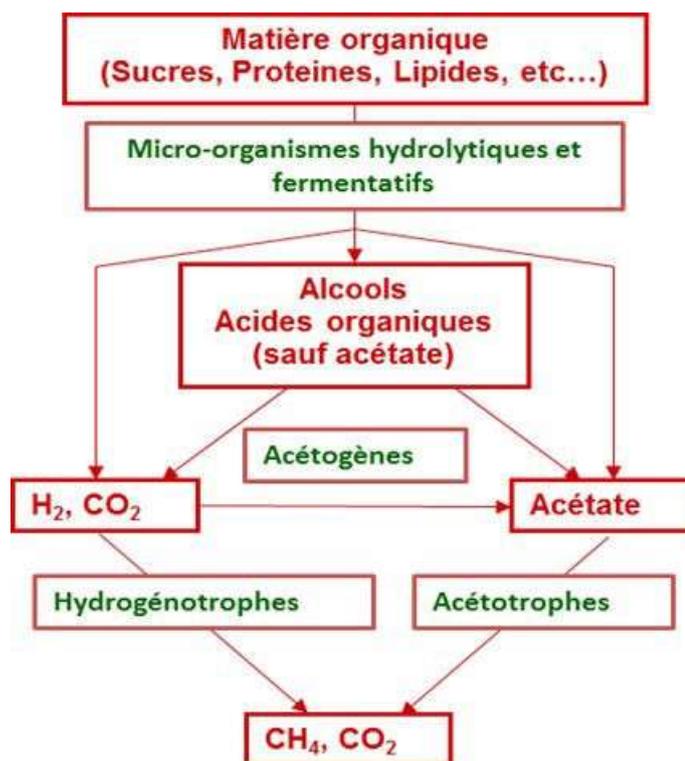


Figure II.1 : Principales étapes de la digestion anaérobie.

### 2.1.1. Paramètres influençant la digestion

Comme tout processus biochimique, la méthanisation dépend des conditions environnementales de mise en œuvre du procédé. S'agissant des boues de station d'épuration, dont la digestion est assurée par des systèmes continus et infiniment mélangés, les principaux paramètres à régler sont :

- La température du procédé ;
- La charge appliquée (souvent exprimée en flux de matières volatiles par rapport à un volume de réacteur) ;
- Le temps de séjour hydraulique (TSH), qui correspond au temps de séjour moyen des boues dans le réacteur et qui est exprimé comme le rapport entre le volume utile et le débit.

Ces deux derniers paramètres sont cependant liés. En effet, pour un même type de boues, l'augmentation de la charge (et donc du débit) se traduira par une diminution du temps de séjour. Mais si nous raisonnons en termes de dimensionnement, nous pouvons trouver des critères de « charge nominale » ou de « temps de séjour minimal » pouvant être prépondérants en fonction en particulier de la nature et de la concentration des boues.

**2.1.1.1. Influence de la température**

La température dans le réacteur est un paramètre très important car, pour chaque gamme de température, des microorganismes différents seront présents dans le milieu. Il existe deux gammes de températures utilisées dans l'industrie : la gamme mésophile (35-40°C) et la gamme thermophile (55- 60°C). Il est également relevé que ces deux zones de fonctionnement seraient des optima de fonctionnement pour la méthanisation (Van Lier, 1993). Le fonctionnement en mode thermophile serait de l'ordre de deux fois plus rapide par rapport au mode mésophile (Kim, 2002). Cette hypothèse des optima de fonctionnement implique une diminution, puis une ré-augmentation de l'activité biologique entre 35° et 55°. Elle n'est toutefois pas forcément évidente à justifier. D'une part, la loi d'Arrhénius précise que tout processus de transformation est accéléré par la température. D'autre part, les données de Pfeffer, 1974 entre 35°C et 60°C montrent une augmentation continue des vitesses de dégradation.

S'il est clair que chaque micro-organisme possède un système enzymatique ayant une température optimale de fonctionnement, il faut également noter que la digestion anaérobie est réalisée par un consortium microbien très varié en termes d'espèces présentes. Il est donc très possible de trouver un certain nombre d'espèces capables de croître préférentiellement à des températures intermédiaires. L'analyse de la diversité microbienne dans plusieurs réacteurs à 35°C, 49°C et 53°C et 57°C met en effet en évidence la prédominance de plusieurs groupes distincts de microorganismes en fonction de la température (Wilson, 2008). Les vitesses d'hydrolyse de boues primaires entre 15 et 35°C ont également été mesurées et semblent suivre la loi d'Arrhénius (Mahmoud, 2004), avec des constantes de vitesses augmentant d'un facteur 2 tous les 10°C.

(Zinder, 1983) explique qu'au-delà de 60°C, ce sont les bactéries méthanogènes qui ne parviennent plus à se développer correctement, le réacteur s'acidifie et la production de biogaz chute. En revanche, il conclut qu'un accident de température sur quelques jours n'implique pas forcément une perte de la population bactérienne. Lin 1987, propose des travaux sur la conversion d'un digesteur mésophile en thermophile. L'acclimatation dure cinq temps de séjour (passage de 16 jours à 10 jours). Cette étude propose également d'étudier la digestion avec le modèle de Monod pour ainsi prendre en compte le paramètre température. Bien que très intéressant, nous ne choisirons pas de développer cette idée dans nos travaux.

Il existe davantage de références sur ce paramètre pour la méthanisation des déchets organiques que pour la digestion des boues de station d'épuration. (Bouallagui, 2003) étudie la digestion des déchets de cuisine. Il montre que la production de méthane en digestion thermophile est de 40% supérieure à la digestion mésophile pour les mêmes charges et temps de séjour, ce qui rejoint notre propos ci-dessus sur l'augmentation de la vitesse d'hydrolyse avec la température. En effet, l'hydrolyse est généralement l'étape limitante de la digestion. (El Mashad, 2004) explique dans ces travaux sur la digestion thermophile de fumier de vaches que pour des accidents de température, les bactéries méthanogènes sont plus affectées par des hausses de température que par des diminutions. Par ailleurs, il indique que la production de biogaz chute à partir de 60°C. (Ahring, 2001 et Kim 2002) font des constats similaires.

Le paramètre température pour la méthanisation des boues demeure cependant peu étudié dans la bibliographie, à l'exception de comparatifs effectués entre digestion mésophile et digestion thermophile.

#### **2.1.1.2. Charge appliquée et temps de séjour**

La question du dimensionnement des digesteurs de boues nécessite de régler d'une part la charge et le temps de séjour. La digestion des boues peut être limitée par deux étapes lors du processus de digestion (Miron, 2000) :

- La vitesse d'hydrolyse des polymères ;
- La vitesse de l'étape de méthanogénèse.

Il n'existe pas de comparatifs réels de ces vitesses en fonction de la température dans la bibliographie. Ainsi, il n'est pas aisé de savoir quelle sera l'étape limitante. C'est pour cela que la plupart des constructeurs de digesteurs de boues mixtes se basent sur les éléments de dimensionnement suivant :

- Une charge appliquée de 1.5 kgMV/m<sup>3</sup>/j et un temps de séjour d'au moins 25 jours pour un digesteur fonctionnement en mode mésophile ;
- Une charge appliquée de 2.5 kgMV/m<sup>3</sup>/j et un temps de séjour d'au moins 20 jours pour un digesteur fonctionnant en mode thermophile.

Abaisser le temps de séjour par rapport à ces bonnes pratiques des constructeurs permet d'avoir soit des ouvrages plus petits et donc d'économiser le coût lié au génie civil, soit d'augmenter la capacité de traitement. Généralement, les digesteurs de station sont en sous-capacité afin de pallier à la future demande de traitement et fonctionnement donc

avec des temps de séjour comme indiqué ci-dessus. (Miron, 2000)

### 2.1.1.3. Nature et digestibilité des différentes boues de la STEP

La station d'épuration peut produire différents types de boues.

- Les boues primaires : elles sont issues de la décantation directe de l'effluent brut (généralement après une étape de dégraissage / dessablage).

- Les boues secondaires (ou boues biologiques) qui sont issue de l'étape de clarification située après le bassin biologique.

- Les boues mixtes, qui sont un mélange des boues primaires et biologiques.

Au-delà de ces catégories de boues, des différences peuvent apparaître en termes de nature et d'aptitude à la digestion. Les boues primaires sont généralement plus faciles à dégrader, et la digestion permet d'atteindre des abattements en matières volatiles supérieurs à 50%. *A contrario*, les boues secondaires sont moins faciles à dégrader : abattement de l'ordre de 30% en matières volatiles (Couturier, 2001).

Ces propriétés sont à relier aux opérations unitaires mises en jeu : lors de l'aération, une partie du carbone facilement biodégradable est minéralisée et l'autre est convertie en matériau cellulaire en raison de la croissance microbienne, rendant ainsi moins aisé leur aptitude à la digestion. La digestibilité des boues biologiques diminue en fonction du temps de séjour dans le bassin biologique : les boues de forte charge seront ainsi les plus faciles à digérer, tandis que les boues d'aération prolongée seront les moins biodégradables.

A ce jour, il n'existe pas d'étude de caractérisation de la digestibilité des boues issues du procédé A/B.

Il est toutefois possible d'imaginer un comportement intermédiaire entre celui des boues primaires et celui des boues biologiques, dans la mesure où le temps de contact dans le procédé A est très court (peu de minéralisation du carbone) et que celui du procédé B s'apparente à celui d'une boue à moyenne charge.

### 3. Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues

La valorisation des boues de stations d'épuration des eaux usées est devenue une préoccupation du monde entier, vue l'augmentation de leur production et leur composition diversifiée qui leur révèlent un intérêt économique et environnementale important. Cette valorisation permet de faire passer les boues de STEP d'un statut de "déchet" au statut de "produit", elle est donc une nécessité primordiale pour la protection de l'environnement. (Rachida, 2016)

**3.1. Valorisation énergétique par combustion**

Les boues de stations ne sont pas auto-combustibles, elles nécessitent un mélange avec d'autres déchets tels que les déchets ménagers pour qu'elles puissent être incinérées dans des fours spécifiques, et traitées dans des installations de traitement thermique de déchets non dangereux.

