

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences  
Agronomiques  
Domaine : sciences de la nature et de la vie



## *Mémoire de fin d'études*

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*

**Filière : Science Biologique**  
**Option: Protection de l'environnement**

### *Thème*

**Valorisation énergétique des boues des stations d'épuration  
(Cas de la STEP Est de Tizi-Ouzou)**

Présenté par : M<sup>elle</sup> MEZZOU LYNDA & M<sup>elle</sup> NAILI HAKIMA

Le : 06/07/2017

Soutenu publiquement, devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> SI-TAYEB HACHEMI	Maître de conférences B	UMMTO	Président
M <sup>r</sup> RAHMOUNE Md.A	Maître de conférences B	UMMTO	Promoteur
M <sup>r</sup> BOUDJMA SALEM	Maître Assistant A	UMMTO	Co-promoteur
M <sup>me</sup> LOUNI DALILA	Maître Assistant A	UMMTO	Examinatrice
M <sup>me</sup> HARCHAOUI chafia	Maître de conférences B	UMMTO	Examinatrice
M <sup>me</sup> BOURBIA SOPHIA	Maître de conférences B	UMMTO	Examinatrice

*Promotion : 2016/2017*

## *Remerciements*

Dieu merci pour nous avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pas été réalisé.

Nous tenons à remercier notre promoteur **Mr RAHMOUN MD A.**, maître de conférence classe B pour l'intérêt constant qu'il a portée à ce travail en acceptant de le diriger, qu'il trouve ici nos sincères gratitude.

Nos vifs remerciements vont également à notre Co-promoteur **Mr BOUJAMAA S.**, maître assistant classe Apour son aide et sa disponibilité.

Nous remercions **Mr SI-TAYEB H.**, maître de conférences classe B pour l'honneur qu'il nous a fait en présidant le jury de notre soutenance.

Nous exprimons notre reconnaissance à **Mme LOUNI D.**, maître assistante classe A, **Mme BOURBIA S.**, maître de conférence classe B et **Mme HARCHAOUI C.**, maître assistante classe A , de nous avoir fait l'honneur de faire partie du jury.

Il nous reste pour terminer, l'agréable devoir de remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Dédicaces*

*A nos chers parents*

*A nos chères sœurs et frères*

*A nos amis...*

## Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration

MVS : Matières volatils en suspension g/l

MO : Matières organique g/l

DBO : Demande biochimique en oxygène mg/l

DCO : Demande chimique en oxygène mg/l

MS : Matières sèche g/l

ONA : Office National D'assainissement

pH : Potentiel Hydrogène

AGV : Acides gras volatils (mg DCO/l)

CH<sub>4</sub>: Méthane

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

H<sub>2</sub>S : Sulfure dihydrogène

GES : Gaz a effet de serre

ERU : Eaux Résiduaires Urbaines

ERI : Eaux Résiduaires Industrielles

C :Carbone

N : Azote

NTK : Azote Totale Kjeldahl

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse

## Liste des figures

Figure n°1 : Schéma récapitulatif des différentes étapes de la méthanisation [17].....	15
Figure n°2 : Schéma réactionnel de l'acidogénèse [6] .....	16
Figure n°3 : Schéma réactionnel de l'acitogène[6] .....	16
Figure n°4 : Production de biogaz en fonction de la température [21] .....	18
Figure n°5 : les différentes formes de digesteurs [6] .....	19
Figure n°6 : Equivalence énergétique du méthane [12] .....	22
Figure n°7 : -Manioc, b-Semoule de manioc [30] .....	28
Figure n°8 : STEP Est de TIZI OUZOU [37] .....	33
Figure n°9 : Situation géographique de la STEP [38] .....	34
Figure n°10 : Quantités des boues produite et valorisée dans la STEP Est de Tizi-Ouzou durant les dernières années [36] .....	35
Figure n°11 : Destination finale des boues [36] .....	35
Figure n°12 :Schémade dispositif .....	36
Figure n°13 : Image de dispositif (photo originale) .....	37
Figure n°14 : La boue utilisée (photo originale) .....	38
Figure n°15 : lancement de l'expérience (photo originale) .....	38
Figure n°16 : Ph Mètre de type HANNA HI2210 (photo originale) .....	39
Figure n°17 : Les étapes de la détermination de la MS (photo originale) .....	40
Figure n°18 : Appareil d'analyse de biogaz par (CPG), (SHIMADZU GC-2014) (Photo originel) .....	48
Figure n°19 : La mesure de biogaz par CPG (photo originale) .....	48
Figure n°20 : l'évolution de pH en fonction du temps .....	50
Figure n°21 : la variation de la matière sèche en fonction du temps .....	51
Figure n°22 : la réduction de la matière organique au cours de la fermentation.....	52
Figure n°23 : Variation de la DBO5 ou court de la digestion anaérobie .....	53
Figure n°24 : Variation de la DCO ou court de la digestion anaérobie .....	54
Figure n°25 : Germe totaux sur un milieu gélosé après une durée d'incubation de 24h à 37°C.....	57
Figure n°26: <i>Salmonelle</i> sur milieu d'isolement SS après une durée d'incubation de 18h à 37 °C.....	57
Figure n°27 : Les <i>Staphylocoque aureus</i> sur milieu Chapman après 18h d'incubation à 37°C	57
Figure n°28 : La composition de biogaz sur le détecteur TCD .....	59

## *Liste des tableaux*

Tableau n° 1 : Composition du biogaz [10] .....	20
Tableau n°2 : les avantages et les inconvénients de la méthanisation .....	23
Tableau n°3 : Les caractéristiques de la boue de lagunage naturel de la ville d'Adrar [10] .....	29
Tableau n°4 : les différentes installations de traitements dans la STEP [36].....	34
Tableau n°5 : La charge microbienne de la boue .....	55
Tableau n°6 : La composition de biogaz sur le détecteur TCD .....	58
Tableau n°7 : La composition de biogaz sur le détecteur FID .....	59
Tableau n°8 : Résultats de suivis de Ph et de production cumulée de biogaz pour les trois expériences .....	60