L'incinération consiste à la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant de la chaleur qui 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. (Rachida, 2016)

**3.2. Stockage en installations de stockage de déchet non dangereux (ISDND)**

L'intérêt du stockage des boues en ISDND réside dans la valorisation éventuelle du biogaz produit par la fermentation anaérobie des boues ces derniers. Le lieu de stockage doit être confiné et on ignore quel peut être le devenir à long terme, ni la durée du confinement malgré toutes les précautions.

Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines. (Rachida, 2016)

**4. 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<sub>4</sub>), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et de quelques gaz traces (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)]qui est source d'énergie renouvelable et d'un digestat utilisé comme fertilisant(Loubna, 2016).

**4.1. Les principales phases du processus de méthanisation**

La digestion anaérobie (méthanisation) se déroule en trois étapes principales : l'hydrolyse l'acidogène, la cétogène et la méthanogène. Chaque étape fait appel à des micro-organismes différents.

La digestion anaérobie est catalysée par des régimes de températures plus ou moins élevés, mésophile (32°-42°C) ou thermophile (50-57°C), favorables aux cinétiques biochimiques. Sous l'action de populations microbiennes, la matière organique subies des transformations successives jusqu'à la production finale de CH<sub>4</sub>. La transformation de la matière organique se fait en trois phases principales. (Loubna, 2018)

**4.1.1. Hydrolyse et acidogènes :**

La première phase dite d'hydrolyse et d'acidogènes est assurée par des bactéries hydrolytiques. Ces bactéries transforment la matière organique complexe en composés plus simples, à savoir des acides gras volatils (AVG) (acide acétique,...) et des alcools (méthanol, éthanol...). On observe également la production d'hydrogène (H<sub>2</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) résultant de la réduction des lipides et des protéines.

**4.1.2. Acétogénèse :**

Au cours de la seconde phase, les produits de l'acidogène sont convertis en acétates (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) et en hydrogène (H<sub>2</sub>).

**4.1.3. Méthanogènes :**

Au cours de la troisième phase, des bactéries méthanogènes hydrogénophiles réduisent le CO<sub>2</sub> en méthane CH<sub>4</sub> en utilisant l'hydrogène et les bactéries méthanogènes acétoclastes transforment l'acétate en CH<sub>4</sub>.

A la fin de la digestion, on se retrouve avec du biogaz, majoritairement composé de CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>, et un substrat digéré, le digestat.

## 5. Le biogaz

### 5.1. Composition du biogaz

Provenant de la fermentation anaérobie de la matière organique, le gaz de décharge est composé principalement du méthane (~55%) et du gaz carbonique (~40%), et est généralement saturé en vapeur d'eau. Il contient également d'autres gaz issus de la fermentation présents en traces, (H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, mercaptans, ...) ou les composés qui se trouvent dans des déchets et qui sont aspirés avec le biogaz (hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, composés halogénés, siloxanes, métaux sous forme volatile, ...) (ADEME 2001, Allen 1997, Christensen 1996)

Méthane (CH<sub>4</sub>) – c'est un gaz inodore et incolore, plus léger que l'air. Il est inflammable : entre 5% et 15% de concentration volumique (v/v) dans l'air le mélange gazeux est explosif.

Pouvoir Calorifique Inférieur volumique du méthane = 35,88 MJ/m<sup>3</sup> , pci massique = 50,04 MJ/ kg.

Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) – c'est un gaz inodore et incolore, plus lourd que l'air. Il n'est ni inflammable ni toxique. En revanche, il diminue la teneur en oxygène ce qui peut provoquer l'asphyxie.

Hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) – c'est un gaz avec une odeur caractéristique dite « d'œuf pourri » (détectable à partir de 0,7 ppm, à partir de 150 ppm il inhibe l'odorat), plus lourd que l'air. Il est inflammable et très toxique. Il provoque nausées, céphalées et vomissements. A haute concentration (>700 ppm) il affecte le système nerveux central et provoque la mort.

Mercaptans (S<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) – ce sont des composées organiques soufrés qui sont très malodorants et souvent toxiques.

Composés organiques volatils (COV : hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, composés halogénés) – certains COV sont toxiques, en particulier le benzène qui est cancérigène. En ce qui concerne l'influence sur l'environnement, les composés halogénés sont les composants traces les plus nocifs. Les composés chlorés provoquent la corrosion accélérée des moteurs.

### 5.2. Caractéristique physique

Selon sa composition, le biogaz présente des caractéristiques qu'il est intéressant de comparer au gaz naturel et au propane. 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. (Ioubna, 2018).

**Tableau II.1** : Caractéristique physique du biogaz comparé au gaz naturel

Types de gaz	Biogaz	Gaz naturel
Composition	60% CH <sub>4</sub> 33% CO <sub>2</sub> 1% N <sub>2</sub> 0% O <sub>2</sub> 6% H <sub>2</sub> O	97% CH <sub>4</sub> 2,2% C <sub>2</sub> 0,3% C <sub>3</sub> 0,1% C <sub>4</sub> <sup>+</sup> 0,4% N <sub>2</sub>
PCS KWH/m <sup>3</sup>	6,6	11,3
PCI KWH/m <sup>3</sup>	6	10,3
Densité	0,93	0,57
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1,21	0,73
Indice de Wobbe	6,9	14,9

### 5.3. Valeur énergétique du biogaz

PCI : le pouvoir calorifique inférieur d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète de l'unité de combustible. On parle de PCI lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état vapeur. (Ioubna, 2018)

**Tableau II.2** : Pouvoir calorifique du biogaz selon sa teneur en méthane

Teneur en méthane	PCS	PCI
50%	5,5	5
60%	6,6	6
70%	7,7	7

**6. Stockage du biogaz**

Le biogaz est normalement valorisé en continu. Le stockage du biogaz, soit au niveau du système digesteur/postdigeur, soit dans un gazomètre, permet notamment de réguler l'équilibre entre la production du biogaz et son utilisation.

Il sert ainsi à absorber le surplus de production ou à conserver le biogaz en cas d'arrêt des dispositifs de valorisation (moteur cogénération, épuration, injection réseaux etc.).

Il permet également de limiter les émissions de biogaz à l'atmosphère et les quantités brûlées (torchage). (Guide, 2018).

**7. Production et utilisation du biogaz**

Une fois le biogaz produit, autant le valoriser le plus efficacement possible. Différentes voies sont envisageables : chaleur seule, électricité seule, cogénération, carburant automobile, injection dans le réseau de gaz naturel. Quatre modes de valorisation énergétique sont aujourd'hui exploités :

**7.1. La production de chaleur :**

Brûler du biogaz sous chaudière ou en four est la voie de valorisation la plus ancienne, la mieux maîtrisée et la plus courante. La teneur en CH<sub>4</sub> du biogaz peut descendre jusqu'à 20% et les contraintes d'épuration sont légères. Une désulfuration (visant à éliminer le soufre peut cependant s'avérer nécessaire si la teneur en H<sub>2</sub>S conduit à des rejets soufrés excessifs dans les fumées. Elle s'effectue généralement par passage sur charbon actif ou traitement à l'hydroxyde ferrique). On utilise des brûleurs spéciaux adaptés à la combustion du biogaz, alimentés avec une surpression supérieure ou égale à 300 Mbar. Ces brûleurs, qu'on trouve couramment sur le marché, ont des injecteurs de plus grand diamètre que les brûleurs à gaz habituels et leur fonctionnement est moins souple. Mais le problème le plus délicat est celui que posent les risques éventuels de corrosion dus à la présence conjointe de vapeur d'eau, d'hydrogène sulfuré.(Ioubna,2018)

**7.2. Le biogaz carburant :**

Pour cette application, les spécifications de pureté du gaz sont beaucoup plus sévères que pour les précédentes, puisque le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96% de méthane. Il faut en outre que le point de rosée soit inférieur à -20°C, ce qui correspond à une teneur en eau inférieure à 15 mg/m<sup>3</sup>. D'autres exigences sont à respecter, teneur en H<sub>2</sub>S inférieure à 100 mg/m<sup>3</sup>, en huile inférieure à 70- 200

ppm, en hydrocarbures liquides inférieure à 1 %, avec une taille de poussières limitée à 40 microns.( loubna,2018)

### **7.3. L'injection dans le réseau:**

La composition finale du biogaz injectable ainsi que sa pression dépendent évidemment des spécifications imposées par le gestionnaire du réseau. Ces dernières portent principalement sur les teneurs en méthane, en gaz carbonique, en hydrogène sulfuré et en oxygène. Le gaz injecté doit en outre être odorisé avant l'injection. (loubna,2018)

### **7.4. La production d'électricité :**

La production d'électricité seule ou en cogénération peut s'effectuer avec une chaudière au biogaz, suivie d'une turbine à vapeur. Cette voie très classique pose peu de problèmes techniques et les contraintes d'épuration du biogaz sont celles que réclament les chaudières. L'autre voie, consiste à installer des moteurs à gaz, soit à étincelles, soit dual-fuel.

Ces derniers sont plus lents, plus souples, plus durables, mais ils sont aussi environ deux fois plus chers. Les moteurs exigent un biogaz contenant au moins 40% de méthane.(loubna,2018)

### **7.5. Production de froid :**

L'utilisation de biogaz peut également alimenter une unité de tri-génération pour produire simultanément trois types d'énergie : la chaleur, l'électricité et le froid.C'est un mode de valorisation du biogaz qui est encore peu utilisé mais qui a de l'avenir. Le froid est produit à partir de la chaleur, selon l'une des deux techniques suivantes : la compression ou l'absorption.( loubna,2018)

## 8. Avantages et inconvénients du biogaz

Le biogaz est un biocarburant présentant de nombreux avantages :

- réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- réduction de certains microbes dans les effluents agricoles (coliformes notamment) ;
- substitut à d'autres énergies exogènes (fossiles et nucléaire), source de revenus pour l'exploitant qui économise sur ses dépenses énergétiques et/ou, de plus en plus vend son énergie ;

- diminution de la charge en carbone des déchets végétaux. Une fois digérés, les déchets sont moins nocifs pour l'environnement, le risque d'une pollution biologique ou organique est en outre largement amoindri, et la fermentation diminue le pourcentage de matière sèche, permettant de diminuer le volume à transporter et épandre ;

- le fumier est traité gratuitement par des agriculteurs qui le récupèrent en fin de cycle, après avoir produit du méthane, de meilleure qualité car il ne brûle plus les plantes, il est purifié par rapport à certaines maladies et la totalité des semences de mauvaises herbes qu'il pouvait contenir sont détruites ;

- Il peut aussi être injecté sur le réseau de gaz naturel moyennant épuration. C'est la solution qui offre le meilleur rendement énergétique, si le réseau est assez proche du point de production. Cette solution est maintenant soutenue par les opérateurs de réseaux, qui envisagent même 100 % de gaz vert en 2050.

- Avec tous ses avantages le biogaz présente certains inconvénients :
- en raison de la présence d'H<sub>2</sub>S, le biogaz est un gaz explosif, corrosif et toxique.

Un minimum de précaution doit être pris pour éviter la dégradation rapide des matériaux et risques pour les personnes ;

- le biogaz est malodorant, en lien avec l'H<sub>2</sub>S qui le compose (le soufre est connu pour son odeur d'œuf pourri), l'odeur n'est bien sur gênante qu'en cas de fuite dans l'installation.

- le biogaz prend beaucoup de place, il faut 1000 m<sup>3</sup> pour stocker l'équivalent de 700 litres de fioul soit 0,7 m<sup>3</sup>;

- le gaz produit doit être consommé au fur et à mesure de sa production, il est très difficile à stocker, à cause du volume qu'il occupe ;(loubna,2018)

## **Chapitre III : Partie expérimentale**

**1. Introduction :**

**2. Identification de la STEP de Beni Mered**

**2.1. Moyens humains**

**2.2 Condition de fonctionnement**

**2.3 Fonctionnement**

**2.4 Conditions de charge et de débit de l'effluents (cahier des garanties)**

**2.5 Traitement des Eaux**

**3. Protocole expérimental : Influence de la température et le temps sur la production de biogaz :**

**3.1 la température :**

**3.2 le Temps :**

**4. Dispositif expérimental :**

**4.1 Première expérience : Etude de la digestion anaérobie des boues aux températures de 37°C et 55°C**

**4.2 Deuxième expérience: Etude qualitative de la production du biogaz**

**4.3 Résultat et discussion :**

**1. Introduction :**

L'objectif de ce travail est de procéder à la production de biogaz à partir de boue de la STEP du Beni Mered.

**2. Identification de la STEP de Beni Mered**

La station d'épuration de Beni Mered fait partie des installations de protection de la wilaya de Blida.

Cette station construite sur 6 hectares, traite les eaux usées issues de la ville de Blida, sa capacité nominale à l'horizon 2015 est de 383 000EH. Pour un débit de pointe de 51 560m<sup>3</sup>/j.

La station d'épuration de Beni Mered est alimentée par deux postes de refoulement:

- Le PR 18 avec un débit de 4000 m<sup>3</sup>/h pour l'horizon 2015 et 6200 m<sup>3</sup>/h pour l'horizon 2030.
- Le PR 22 avec un débit nominal de 800 m<sup>3</sup>/h pour l'horizon 2015 et 1000 m<sup>3</sup>/h pour l'horizon 2030 .

Elle comprend 2 filières, l'une pour les eaux et l'autre pour les boues, son processus est le suivant :

- Prétraitement composé de 4 lignes de dégrillage fin automatique et 3 lignes de dessablage/Déshuilage.
- Traitement biologique : En aval de prétraitement, le procédé d'épuration par Boues activées à moyenne charge a été retenu, les effluents à traiter biologiquement sont répartis sur trois files de traitement : Deux files existantes et une nouvelle file, chaque file se compose de:
  - 1- Décanteur Primaire,
  - 2- Bassin d'Aération,
  - 3- Clarificateur et un poste recirculation / extraction des boues.
- Traitement de la contamination bactériologique par désinfection javel.
- Traitement des boues par extraction, mélange des boues, épaissement gravitaire, stabilisation aérobie, déshydratation mécanique par filtre à presse et stockage des boues déshydratées.

**2.1. Moyens humains**

OTV VEOLIA a pour mission d'identifier, de confirmer ou d'infirmer les postes de chacun des collaborateurs afin de préparer le transfert de l'exploitation à ONA. Une équipe d'exploitation a été créée en juillet 2018 et formée par OTV. Cette équipe est composée de 50 ouvriers, techniciens et ingénieurs supervisés par un directeur d'exploitation

La station d'épuration compte un personnel formé et adapté aux tâches quotidiennes

- Un chef de station qui veille à la bonne gestion de la station.
- Un responsable des PR qui assure la gestion des tâches attribuées au personnel.
- Un technicien d'exploitation qui a sous ses ordres un électricien, un automaticien, deux électromécaniciens et deux assistants électromécaniciens. Tous inspectent vérifient et interviennent pour régler toutes les anomalies ou dysfonctionnements liées aux équipements.
- Un deuxième technicien d'exploitation, qui a sous ses ordres une équipe de 4 opérateurs de quart, 4 opérateurs déshydratation et 4 agents polyvalents qui s'occupent de la supervision, production et l'entretien de la station avec trois jardiniers pour les espaces verts.
- Un troisième technicien d'exploitation avec 16 surveillants pompiste qui travaillent sur 4 postes de relevage.
- Une Equipe de laboratoire composée d'un responsable laboratoire et deux laborantins qui s'occupent des analyses et suivi procès de la station.
- Un magasinier, une secrétaire, un agent d'entretien, Un Chauffeur Poids lourd et chauffeur acheteur démarcheur.



**Figure III.1 : image d'un Bassin d'Aération de la STEP (rapport OTV,2019)**

## 2.2 Condition de fonctionnement

Les **STEP** pures fonctionnent en circuit fermé avec un apport d'eau négligeable.

**Tableau III.1 : condition de fonctionnement de la STEP de Beni Mared (rapport OTV, 2019)**

<b>Poste de relevage</b>	<b>3/5</b>
<b>Dégrillage fin</b>	3/4
<b>Déssableur /d"shuileur</b>	2/3
<b>File Eau</b>	
<b>Décanteur primaire</b>	1/3
<b>Bassin biologique</b>	1/3
<b>Clarificateur</b>	1/3
<b>File Boues</b>	
<b>Epaississeur</b>	1/1
<b>Stabilisateur</b>	0/2
<b>Déshydratation mécanique</b>	2/4

## 2.3 Fonctionnement

Le prétraitement : le prétraitement est fonctionnel sans aucun souci. Vu l'irrégularité des débits entrants dans la station depuis le PR 18 et le PR 22, les dégrilleurs fonctionnent en mode volume et la totalité de ce débit est envoyée vers la file 1 de traitement.

A présent dans le dessableur déshuileur, on récupère les graisses qui sont acheminées vers la bêche à graisse.

Pour les sables, la décantation est très faible et les volumes de sables obtenus sont insignifiants.

**Le décanteur primaire File 1:** le pont du décanteur primaire fonctionne en continu. Le faible débit favorise une décantation plus importante que prévue et un abattement prématuré de la charge.

L'extraction des boues primaires se fait à l'aide des vannes télescopiques, puis renvoyées vers la bêche de mélange.

**Le bassin biologique File 1:** les aérateurs fonctionnent en mode sonde 02. Après avoir redémarré la station en fin du mois de juin, le développement de la biomasse a été observée courant du mois de juillet.

Le clarificateur File 1: le fonctionnement est correct et la qualité en sortie est bonne. La recirculation des boues est maintenue à 150%.

**Traitement des boues :** Depuis le début du mois d'octobre 2018, les boues issues du décanteur primaire File 1 et les boues biologiques de la file 1 sont mélangées, épaissies et déshydratées. Provisoirement nous avons créé un système de tuyauterie avec un maillage par vannes pour by passé le bassin de stabilisation des boues qui n'est pas encore opérationnel. Ainsi les boues sont collectées dans une bêche en sortie de stabilisateur puis envoyées vers l'atelier de déshydratation.

**2.4 Conditions de charge et de débit de l'effluent (cahier des garanties)**

sous un tableau de synthèse permettant de comparer l'eau brute reçue ce mois avec les conditions minimums de constitution des effluents qui nous permettent de garantir le respect des valeurs de rejet contractuelles :

**Tableau III.2 : Conditions de charge et de débit de l'effluent (rapport OTV, 2019)**

Débit (m <sup>3</sup> /j)	39520	10612	27	20%-100%
MES (kg/k)	14080	5943	42	20%-100%
DBO5 (kg/j)	12870	5249	41	20%-100%
DCO (kg/j)	32614	23617	72	20%-100%
NTK (kg/j)	2405	1340	56	30%-100%
PT (kg/j)	515	155	30	30%-100%
MES (mg/l)	356	582	163	20%-150%
DBO5 (mg/l)	326	467	143	33%-150%
DCO (mg/l)	825	2210	268	33%-150%
NTK (mg/l)	61	124	203	33%-150%
PT (mg/l)	13	13.66	105	33%-150%
AZOTE kjeldahl (mg/l)	<140	124	/	<140
DCO/AZOTE kjeldahl	6<>20	17.82	/	6<>20
DCO/DBO5	<3.5	4.73	/	<3.5
DCO/PT	/	161.78	/	25-100
T réacteur bio (°)	/	18	/	>12

---

**2.5 Traitement des Eaux****2.5.1 Caractéristique des Eaux Brutes**

Nous avons observés et analysés les effluents reçus au niveau de la STEP de Béni Mered de la période du 01/12/2019 au 31/12/2019.

Le débit moyen reçu sur la STEP est de 10612 m<sup>3</sup>/ et représente 27 % du débit nominal prévu pour le dimensionnement (Soit 39 520 m<sup>3</sup>/). Les charges en MES, DBOS, DCO, Azote total, et phosphore total sont conformes aux charges prévues dans la pièce contractuelles No 10 Cahier des garanties souscrites et performances minimales exigées.

Notons également que l'effluent en entrée a un potentiel d'oxydoréduction négatif (potentiel redox atteint les - 343mv) et caractérise un milieu réducteur indicateur de septicité d'eau ou de fermentation. Très souvent, les teneurs en H<sub>2</sub>S atteignent les 10ppm au niveau de la bêche d'arrivée des eaux brutes.

Nous avons constaté l'arrivée d'effluents de couleur rouge avec une forte odeur d'huile d'olive. Les analyses de ces eaux révélaient des concentrations élevées du Chrome VI, Sulfures et les Tensioactifs principalement rejetés par les industriels de la région qui déversent probablement sans autorisation.