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIE**

### **Chapitre I : les boues des stations d'épuration**

I.1. Introduction.....	4
I.2. Définition et origine des boues de la station d'épuration .....	4
I.3. Nature et origine d'eau usée .....	4
I.4. Composition des boues résiduaires .....	5
I.4.1. Matière organique .....	5
I.4.2. Eléments fertilisants et amendements .....	6
I.4.3. Eléments chimique inorganique et organique .....	6
I.4.4. Les micro-organismes pathogènes .....	6
I.5. Prétraitement des boues .....	7
I.5.1. Les boues primaires .....	7
I.5.2. Les boues secondaires (boues activées) .....	7
I.5.3. Les boues mixtes .....	7
I.5.4. Les boues physico-chimiques .....	8
I.6. Les différentes filières de traitement des boues .....	8
I.6.1. L'épaississement .....	8
I.6.2. La stabilisation .....	8
I.6.3. La déshydratation .....	9
I.7. Filières d'élimination des boues résiduaires urbaine.....	9
I.7.1. La mise en décharge contrôlée.....	9
I.7.2. L'incinération .....	10
I.7.3. Epannage directe sur le sol .....	11
I.8. Conclusion .....	11

### **Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par le procédé**

#### **de la méthanisation (digestion anaérobie)**

II.1. Introduction .....	13
II.2. Définition de la méthanisation .....	13
II.3. Les procédés biologiques de la digestion anaérobie.....	14
II.3.1. Première phase aérobie .....	14
II.3.2. Deuxième phase anaérobie .....	14
II.3.2.1. Hydrolyse.....	16
II.3.2.2. Acidogenèse.....	16
II.3.2.3. Acétogenèse.....	16

II.3.2.4.Méthanogenèse .....	17
II.4.Les conditions de la réaction de méthanisation .....	17
II.4.1.La température .....	17
II.4.2.Le pH .....	18
II.4.3.Le rapport Carbone / Azote .....	18
II.5. Digesteurs : Technologie et Géométries .....	19
II.6.Définition de biogaz et sa composition .....	19
II.7.Valorisation du biogaz .....	20
II.7.1. Valorisation thermique .....	20
II.7.2.Valorisation électrique .....	20
II.7.3.Le biogaz carburant .....	21
II.7.4. L'injection dans le réseau de gaz naturel.....	21
II.8.Les avantages et les inconvénients de la Méthanisation.....	22

### **Chapitre III : Etat de l'art**

III.1.Quelques travaux récents sur la méthanisation .....	25
---	----

## **PARTIE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre IV : Matériels et méthodes**

IV.1. Présentation de la station d'épuration d'Est de TIZI OUZOU (STEP .....	33
IV.1.1. Composition de la STEP Est de TIZI OUZOU.....	34
IV.1.2.Estimation de la production et la destination finale des boues de la STEP .....	35
IV.2.Matériel d'étude .....	36
IV.2.1. Description du digesteur .....	36
IV.2.2. Le substrat utilisé .....	37
IV.3. Méthode .....	38
IV.3.1.Préparation et lancement de la fermentation.....	38
IV.3.2. Les analyses physico-chimiques des boues .....	39
IV.3.2.1. Le potentiel d'hydrogène .....	39
IV.3.2.2.Matière sèche (MS).....	40
IV.3.2.3.La matière organique .....	41
IV.3.2.4. Dosage du carbone organique .....	41
IV.3.2.5.Dosage de l'azote kjedhal (NTK) .....	42
IV.3.2.6. Le rapport C/N .....	43
IV.3.2.7.Détermination de demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	43
IV.3.2.8.Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO.....	44
IV.3.2.9.Le rapport DCO/BDO <sub>5</sub> .....	45
IV.3.3. Les analyses microbiologiques .....	45
IV.3.3.1. Préparation des milieux de culture.....	45
IV.3.3.2. Préparation des dilutions décimales.....	45
IV.3.3.3. Ensemencement et incubation.....	46

IV.3.3.4. Recherche et dénombrement des germes totaux .....	46
IV.3.3.5. Recherche et dénombrement des <i>staphylocoques aureus</i> .....	46
IV.3.3.6. Recherche et dénombrement des <i>salmonelles</i> .....	46
IV.3.4. Analyses de biogaz .....	47

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

V.1. Analyse physico-chimique .....	50
V.1.2. Variation de pH .....	50
V.1.3. Variation de Matière sèche .....	51
V.1.4. Matière organique .....	52
V.1.5. Le rapport C/N .....	53
V.1.6. Détermination de DBO <sub>5</sub> et de la DCO .....	53
V.1.7. Le rapport DCO/DBO <sub>5</sub> .....	54
V.2. Résultats des analyses microbiologiques .....	55
V.2.1. La recherche et le dénombrement germes totaux, les salmonelles et les Staphylocoques aureus .....	55
V.3. Analyse de biogaz .....	57
<b>Conclusion générale</b> .....	60
<b>Perspectives</b> .....	61

## **Références bibliographiques**

## **Annexe**

# Introduction générale

---

L'augmentation des prix du pétrole et la raréfaction des énergies fossiles, les changements climatiques, les émissions de gaz à effet de serre, la préservation de la biodiversité et la conservation des milieux naturels..., sont autant de problèmes qui suscitent des réflexions et de l'action au niveau mondial.

Une des solutions préconisées est l'utilisation des énergies renouvelables comme l'énergie solaire, éolienne, géothermique, hydraulique et celle issue de la biomasse et des déchets en général.

La production de ces derniers ne cesse d'augmenter, ce qui engendre d'énormes risques sur l'environnement et, par conséquent sur la santé de la population, surtout dans les pays en développement. L'exploitation de ces déchets est ainsi très importante, pas uniquement du point de vue énergétique, mais aussi écologique et économique.