Les concentrations maximales du Chrome VI et tensioactifs enregistrées étaient respectivement de 2.52 mg/L et 88 mg/L le 26/12/2019

Le suivi analytique nous confirme qu'une fraction importante d'eaux usées industrielles est admise fréquemment au niveau de la station d'épuration de Béni Mered.

**3. Protocole expérimental : Influence de la température et le temps sur la production de biogaz :****3.1 la température :**

Comme pour toute réaction bactérienne, la température a une influence majeure sur les productions de biogaz. Si la température a une influence sur la qualité du biogaz produit et notamment son taux de méthane (cf article sur « Composition du biogaz et facteurs influant sa composition), elle a surtout une influence sur les cinétiques de production de biogaz.

Il faut noter que la réaction de méthanisation est très légèrement exothermique, mais cela ne suffit pas à entretenir la température de réaction : si l'on veut procéder à une méthanisation à une température supérieure à la température ambiante, il faut apporter au réacteur de la chaleur (qui peut être apportée via la combustion du biogaz).

**3.1.1 La méthanisation psychrophile**

On parle de méthanisation psychrophile lorsqu'il n'y a pas de système de chauffage du réacteur et que la réaction bactérienne se déroule à température ambiante (entre 5 et 25°C). Les cinétiques de production de biogaz sont alors variables en fonction de la température du milieu. On observe alors une production ralentie en hiver, mais toujours significative au-delà de 5°C. Les réacteurs enterrés, qui bénéficient d'une température constante de l'ordre de 12°C, permettent une production de biogaz toute l'année.

Dans les pays en développement, la méthanisation psychrophile est de loin la plus développée : en Chine, en Inde, mais aussi en Afrique et en Amérique du Sud, des milliers de digesteurs domestiques fonctionnent en psychrophile, pour la production de biogaz domestique (chauffage de l'eau, cuisson...)

En France, on rencontre de la méthanisation psychrophile notamment dans les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) : les déchets sont stockés dans des casiers étanches non chauffés ; leur dégradation anaérobie produit du biogaz. En France, en 2012, 70% de l'énergie primaire issue du biogaz l'est via le process psychrophile, majoritairement dans les ISDND.

La méthanisation psychrophile se déroule également naturellement dans toutes les unités de stockages d'effluents liquides chargés de matière organique (fosse septique, post-digesteur, silo de stockage de boues, fosse à lisiers...)

**3.1.2 La méthanisation mésophile**

On parle de méthanisation mésophile lorsque le réacteur de méthanisation est maintenu à une température à peu près équivalente à celle du corps humain : entre 35 et 40°C. C'est le fonctionnement le plus répandu, que ce soit pour des installations agricoles ou industrielles. En effet, les bactéries issues présentes dans les effluents d'élevages proviennent de l'estomac des animaux où la température est de 37°C.

La méthanisation mésophile permet d'avoir de bons rendements de digestion avec une très bonne stabilité du process bactérien. C'est cette robustesse qui séduit les exploitants d'unités de méthanisation.

**3.1.3 La méthanisation thermophile**

On parle de méthanisation thermophile lorsque la température de digestion est d'environ 55°C. La méthanisation thermophile apporte de nombreux avantages :

- Une digestion beaucoup plus rapide qu'en mésophile et donc la possibilité de réduire le temps de séjour (et donc la taille du digesteur et les coûts d'investissement).
- Hygiénisation plus poussée des germes pathogènes. Cela est particulièrement intéressant dans le cas de méthanisation de déchets soumis à hygiénisation où il est possible, dans certains cas, de ne pas avoir à investir dans un hygiéniseur.

La méthanisation thermophile amène certaines contraintes à ne pas négliger :

- La consommation de chaleur est importante : de l'ordre de 35% de la chaleur produite par le moteur (contre 20% en mésophile). Cela peut ne pas être un problème si la chaleur est produite en excès.
- Le process bactérien est moins stable et l'unité nécessite un pilotage plus pointu pour éviter tout arrêt de la réaction. (CDDAT, 2013)

### **3.2 le Temps :**

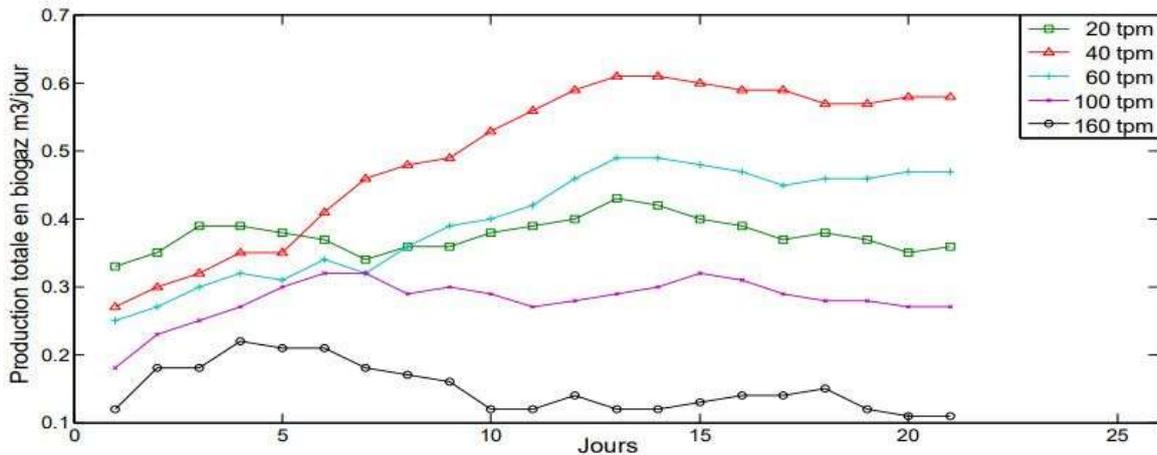
Dans la présente partie, on a évalué l'effet de différentes intensités d'agitation, soit de 20, 40, 60, 100 et 160 tr/min sur les paramètres de fonctionnement du procédé de la digestion anaérobie des déchets ménagers et assimilés

#### **3.2.1. Effet de l'agitation continue sur la production de biogaz**

On a constaté qu'il y a deux principales périodes à analyser. La première allant du 1er jour de démarrage du digesteur jusqu'au 5ème jour, elle correspond aux étapes d'hydrolyse, d'acidogénèse et d'acétogénèse. Lors de cette période, on a remarqué, que plus l'intensité d'agitation est faible, plus le débit de biogaz augmente, ceci a été confirmé par l'agitation de 20 tr/min, qui a affiché une production maximale de 0,4 m<sup>3</sup> /j. Dès lors, on peut déduire que cette phase demande un minimum d'immobilisation du substrat. Une forte agitation est donc un facteur limitant de cette étape du processus. La deuxième période dure à partir du 5ème jour jusqu'à la fin de l'expérimentation, elle concerne l'étape méthanogénèse, au cours de laquelle, une production maximale et stable a été constatée pour la digestion sous agitation de 40 tr/min, qui a atteint une valeur de l'ordre de 0,61 m<sup>3</sup> /j dès le 13ème jour (fig.III.1). Pour les intensités d'agitation de 20 et 60 tr/min, elles ont présenté un comportement assez similaire par rapport à l'évolution de la production du biogaz. Pour l'agitation à 100 tr/min, on a enregistré une faible diminution de la production du biogaz, qui est restée stable pour le reste de la fermentation. Quant à l'agitation à 160 tr/min, on a observé une production très faible du biogaz, avec une diminution progressive jusqu'à la fin de l'expérimentation, où elle a avoisiné les 0,10 m<sup>3</sup> /j,

Ceci est dû, en partie, à la formation d'une mousse couvrant la surface du digesteur, qui a été à

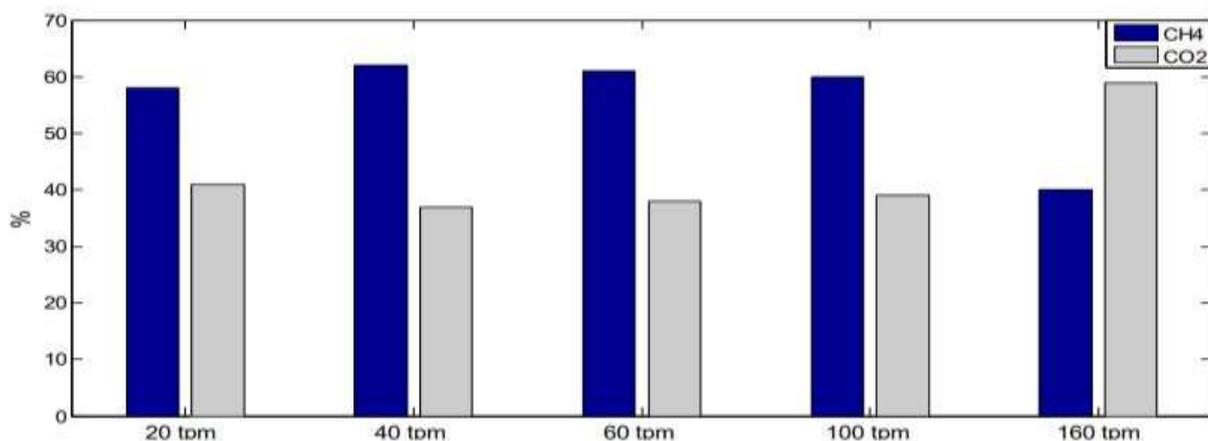
l'origine de la formation d'une couche mince avec les particules flottantes de déchets (Ong HK et all, 2002; Lindmark J et all, 2014).