L'une des méthodes de valorisation des déchets est la fermentation méthanique ou la Bio-méthanisation, qui est une des méthodes de valorisation de la biomasse en vue de production de biogaz. Ce dernier peut être mis en valeur par différentes voies : production de chaleur et d'électricité, utilisation comme carburant ou injection directe dans le réseau du gaz naturel.

Les boues des stations d'épurations, qui sont des déchets résultants des traitements des eaux usées, sont en partie mises en décharge. Cela s'avère une technique peu valorisante est légalement interdite dans de nombreux pays. Aussi, l'incinération des boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement.

La valorisation énergétique (production de biogaz comme source de chaleur et d'électricité) et la valorisation agricole (production d'engrais) constituent des technologies vertes permettant de transformer les boues en produits à haute valeur ajoutée en minimisant les risques de pollution.

La station d'épuration (STEP) Est de la ville de Tizi-Ouzou engendre pas moins de 60 % de boues mis en décharge, ce qui offre une opportunité de valorisation et de préservation de l'environnement.

# Introduction générale

---

C'est dans ce contexte que rentre notre étude, qui vise à prouver la possibilité d'obtenir du méthane à partir des boues résiduelles de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou gérées par l'office national d'assainissement (ONA) Est de la même ville.

Afin de bien structurer notre mémoire, nous l'avons divisé en deux grandes parties

La partie théorique qui inclut trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des boues des stations avec les différentes filières de traitement et les filières d'élimination,
- Dans le deuxième chapitre, la digestion anaérobie comme mode de traitement des boues est abordée, ces différents principes, et les conditions physico-chimiques nécessaires,
- Le troisième chapitre consiste à présenter quelques travaux récents sur la méthanisation.

La partie expérimentale qui comprend deux chapitres :

- Le premier concerne une présentation du site de travail, le matériel et les méthodes utilisés au cours de la pratique pour l'obtention du méthane à l'échelle de laboratoire,
- Le deuxième présente les différents résultats ainsi que leurs interprétations.

En fin, notre travail est terminé par une conclusion générale, des perspectives de recherches et des recommandations.

# Chapitre I : Les boues des stations d'épurations.

---

## **I.1. Introduction**

Chaque jour, l'homme consomme de fortes quantités d'eau, tant pour son usage personnel que professionnel. Ces eaux, une fois utilisées, sont recueillies afin d'être épurées. Le traitement de ces dernières s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables. Les eaux usées ainsi collectées ont donc deux origines : une origine domestique (Eaux Résiduaires Urbaines: ERU) et une origine industrielle (Eaux Résiduaires Industrielles : ERI) [1].

Dans le cas de zones peu ou moyennement industrialisées, ces eaux résiduaires sont mélangées et traitées ensemble dans une station d'épuration (STEP), qui a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité [1].

## **I.2. Définition et origine des boues des stations d'épurations**

Les boues des STEP, constitués essentiellement d'eaux, de sel minéraux et de matière organique, désignent l'ensemble des résidus de l'activité biologique des microorganismes vivant dans les stations d'épurations, qui transforment les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites [2].

On distingue les boues urbaines et les boues industrielles. Les premières sont produites dans les stations d'épurations traitant les effluents dits "urbains", c'est à dire majoritairement des eaux usées d'origine domestique. Les secondes sont issues du traitement d'eaux usées industrielles [3]. Dans notre travail, on s'est intéressé aux boues urbaines.

## **I.3. Nature et origine des eaux usées**

Une eau résiduaire est une eau contenant des rejets d'activités humaines, industrielle et agricoles qui peut provoquer ou accroître la pollution du milieu naturel dans lequel elle est rejetée. Cette pollution peut être provoquée par des matières en suspension, colloïdales ou en solution organique ou minérale.

# Chapitre I : Les boues des stations d'épurations.

---

Le premier critère de choix d'un procédé d'épuration est donné par la connaissance de la nature de la matière polluante contenue dans les effluents. On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées [4]:

- **eaux usées d'origine domestique** qui proviennent des habitations, et sont généralement véhiculées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. C'est eaux se caractérisent par leurs fortes teneurs en matières organiques, en sels minéraux (azote, phosphore), en détergents et en germes fécaux,
- **eaux usées d'origine industrielle** caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation originaire de l'eau (industries agroalimentaires, chimique, centrales thermique, centrales nucléaires ...),
- **eaux usées d'origine agricole** où les effluents renferment diverses substances d'origine agricole ou animale,
- **eaux de ruissellement** qui sont essentiellement des eaux de pluie et de lavage des chaussées.

## I.4. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année, du type de traitement et de conditionnement pratiqués dans les stations d'épurations. Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (matière organique, éléments fertilisants (N, P ...etc.), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes) [4].

### I.4.1.Matière organique

La concentration en matière organique (MO) peut varier de 30 à 80 % de la matière sèche (MS). La MO des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) [4].

## **I.4.2.Eléments fertilisants et d'amendements**

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception du potassium [4]. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux [4].

## **I.4.3.Eléments chimiques organiques et inorganiques**

Les éléments traces métalliques (cuivre, le zinc) indispensables au développement des végétaux et des animaux, qui peuvent se classer dans la catégorie des éléments chimiques inorganiques, présentent de la toxicité à trop fortes doses [3]. En effet, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. À noter aussi que les éléments, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels [4].

Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Phthalates, Polychlorobiphényles (PCB), etc.) peuvent se trouver en concentrations en général de l'ordre de  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de matière sèche (MS). La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau.

L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées [3,4].

## **I.4.4. Les micro-organismes pathogènes**

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épurations. Seule une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux [3,4].

## Chapitre I : Les boues des stations d'épurations.

---

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost.

De ce fait, d'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture [3,4].

### **I.5.Prétraitement des boues**

Lors de l'épuration des eaux usées, en fonction des différentes étapes du prétraitement, différentes types de boues sont produites.