**Figure III.2 : Evolution de la production de biogaz en fonction du temps pour la digestion anaérobie avec agitation continue**

L'analyse de l'évolution de la production du biogaz ainsi que celle du pH, approuve l'effet significatif de l'agitation sur l'efficacité du procédé, à savoir qu'une agitation peu intense peut optimiser le processus de la digestion anaérobie. (Lindmark.J et all 2014)

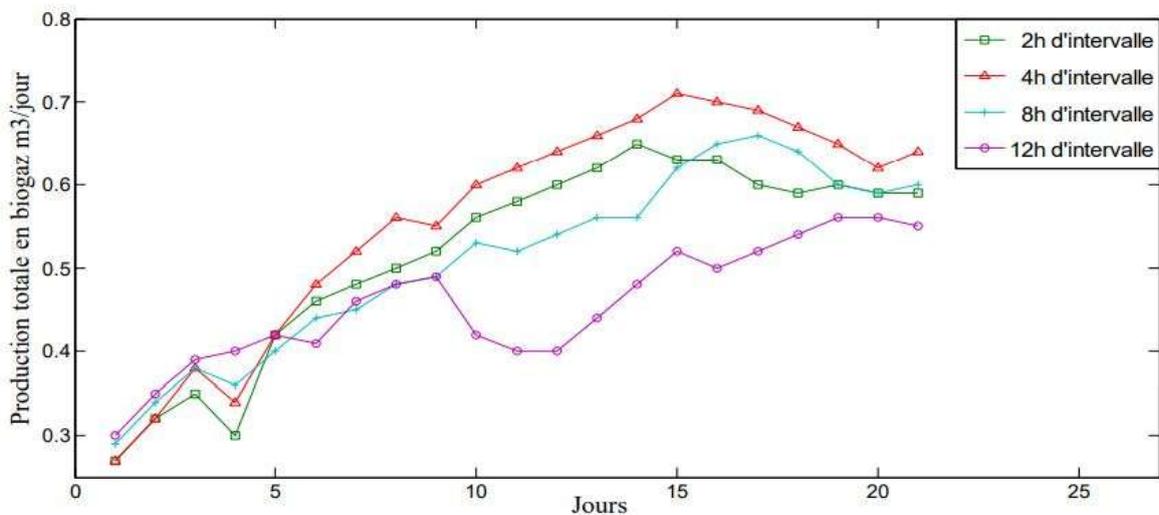
Cela a été bien appuyé par les résultats de la composition du biogaz, où on a eu un meilleur rendement du méthane attribué à l'agitation de 40 tr/min, avec 62% du méthane, suivie de celle de 60tr/min avec 61% du méthane. On trouve par la suite des rendements assez faibles de l'ordre de 57% pour l'agitation de 20 et 100 tr/min. Pour le cas de l'agitation à 160 tr/min, on a relevé un rendement très faible en méthane de 40%, ce qui a confirmé les résultats précédents sur le dysfonctionnement du processus. On peut alors affirmer que cette intensité d'agitation entraîne l'inhibition de la digestion anaérobie (Ganidi N et all, 2009; Subramanian B et all, 2014).



**Figure III.3 : Taux de méthane et de dioxyde de carbone en fonction de l'intensité d'agitation pour la digestion anaérobie avec agitation continue**

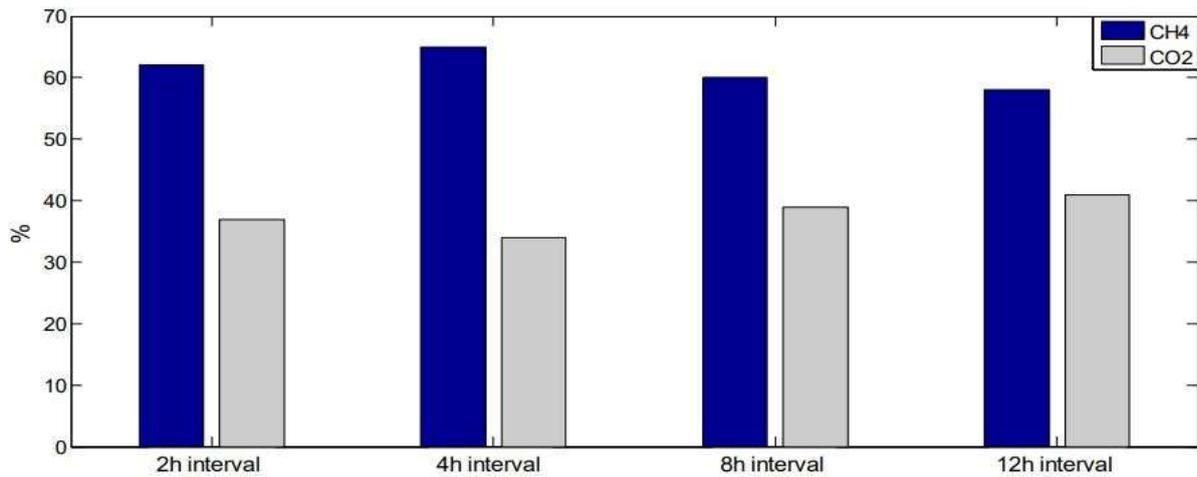
### 3.2.2 Digestion anaérobie avec agitation intermittente

Lors de cette étude, on a évalué l'effet de différents intervalles d'agitation allant de 2h, 4h, 8h jusqu'à 12h, sur les performances de la digestion anaérobie. Pour l'intensité d'agitation, on a choisie celle qui a présenté une production maximale de biogaz, ainsi qu'un rendement meilleur en méthane à savoir l'agitation à 40 tr/min. Pendant les six premiers jours, toutes les expériences avaient une production assez similaire. Après cette période, on a observé une variation par rapport à la production du biogaz, marquée d'une part, par une augmentation stable.



**Figure III.4 : Evolution de la production de biogaz en fonction du temps pour la digestion anaérobie avec agitation intermittente**

Ainsi, on a déduit que l'agitation intermittente a un effet sur le rendement du procédé, puisqu'on a remarqué que plus on augmente l'intervalle d'agitation, plus on met du temps pour atteindre la production maximale en biogaz (Sulaiman A et all, 2009; Kowalczyk A, 2013).



**Figure III.5 : Taux de méthane et de dioxyde de carbone en fonction de l'intervalle d'agitation**

Les résultats des expériences réalisées à l'échelle du laboratoire ont montré, que l'agitation a une influence significative sur les performances de la digestion anaérobie des déchets ménagers et assimilés. Lors de cette série d'expériences, on a procédé à la variation du mode, de l'intensité et de la fréquence de l'agitation afin d'évaluer leurs effets sur le comportement de la digestion anaérobie.

#### 4. Dispositif expérimental :

La suite du travail expérimental dans ce projet de fin d'étude a été interrompu suite à la pandémie du COVID 19 afin de pallier à ce manque de travail et de terminer notre mémoire on a procédé à la synthèse bibliographique de travaux antérieurs à savoir :

La première expérience de la thèse du doctorat par Mr Kerroum Derbal, digestion anaérobie des déchets solides mélanges avec les boues de station d'épuration, Université Mentouri constantine.

Et la deuxième expérience de la thèse du master par Selmane Hemza et Timtoucine Saddam, étude et réalisation d'un digesteur anaérobie pour la production de biogaz, Université Djilali Bounaama- Khemis Miliana, 2016/2017.

**4.1 Première expérience : Etude de la digestion anaérobie des boues aux températures de 37°C et 55°C**

Les deux digesteurs utilisés pour les cas mésophile (37°C) et thermophile (55°C) sont alimentés en substrat de boues journalièrement avec un volume de 22.5 litres, fonctionnant avec un même temps de rétention hydraulique de (HRT) de l'ordre de 20 jours, avec une charge organique moyenne à l'entrée (OLR) de l'ordre de 1.27 et 1.21 kg TVS/m<sup>3</sup> jour, respectivement. Durant le déroulement du processus expérimental, des analyses ont été réalisées sur les phases liquide et gazeuse, afin d'identifier les valeurs des principaux paramètres contrôlant le processus de digestion anaérobie et donc le suivi de la stabilité du système de traitement. Les résultats sont montrés dans les tableaux III.3 et III.4 pour le cas mésophile et III.5 et III.6 pour le cas thermophile où sont montrées les valeurs numériques des différents paramètres mesurés où calculés.

**Tableau III.3 : Caractéristiques de l'effluent à la sortie (boue seule à 37°C)**

Paramètres	moyenne	minimum	maximum	Dev. STD	Nombre Echant.
<b>PH</b>	<b>7.29</b>	<b>7.20</b>	<b>7.40</b>	<b>0.05</b>	<b>15</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg N/l)</b>	<b>483.33</b>	<b>450</b>	<b>525</b>	<b>32</b>	<b>6</b>
<b>TKN</b>	<b>36.04</b>	<b>32.43</b>	<b>37.45</b>	<b>2.04</b>	<b>5</b>
<b>DCO (kg DCO/m<sup>3</sup>)</b>	<b>18.13</b>	<b>16.38</b>	<b>19.40</b>	<b>1.15</b>	<b>5</b>
<b>DCOS (kg DCO/m<sup>3</sup>)</b>	<b>3.0</b>	<b>1.5</b>	<b>5.0</b>	<b>1.3</b>	<b>6</b>
<b>Ptot</b>	<b>732.02</b>	<b>665.77</b>	<b>758.67</b>	<b>38.43</b>	<b>5</b>
<b>ST</b>	<b>36.38</b>	<b>33.09</b>	<b>42.05</b>	<b>2.94</b>	<b>10</b>
<b>SVT</b>	<b>56.04</b>	<b>51.85</b>	<b>60.87</b>	<b>3.36</b>	<b>10</b>
<b>AGV</b>	<b>18.18</b>	<b>10.23</b>	<b>25.44</b>	<b>4.89</b>	<b>9</b>
<b>TA pH=6</b>	<b>1983.75</b>	<b>1880</b>	<b>2100</b>	<b>79.63</b>	<b>8</b>
<b>TA Ph=4</b>	<b>1233.75</b>	<b>1140</b>	<b>1320</b>	<b>56.30</b>	<b>8</b>
<b>Débit d'entrée</b>	<b>0.0225</b>	<b>0.0225</b>	<b>0.0225</b>	<b>0.0</b>	<b>25</b>

**Tableau III.4 : Caractéristiques de la capacité de production du biogaz à la sortie (boues seules à 37°C)**

Paramètres	moyenne	minimum	maximum	Dev. St	Nombre Echan.
Volume biogaz (m <sup>3</sup> /j)	0.0789	0.072	0.0862	0.01	11
SGP (m <sup>3</sup> biog/kg SVT)	0.14	0.11	0.16	0.01	11
GPR (m <sup>3</sup> biogaz/m <sup>3</sup> .j)	0.18	0.16	0.19	0.01	11
% CH <sub>4</sub> (%)	60.37	59.00	61.50	0.81	7
% CO <sub>2</sub> %)	39.63	38.50	41.00	0.81	7
Volume de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /j)	0.05	0.04	0.05	0.00	6
Volume de CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /j)	0.03	0.03	0.03	0.00	6
H <sub>2</sub> S (ppm)	170	100	200	35.48	7

**Tableau III.5 : Caractéristiques de l'effluent à la sortie (boue seule à 55°C)**

Paramètres	moyenne	minimum	maximum	Dev. STD	Nombre Echant.
pH	7.778	7.7	7.89	0.05	19
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N/l)	4	4	4	0	2
TKN (mg N/l)	33.40	28.86	37	2.43	9
DCO (kg DCO/m <sup>3</sup> )	20.26	18.31	23.34	1.86	9
DCO (kg DCO/m <sup>3</sup> )	4.28	2.0	7.0	1.95	7
Ptot (mg P/g ST)	748.38	653.63	851.61	82.07	10
ST (g/l)	31.80	25.35	35.23	2.70	16
SVT (g/l)	16.64	14.08	17.82	1.06	16
SVT (%ST)	52.54	46.67	59.26	3.67	16
AGV (mg DCO/l)	16.586	4.005	39.112	9.93	18
TA pH=6(mgCaCO <sub>3</sub> /l)	2152.44	1989.9	2440	137.79	19
TA pH=4(mgCaCO <sub>3</sub> /l)	3641.51	3396.9	3962.56	159.53	19
Débit d'entrée (m <sup>3</sup> /j)	0.0225	0.0225	0.0225	-	-

**Tableau III.6 : Caractéristiques de la capacité de production du biogaz à la sortie (boue seule à 55°C)**

Paramètres	moyenne	minimum	maximum	Dev. STD	Nombre Echant.
Volume biogaz (m <sup>3</sup> /j)	0.1772	0.111	0.236	0.03	13
SGP (m <sup>3</sup> biog/kg SVT)	0.33	0.75	0.44	0.05	11
GPR (m <sup>3</sup> biogaz/m <sup>3</sup> .j)	0.39	0.25	0.52	0.06	11
% CH <sub>4</sub> (%)	64.44	61.3	67.8	1.69	13
% CO <sub>2</sub> %)	35.56	32.2	38.7	1.69	13
Volume de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /j)	0.1188	0.0529	0.1489	0.01	13
Volume de CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /j)	0.0651	0.0529	0.0871	0.01	13
H <sub>2</sub> S (ppm)	594	420	760	106.59	13

D'après les tableaux ci-dessus les valeurs des paramètres mesurés indiquent la stabilité du digesteur ainsi que l'absence de phénomène d'inhibition.

#### 4.2 Deuxième expérience: Etude qualitative de la production du biogaz

Pour cette expérience, A été faite un digesteur plus évolué et d'une capacité plus importante. Il est équipé de tous les éléments nécessaires à la production du biogaz, à sa purification, à son stockage et à son utilisation comme le montre la figure (III-6).



**Figure III-6 :** Dispositif expérimental

#### **4.2.1. Paramètres de la fermentation**

Dans cette expérience a été choisi deux paramètres.

Ces deux paramètres sont :

1. L'agitation qui permet entre autres d'homogénéiser les conditions du milieu, de prévenir contre l'acidification complète du milieu, de maîtriser le transfert de matières, et de multiplier les contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée.

2. L'épuration du biogaz car ce dernier est un mélange corrosif pour certaines utilisations. Une des techniques d'épuration utilisées est l'épuration par passage du biogaz à travers la chaux, en vue d'une déshydratation et d'une élimination du CO<sub>2</sub>.

##### **4.2.1.1 Volume de biogaz produit en fonction du temps**

Sur la figure (III-7), il représente le volume de biogaz produit en fonction du temps dans un digesteur dont la température du substrat est maintenue à 30 °C. Ces relevés ont été réalisés du 25/03/2017 au 01/04/2017.

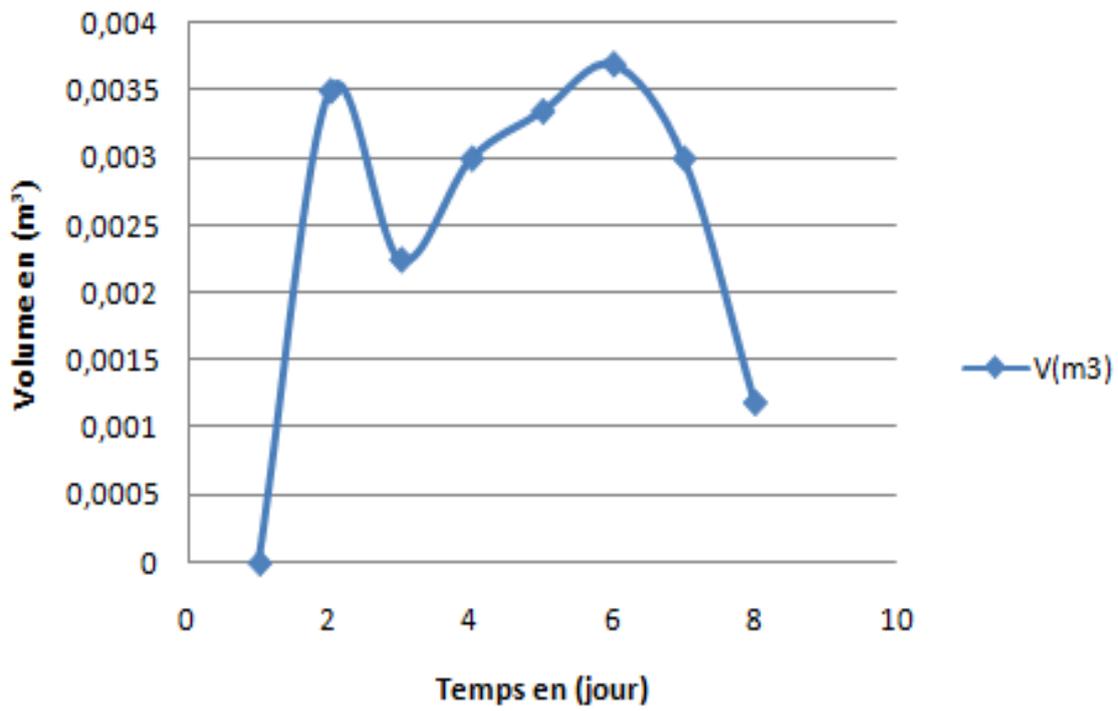


Figure III-7 : Relevé de volume pendant 8 jours à  $T_{int}= 30\ ^\circ C$

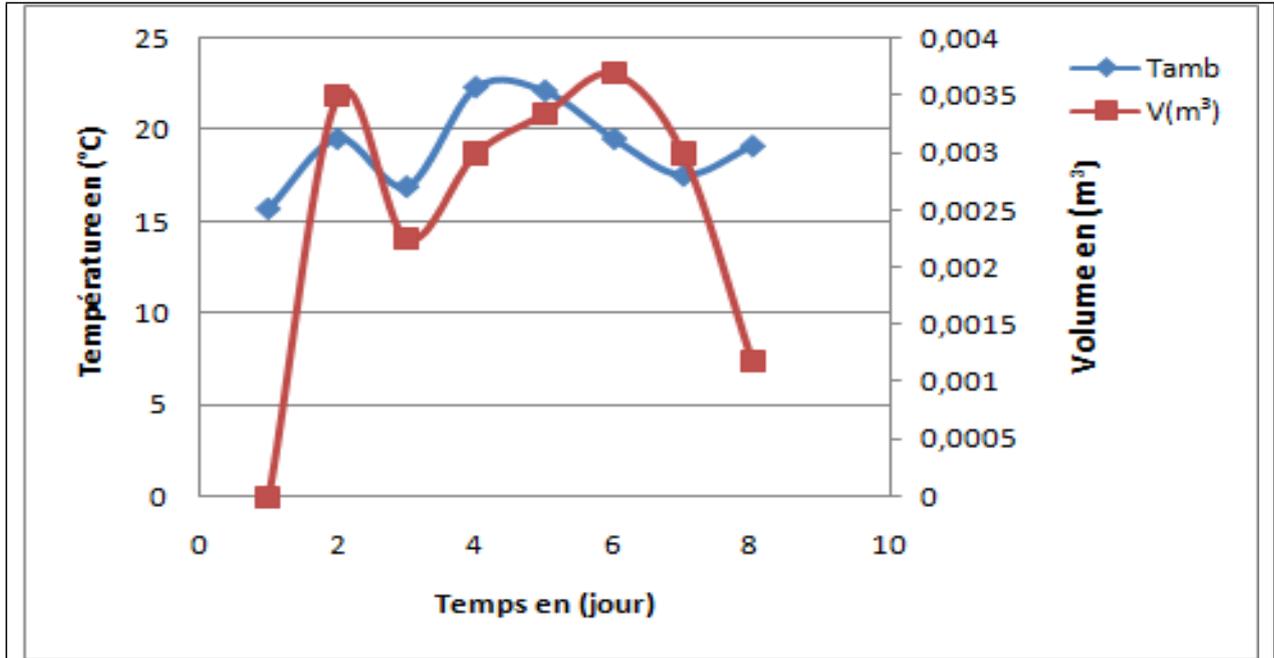


Figure III-8 : Relevé de température et de volume pendant 8 jours à  $T_{int}= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