#### **I.5.1. Les boues primaires**

Elles sont issues du traitement primaire et sont produites par simple décantation, en tête de station d'épuration [5]. Ces boues sont fraîches, c'est-à-dire non stabilisées (forte teneur en matière organique) et fortement fermentescibles [5].

#### **I.5.2.Les boues secondaires (autrement appelées boues activées)**

Issues du traitement secondaire et récupérées après le décanteur secondaire (clarificateur), elles sont des boues fraîches biologiques, essentiellement sous forme de floccs de bactéries [5,6]. Leur pouvoir fermentescible dépend du temps de séjour dans le bassin d'aération [5].

#### **I.5.3.Les boues mixtes**

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes, dont la composition est dépendante de la quantité de boues primaires et secondaires produites [5,6]. Très fermentescibles, ces boues subissent un traitement de stabilisation [5,6].

## **I.5.4. Les boues physico-chimiques**

Ces boues sont issues d'un traitement utilisant des flocculants minéraux (sel de fer ou d'aluminium). Le traitement physico-chimique est principalement utilisé sur des boues industrielles ou pour l'élimination du phosphore en complément au traitement biologique [5].

## **I.6. Les différentes filières de traitement des boues**

Les boues résiduaires se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation « quelle que soit la destination », parmi les quels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Généralement, le traitement des boues a trois objectifs :

- La réduction du pouvoir fermentescible (limitation des odeurs) par stabilisation,
- La réduction du volume par épaissement et déshydratation,
- Eliminer l'essentiel des organismes pathogènes.

### **I.6.1. l'épaissement**

C'est le premier stade de traitement des boues, dont le principe consiste à enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenu dans les boues. Il a pour objectif de réduire le volume des boues brutes et d'augmenter la concentration des matières sèches (3 à 8 % de siccité selon les techniques utilisées) [7]. Cet épaissement peut se faire simplement par voie gravitaire « décantation » dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation) [7].

### **I.6.2. La stabilisation**

Elle est mise en œuvre pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. Elle peut être biologique par voie aérobie ou anaérobie (méthanisation), ou chimique (chaulage ou autres traitements) [4,8]. La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues [4, 9,10].

## **I.6.3.La déshydratation**

La concentration des boues par déshydratation ou par épaissement, a pour objectif de réduire leur volume afin de faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide à l'aide de flocculant organiques de synthèse ou minéraux, et autoclavage.

Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, l'épaississement, la déshydratation ou le séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : boues liquides (4 à 10 % de MS), boues pâteuses (10 à 25% de MS), boues solides (25 à 50 % de MS), boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % [4, 9,10].

## **I.7.Filières d'élimination des boues résiduaires urbaine**

S'il existe de nombreux traitements pour réduire le volume, les nuisances, la nocivité des boues, Actuellement il y a trois filières qui sont utilisées pour évacuer les boues, selon que l'on privilégie un mode de digestion basé sur l'élimination ou sur le recyclage. Il s'agit [11]:

- de la mise en décharge contrôlée,
- de l'incinération,
- du retour au sol par épandage.

### **I.7.1.La mise en décharge contrôlée**

La mise en décharge se fait dans des centres d'enfouissement technique(CET) modernes, les déchets sont confinés dans les alvéoles, étanches recouvert de terre végétale [4]. Il faut dire d'emblée que cette dernière est une mauvaise solution pour l'élimination des boues de STEP, et dans la mesure du possible, on lui préférera la valorisation, ou à défaut, l'incinération [4,11].

Ces dernières solutions ne sont toutefois pas toujours possibles, soit que les quantités ou qualités des boues ne se prêtent pas à leur valorisation dans l'agriculture, soit que les installations d'incinération présentent des insuffisances de capacité ou des interruptions d'exploitation [11]. Dans ces cas, la mise en décharge peut devoir être l'ultime recours pour l'élimination des boues [11].

### **I.8.2. L'incinération**

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres [4,9].

Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel. Encore, les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables [9].

En France, 14 à 16 % des boues urbaines sont incinérés, tandis qu'en Europe, le pourcentage varie de 0 à 55 % selon les pays, alors qu'en Algérie, le traitement par incinération n'est pas encore effectué [9].

Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux [9]. Les boues seules ne sont pas auto-combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers, et l'élimination des cendres et des mâchefers exige une décharge contrôlée de classe 1 [9].

Cette technique reste aussi néfaste du point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, CO, SO, dioxine, etc.) [4,9].

### **I.7.3 Epandage directe sur le sol**

À l'heure actuelle, l'épandage agricole des boues reste la principale filière d'élimination, toutefois, cette dernière est pratiquée que si celles-ci respecte le principe "d'intérêt agronomique" et soit exempte de grandes teneurs en polluants inorganiques ou organiques [9].

Ce mode de recyclage est le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (carbone, Azote, Phosphore), pour la protection de l'environnement et pour son grand intérêt économique [9]. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de

## Chapitre I : Les boues des stations d'épurations.

---

matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges [9]. Les boues résiduelles peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux [4,9].

### **I.8.Conclusion**

Les filières d'élimination des boues sont de plus en plus réglementées. La mise en décharge contrôlée où dans les CET est interdite par la réglementation, quant à l'incinération reste très coûteuse, alors que la troisième filière, en l'occurrence la valorisation agricole (épandage), elle très critiquée par l'opinion publique [10].

Il devient donc nécessaire de trouver des techniques plus performantes permettant de traiter, éliminer et valoriser les boues des STEP. Parmi les différents modes existants, on citons la bio méthanisation ou la digestion anaérobie [10].

# Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

---

## II.1. Historique

La découverte de la méthanisation remonte à 1776 lorsque A. Volta durant une de ses promenades observa que du gaz se libérait d'un marais. Après avoir étudié ce phénomène et fait plusieurs expériences, il mit en évidence que le "gaz des marais" était inflammable [12]. Un peu plus tard (1787), A.L. Lavoisier lui donne le nom de "gashydrogeniumcarbonatrum" mais le terme de "méthane" fut proposé en 1865 et confirmé en 1892 par un congrès international de nomenclature chimique [12]. Pendant ce temps, la présence de ce gaz est mise en évidence dans d'autres milieux (dont le fumier) et son origine est attribuée à l'activité microbienne, qui se développe dans des milieux anaérobies naturels [12].

Le gaz des marais qui contient une forte proportion de méthane provient de la décomposition des déchets organiques végétaux des marécages, et ce phénomène se déroule également dans les lacs et des rizières [13]. Les sols des zones humides tels que les forêts tropicales, la toundra et les tourbières participent aussi à la production du méthane atmosphérique [13]. Les phénomènes anaérobies qui se déroulent dans les sédiments marins sont responsables aussi d'une partie du méthane dissous dans l'eau de mer [13].

Enfin, les processus de digestion des animaux libèrent aussi du méthane. En effet, les ruminants et les termites sont la source d'une quantité importante de gaz. [13].

## II.2. Définition de la méthanisation

La méthanisation, également appelée digestion anaérobie, est une voie de dégradation microbienne au cours de laquelle, en conditions anaérobies, la matière organique complexe est minéralisée en un biogaz composé principalement de méthane et de dioxyde de carbone [13]. Ce mécanisme de dégradation est constitué d'une chaîne réactionnelle complexe, mais décomposé en quatre principales étapes faisant intervenir des populations microbiennes spécifiques constituant un réseau trophique : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse [13].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

---

### II .3. Les procédés biologiques de la digestion anaérobie

#### II.3.1.Première phase aérobie

Cette phase de dégradation aérobie prend place dès la mise en décharge des déchets ou leurs dépôts dans le digesteur [14,15]. Sa durée correspond au temps de consommation de l'oxygène présent au sein du milieu, et l'énergie libérée au cours de cette phase est utilisée pour l'accroissement exponentiel des microorganismes [1 6].

Cette étape est importante car elle élimine la totalité de l'oxygène contenu dans les déchets, l'O<sub>2</sub> étant toxique pour les organismes strictement anaérobies qui interviennent dans la suite du processus [16].

#### II.3.2.Deuxième phase anaérobie

Cette phase est la plus importante de l'ensemble du processus qui aboutit à la formation de méthane. Elle est caractérisée par quatre sous-étapes successives qui sont récapitulés dans la figure (N°1).

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

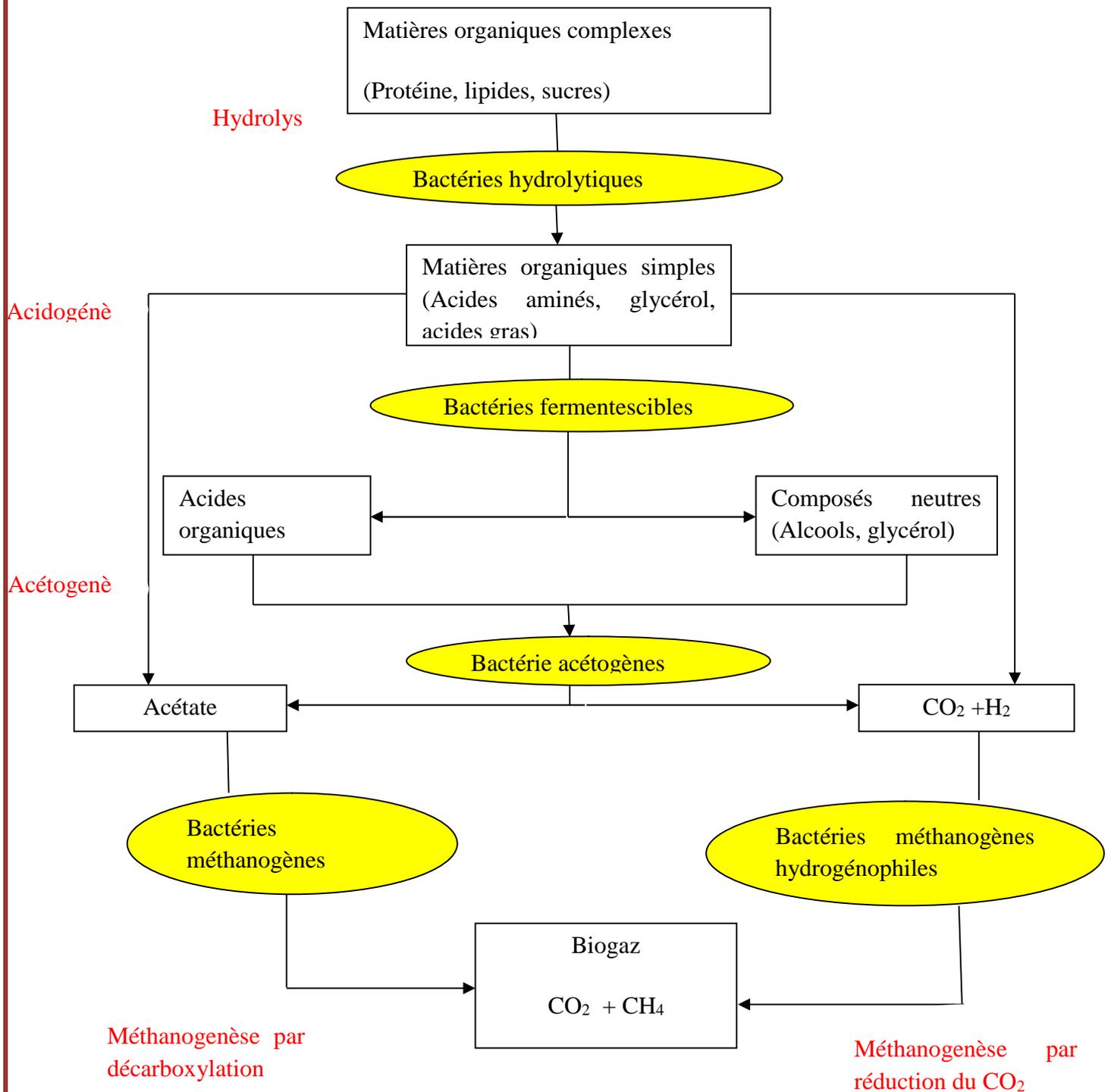


Figure N°1: Schéma récapitulatif des différentes étapes de la méthanisation [17].

# Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

## II.3.2.1. Hydrolyse

Cette étape d'hydrolyse correspond à la dégradation des macromolécules organiques (protéines, lipides, polysaccharides...) en monomères (acide aminé, acide gras, oses...). Ce sont les bactéries dites hydrolytiques qui vont permettre de casser des structures organiques complexes en libérant des enzymes (protéases, lipases, cellulases...) [6].

Cette étape est déterminante pour la suite de la fermentation, car seules les molécules simples seront biodisponibles pour la suite du traitement. D'un point de vue cinétique l'hydrolyse est considérée comme une étape limitante [6].

Les principales espèces qui sont impliquées dans cette étape d'hydrolyse sont celles des genres *Clostridium*, *Bacillus*, *Ruminococcus*, *Enterobacteroides*, *Propionibacterium* et *Butivibrio* [18].

## II.3.2.2. Acidogénèse.

Les monomères sont fermentés principalement en acide gras volatil (AGV), en alcools, en hydrogène H<sub>2</sub> et en dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>. Les bactéries responsables de cette étape sont nombreuses, on les appelle les bactéries fermentaires [6].

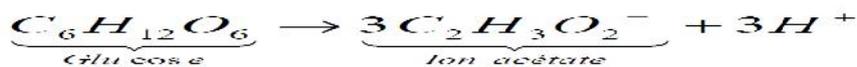


Figure N°2 : Schéma réactionnel de l'acidogénèse[6].

## II.3.2.3. Acétogénèse

Dans cette étape, une grande partie des acides gras volatils (AGV) et des alcools sont assimilée par les bactéries acétogènes autotrophes pour former de l'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH). Une autre partie est convertie en hydrogène et dioxyde de carbone [6].



Figure N°3 : Schéma réactionnel de l'acétogénèse[6].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

---

Ces deux étapes sont représentées par l'activité de trois groupes bactériens : les homoacétogènes des genres *Clostridium*, *Acetobacterium*, *Sporomusa*, *Acetogenium*, *Acetoanaerobicum*, *Pelobacter*, *Butyribacterium*, *Eubacterium* etc, les syntrophes des genres *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Syntrophus* et les sulfato-réductrices des genres *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas* [18-20].

### II.3.2.4. Méthanogénèse

Il y a deux voies de production du méthane :

- À ~ 70% par les bactéries méthanogènes acétoclastes, le méthane est produit à partir de l'acétate.  $3C_2H_4O_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$
- A ~ 30% par les bactéries méthanogènes hydrogénophiles, le méthane est produit à partir du dioxyde de carbone et de l'hydrogène.  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

Les bactéries méthanogènes hydrogénophiles les plus représentées sont celles des genres *Methanobacterium*, *Methanococcus* et *Methanobrevibacter* [6].

### II.4. Les conditions de la réaction de méthanisation

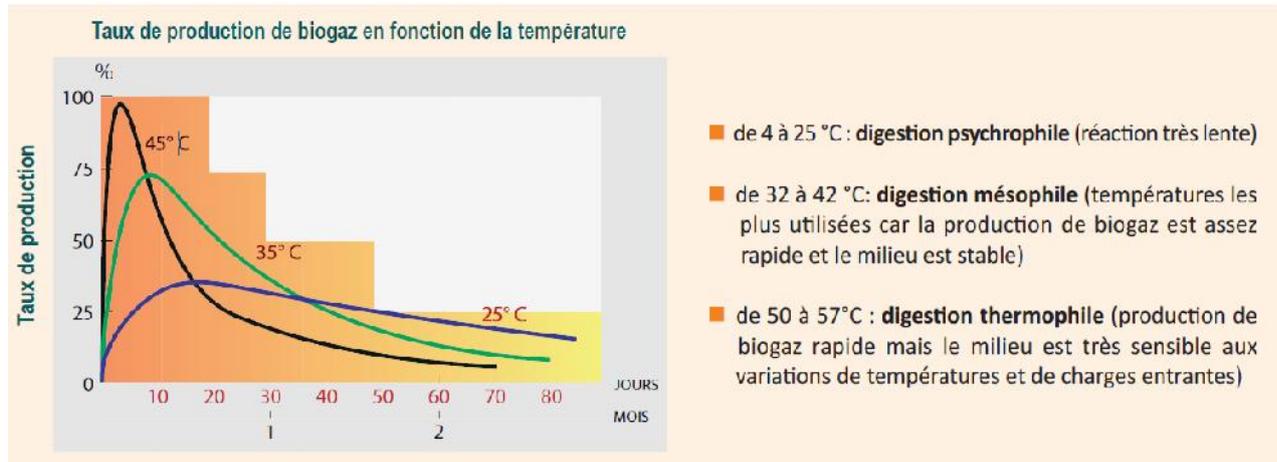
Dans ce qui précède, nous avons vu les différentes réactions et les différents micro-organismes qui interviennent lors de la méthanisation. Toutefois, pour que ces réactions se produisent, les conditions du milieu sont très importantes [21].

#### II.4.1. La température

La réaction de méthanisation est globalement accélérée par la chaleur mais, dans le détail, ce mécanisme est plus complexe. Chaque groupe de bactéries a une température de confort différente et, en dehors de ces domaines de températures, il peut avoir une inhibition des réactions [21].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

Il existe trois zones de températures pour la méthanisation (figure N°4):



**Figure N°4** : Production de biogaz en fonction de la température [21]

Des variations journalières de 1°C peuvent perturber la digestion thermophile alors que la digestion mésophile résiste à des variations de 2 à 3°. Dans tous les cas, les changements de température sont à éviter car les bactéries hydrolytiques et acidogènes résistent mieux aux variations que les autres groupes de bactéries, il ya donc un risque d'accumulation d'acides dans le digesteur, donc un arrêt de la réaction [21].