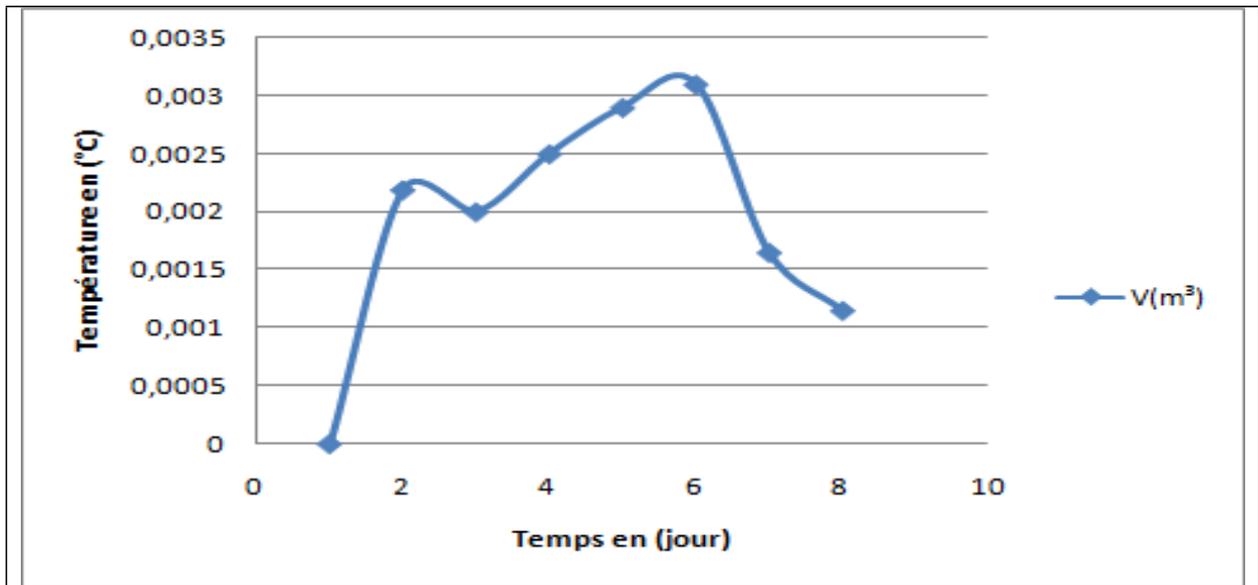


Figure III-9 : Relevé de volume pendant 8 jours à  $T_{int}= 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

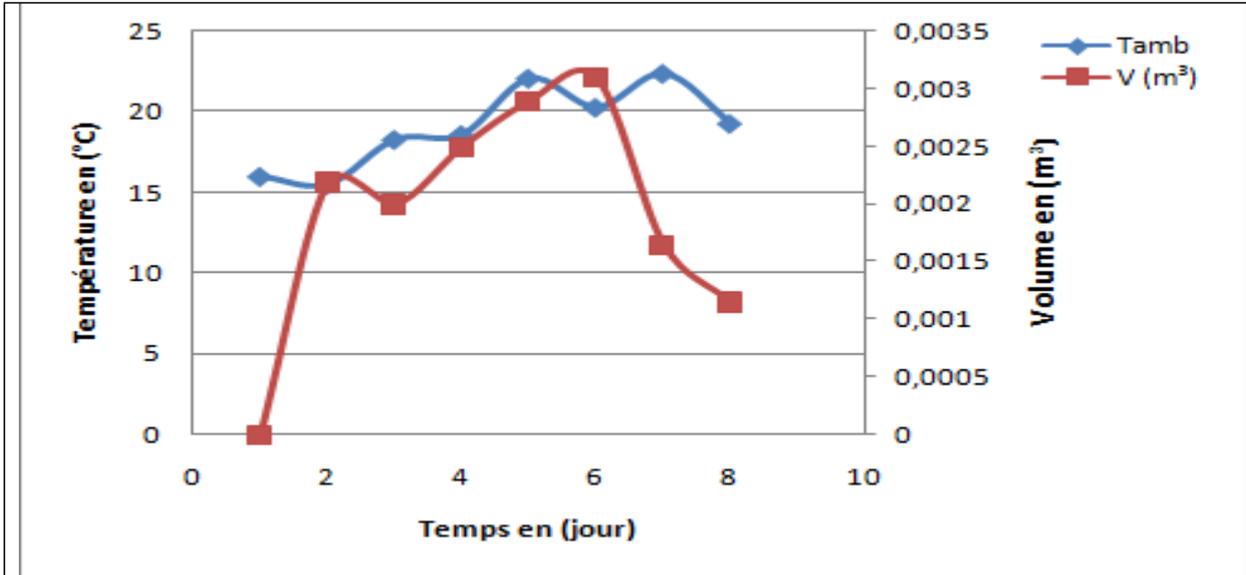


Figure III-10 : Relevé de température et de volume pendant 8 jours à  $T_{int}= 35^{\circ}C$

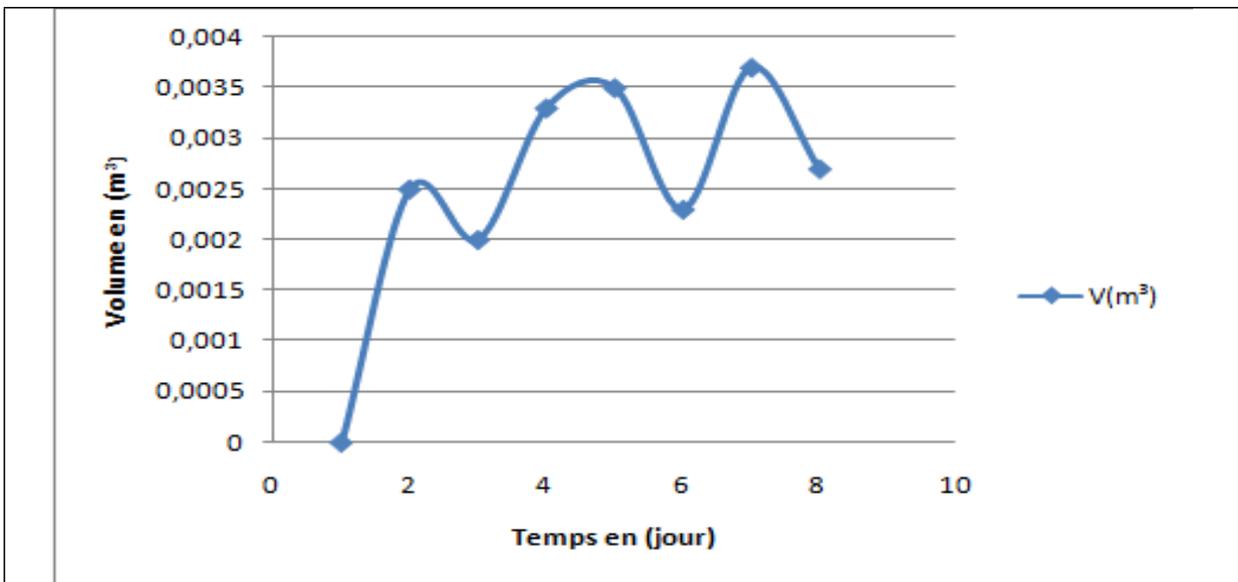
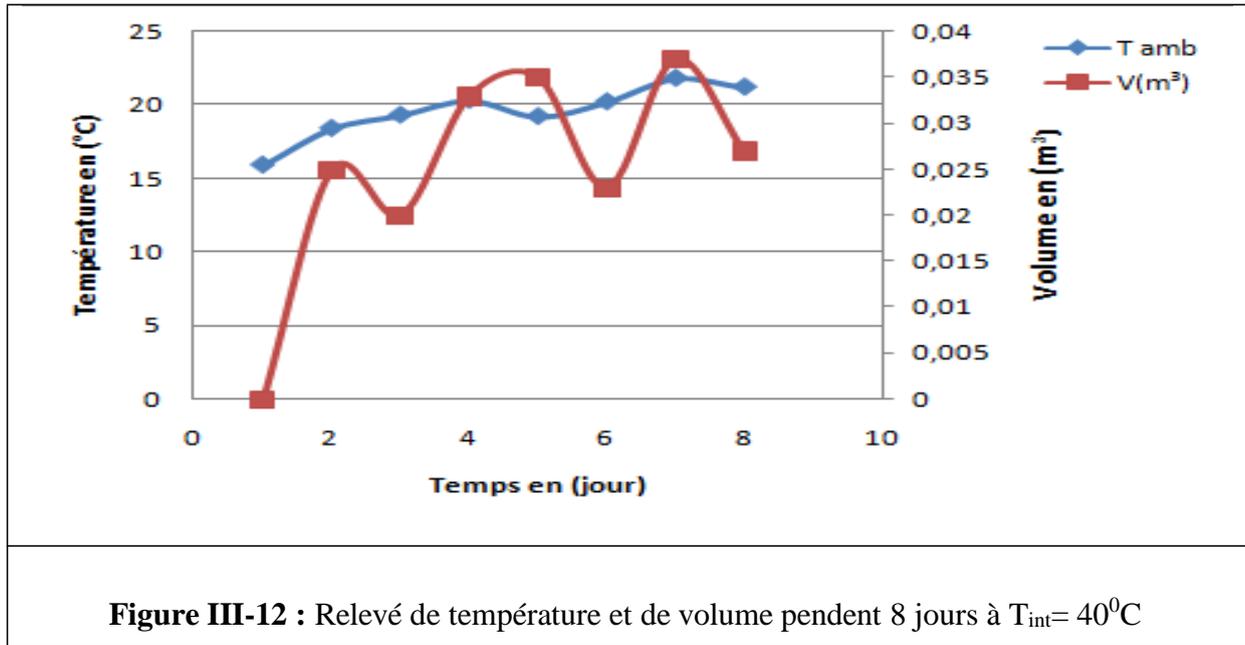
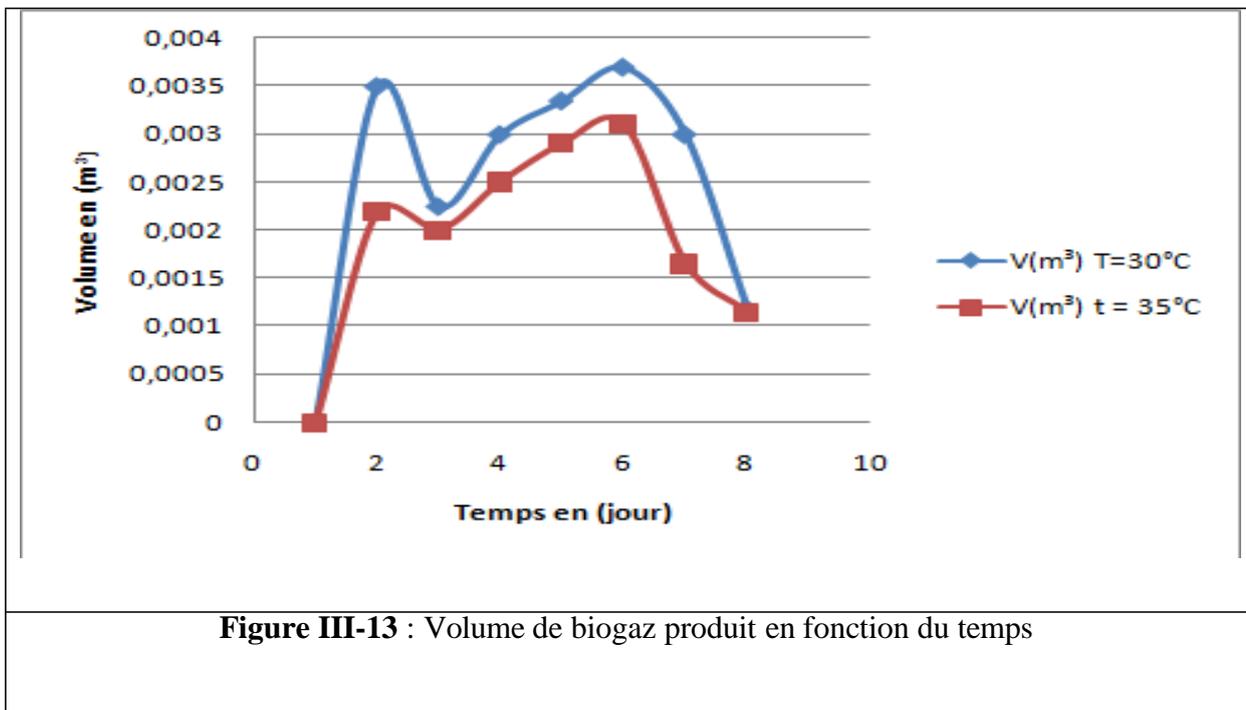