### II.4.2. Le pH

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Comme pour la température, les groupes de bactéries ont des domaines de pH de croissance optimaux différents. Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogénèse et à la méthanogénèse [3, 6, 9, 21].

### II.4.3. Le rapport Carbone / Azote

Le rapport C/N est important pour la stabilité du processus. Si ce rapport est trop important, le carbone a du mal à être complètement dégradé. À l'inverse, un rapport trop faible peut entraîner une production importante d'ammoniac qui inhibe les bactéries. Pour avoir une bonne stabilité, le rapport C/N doit être compris entre 10 et 30 environ [21].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

### II.5. Digesteurs : Technologie et Géométries

Les digesteurs sont fabriqués à base de technologie simple. Les réacteurs à boues libres consistent en la mise en œuvre d'une biomasse libre dans un réacteur infiniment mélangé s'apparentant à la technologie aérobie des boues activées [6].

Les réacteurs à boues libres peuvent se différencier par leurs géométries (Figure n°5). En France par exemple, 70 % des installations sont équipées de digesteur cylindrique et le reste avec des digesteurs de type continental [6]. Dans le reste de l'Europe on trouve fréquemment des digesteurs de type ovoïde.

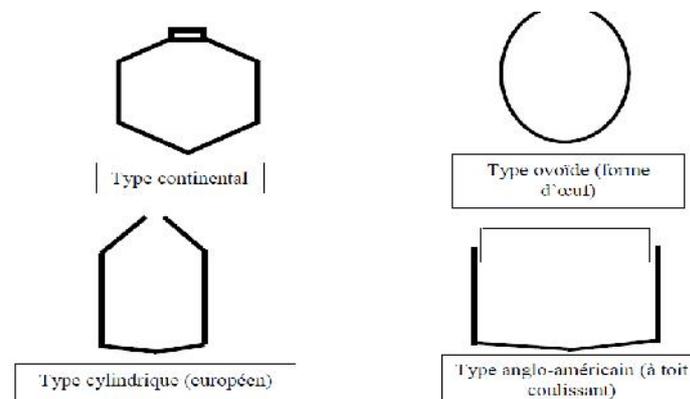


Figure N°5 : Différentes géométries de digesteur de boues d'épuration [6].

### II.6. Définition du biogaz et sa composition

Le biogaz est un gaz combustible, mélange de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de méthane ( $\text{CH}_4$ ), qui provient de la dégradation des matières organiques mortes, végétales ou animales, dans un milieu en raréfaction d'air (principe dit de la « fermentation anaérobie »). Le méthane est un gaz à effet de serre 21 fois plus puissant que le  $\text{CO}_2$ , c'est pourquoi la formation de ce gaz doit être bien connue et maîtrisée [22- 24].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

**Tableau n°1 : Composition du biogaz [10].**

Nature du gaz	Proportion (en %)
Méthane (CH <sub>4</sub> )	50 - 80
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	20 - 50
Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	0 - 0,5

### II.7. Valorisation du biogaz

Plusieurs modes de valorisation existent pour le biogaz :

#### II.7.1. Valorisation thermique

La chaleur de combustion du biogaz peut servir pour la production d'eau chaude, de vapeur à moyenne ou haute pression, ou bien dans des fours de procédés. La pression nécessaire pour l'alimentation des appareils au gaz est généralement faible : 20 à 100 mbar [6,25].

D'une manière générale, les valorisations thermiques nécessitent des débouchés de proximité : il peut s'agir de consommateurs externes au site de production (industries, réseau de chaleur...) ou d'usages internes [6,25].

Dans les stations d'épurations, une partie du biogaz produit est en général utilisé pour maintenir le digesteur à la température de fermentation (37 ou 55 °C). Cette consommation interne du procédé représente environ 15 à 30% de la production [6,25].

#### II.7.2. Valorisation électrique

Le biogaz peut alimenter un moteur à gaz (ou une turbine), qui produit de l'électricité. Lorsque l'électricité est produite seule, celle-ci est le plus souvent exportée via le réseau public. La cogénération produit de l'électricité et de la chaleur, et cette dernière peut être utilisée pour le chauffage des digesteurs et le reste peut servir à tout autre usages : séchage du digestat, production d'eau chaude, alimentation d'un chauffage domestique [6,25].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

---

Dans le cas de la solution " moteur à biogaz ", il nécessitera en principe une désulfuration et une déshydratation, et ses performances dépendront des spécifications des motoristes. Dans le cas de la solution turbine à vapeur, on peut se contenter d'un traitement par simple filtre dévésiculeur à l'entrée du suppresseur, de façon à enlever les particules en suspension dans le biogaz. La chaudière sera munie de tubes de fumée dont le matériau pourra résister aux fumées de biogaz, éventuellement à forte teneur en dioxyde de soufre, chlorures ou fluorures [6, 21,25].