Figure III-11 : Relevé de volume pendant 8 jours à  $T_{int}= 40^{\circ}C$ .



#### 4.2.2. Volume de biogaz produit en fonction du temps et de la température

Sur la figure (III-13), il représente le volume de biogaz produit en fonction du temps dans deux digesteurs dont la température du substrat est maintenue respectivement à 30°C et 35 °C. Ces relevés ont été réalisés du 25/03/2017 au 01/04/2017.



**4.3 Résultat et discussion :**

En raison de virus covid-19, nous n'avons pas pu utiliser le laboratoire pour faire l'expérience, nous avons donc recouru à une comparaison entre deux expériences précédentes.

**4.3.1 Présentation des résultats expérimentaux de la digestion des boues:**

- **Evolution du pH :** La digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité, le pH est donc un paramètre qui renseigne sur la stabilité et le bon fonctionnement du processus.

- **Variation de la concentration des solides totaux et volatils (ST et SVT):** Il peut être remarqué que la variation des solides lors de la première semaine de suivi est relativement importante.

- **Variation de l'alcalinité:** L'alcalinité est un autre paramètre de contrôle de la stabilité de la digestion anaérobie ; une diminution importante de cette dernière exprime une production conséquente d'acide soulignant ainsi un déséquilibre entre la phase acidogène et la phase méthanogène

- **Variation de la demande chimique en oxygène (DCO):** La demande chimique en oxygène est utilisée pour exprimer la charge de pollution ou le substrat.

- **Acides gras volatils (AGV):** La variation de la concentration des acides gras volatils dans le digesteur influe directement sur le rendement de la digestion ainsi que sur la qualité et le volume du biogaz produit.

- **Variation du volume et composition du biogaz:** De même le volume et la composition du biogaz sont importants pour le contrôle et la surveillance du processus de la digestion anaérobie.

- **Production spécifique du biogaz (PSG):** Ce paramètre est important pour l'expression de la capacité du déchet ou de la boue à produire du biogaz, il est exprimé en terme de volume de biogaz produit par apport à la masse de substrat en terme de solide volatile à l'entrée.

- **Taux de la production du biogaz (TPG):** Le taux de production de biogaz est un paramètre qui exprime le volume du biogaz produit par apport au volume du digesteur utilisé. Il exprime, de ce fait, la capacité du système à produire du biogas.

- **L'azote organique et ammoniacal:** La mesure de la concentration de l'azote organique et ammoniacal est importante dans le sens d'avoir une idée sur le pouvoir tampon du système.

## CONCLUSION GENERALE

---

---

### CONCLUSION GENERALE :

Une station d'épuration est un centre de traitement de l'eau qui peut recycler les eaux usées en éliminant les polluants avant leur rejet dans le milieu naturel, à l'aide des quatre procédés suivants :

- Traitement mécanique : élimination des déchets par dégrillage et tamisage ;
- Traitement biologique : élimination des matières organiques et minérales par la culture microbienne et par ajout d'oxygène via l'aération ;
- Traitement de clarification : séparation par décantation de l'eau dépolluée et les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques ;
- Désinfection : traitement par le chlore pour tuer les germes pathogènes.

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique en colmatant les conduites et les systèmes d'irrigation.

D'un point de vue sanitaire, la quantité de contaminants qui parvient dans l'environnement est appelée la charge expulsée, sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées et notamment de la proportion d'individus infectés et des conditions d'hygiène. Pour les eaux traitées de la station d'épuration de Beni Mered, la charge expulsée est considérablement réduite, grâce à la performance du traitement par boue activée.

Les résultats d'analyses de l'effluent traité, respectent les normes Algérienne de valorisation dans le domaine agricole.

Les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides, sont les boues d'épuration (urbaines ou industrielles). Ces sédiments résiduels sont surtout constitués de bactéries mortes et de matière organique minéralisée.

La valorisation énergétique des boues d'épuration par procédé biologique (digestion anaérobie) permet de transformer les boues en un combustible renouvelable. L'énergie produite peut être utilisée directement au sein de la station d'épuration (cogénération, chaleur) ou être revendue.

Parmi les solutions, il est recommandé de prévoir, au niveau de la STEP de Beni Mered l'installation d'un digesteur nécessaire pour la production du biogaz pour une utilisation selon le type et le choix de la valorisation, exemple : production d'électricité.

L'exploitation du potentiel énergétique et non énergétique des eaux usées a donc un

## CONCLUSION GENERALE

---

double intérêt : d'une part, la préservation du cadre environnemental de la vie et avantage l'économie des ressources hydrique, d'autre part, les déchets d'épuration peuvent être considéré comme une importante source d'énergie.

## Références Bibliographiques

---

- (1) **C. Bliefert & R. Perraud** : «Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets». Edition de boeck.
- (2) **WWAP** (Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau). 2006. 2<sup>ème</sup> rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau : L'eau : une responsabilité partagée. Paris, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO).
- (3) **R. Desjardins**, (1997) : «Le traitement des eaux», 2<sup>ème</sup> édition, Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada.
- (4) **C. Gomella & H. Guerre**, (1978) : «Le traitement des eaux publiques, industrielles et Privées», Ed. Eyrolles, Paris.
- (5) **Y. Libes**, (2010) : «Les eaux usées et leur épuration».
- (6) **Site internet** : <https://www.dictionnaire>
- (7) **Site internet** : <https://www.inbw.be/comment-fonctionne-une-station-depuration>
- (8) **A. Chekroun**, (2013) : «Etude et conception d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par lits de roseaux pour de petites agglomérations : Cas de Fraouna (Commune de Terny)». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.
- (9) **Suschka J, Ferreira E.** (1986), Activated sludge respirometric measurements, Water research, 1986.
- (10) **Taradat M H**, (1992), Chimie des eaux. Première, le griffon d'argile inc, canada.
- (11) **Site internet** : <http://www.siaepa-yerville.fr/lassainissement-collectif/les-stations/le-fonctionnement-de-la-station-depuration-de-yerville-bourdainville/>
- (12) **R. Kesbi**, (2016) : «Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'Ouest Algérien cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent». Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique, université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.
- (13) **A. Haoua**, (2007) : «Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbains». Thèse de doctorat, université Louis Pasteur- Strasbourg I Discipline: Sciences pour l'ingénieur.
- (14) **Josep P**, (2002), « station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation ».
- (15) **Rejasse Sandrine**, Juillet (2009), « Optimisation du fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées de 10 000 EH, Trélissac », Mémoire d'ingénieur de l'ENGEES, Promotion Indre.
- (16) **Karima Allaoui**, (2009), «Modélisation hydraulique d'une bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées » Mémoire magister en hydraulique, université Badji Mokhtar - Annaba.
- (17) **C.C.I Troyes**, (2002). Eaux usées et assainissement. Les traitements adaptés.
- (18) **Dahou Abderahim, Brek Adem**, (2013), lagunage aéré en zone aride performance épuratoire cas de (région d'Ouaregla). Mémoire master académique. Université de Ouaregla.
- (19) **Faiza Mekhalif**, (2009), réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de magister en chimie, Université de Skikda.
- (20) **Gaid A**, (1984), « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU,

## Références Bibliographiques

---

Alger.

(21) **Dhaouadi H**, (2008), Traitement des eaux usées urbaines, les procédés biologiques d'épuration. Thèse, Université Virtuelle de Tunis.

(22) **ANAAT** Agence Nationale à l'Aménagement & à l'Attractivité des Territoires : «Plan d'Aménagement du Terrain de la Wilaya de Blida», Phase I.

(23) **Kerdache loubna**,(2015/2016), valorization énergétique des boues de la station d'épuration de Boumerdes, These, Université M'Hamed Bougera, Boumerdes.

(24) **MAZOUNI Abdelkrim & RAMDANI Amar** (2016/2017), Traitement et valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous.la ville de Bouira, Thèse, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA.

(25) **AFGANE Rachida**( 2015/2016), Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès (STEP-Fès), Thèse, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fèse, Maroc.

(26) **Malgorzata MERES**, (2005), ANALYSE DE LA COMPOSITION DU BIOGAZ EN VUE DE L'OPTIMISATION DE SA PRODUCTION ET DE SON EXPLOITATION DANS DES CENTRES DE STOCKAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS, Thèse Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France et Université Jagiellone de Cracovie, Pologne

(27) **GUIDE**, (2018), Vers une méthanisation propre, sûre et durable, Première édition, Ineris 17-163622-11458A.

(28) **Commission du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire**. (2013). *La biomasse au service du développement durable*. Rapport d'information, Assemblée Nationale.

(29) **SELMANE HEMZA & TIMTAOUCINE SADDAM**, (2016/2017), etude et realisation d'un digesteur anaerobique pour la production de biogaz, Thèse, Université de Djilali Bounaama - Khemis Miliana.