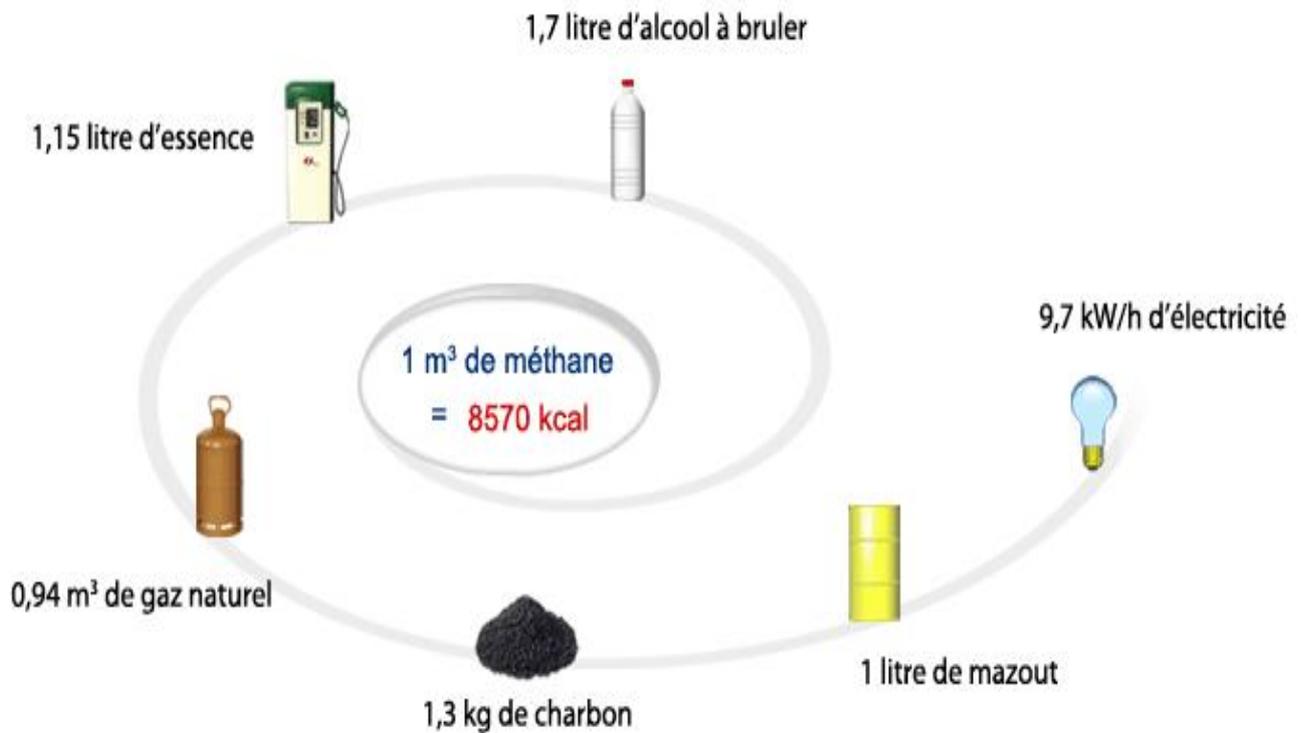
### **II.7.3.Le biogaz carburant**

Assez répandue en Suède, la valorisation du biogaz sous forme de carburant automobile ne fait l'objet par exemple en France, pays pourtant développé, que de quelques installations pilotes en cours d'optimisation : Lille, Sonzay (près de Tours) et Chambéry. Elle est destinée pour l'instant à l'alimentation des flottes captives de véhicules des collectivités locales : collecte des ordures ménagères, transport en commun. Son intérêt est à la fois économique et environnemental, compte tenu de la qualité des rejets des moteurs à gaz [6, 21,25].

### **II.7.4. L'injection dans le réseau de gaz naturel**

Lorsqu'une unité de méthanisation se trouve à proximité d'une canalisation de gaz naturel, l'injection du biogaz dans le réseau peut être envisageable. La composition finale du biogaz injectable (teneur en méthane, en gaz carbonique, en sulfure d'hydrogène et en oxygène) ainsi que sa pression dépendent des spécifications imposées par le réseau. Cette méthode est courante dans certains pays comme le Danemark, les Pays-Bas et la Nouvelle-Zélande [6, 21,25].

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation



**Figure N°6** : Equivalence énergétique d'un mètre cube de biogaz (avec une teneur en méthane de 50 %) [12].

### II.8. Les avantages et les inconvénients de la Méthanisation :

La méthanisation des boues résiduelles présente de nombreux avantages, mais aussi des inconvénients à ne pas négliger, qui ont montré dans le tableau N°2.

## Chapitre II : Valorisation énergétique des boues par la méthanisation

**Tableau N°2** : les avantages et les inconvénients de la méthanisation.

Les avantages de la méthanisation	Les inconvénients de la méthanisation
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Valorisation de la matière organique en énergie verte : le biogaz produit contribue notamment à l'autosuffisance énergétique des usines de traitement d'eaux usées</li><li>➤ Stabilisation et hygiénisation des boues [3]</li><li>➤ La réduction des émissions de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) [9,26]</li><li>➤ La production de fertilisants naturels [9,26]</li><li>➤ La fermentation conduit à l'élimination d'une grande quantité de MO [9,26]</li><li>➤ Une réduction du nombre de micro-organismes pathogènes [6,9]</li><li>➤ Diminution de la consommation d'énergies fossiles [26]</li><li>➤ Revente d'énergie renouvelable à un tarif préférentiel</li><li>➤ Création d'emplois</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Une forte sensibilité aux variations de charges et aux composés toxiques [27,28]</li><li>➤ Une dégradation plus lente que pour les procédés aérobies [29]</li><li>➤ Des coûts d'investissement importants</li><li>➤ Les populations microbiennes sont sensibles aux perturbations, en particulier à l'oxygène et aux métaux lourds où encore aux surcharges organiques, et le procédé se révèle souvent instable [30]</li></ul>

### III.I. Quelques travaux récents sur la méthanisation

De nombreuses études ont été entreprises pour évaluer les méthodes d'obtention de biogaz, et le potentiel des matières premières ou des boues d'où il découle. Aussi, la compréhension des conditions thermodynamiques, microbiologiques et la nature biochimique des boues ou des matières premières permettent d'optimiser le procédé d'obtention de biogaz en installation pilote et par extrapolation à l'échelle industriel.

Dans ce présent chapitre, on va donner une synthèse bibliographique de certains travaux menés dans la production de biogaz, et des méthodes de caractérisation de la matière première utilisé et du gaz obtenu.

**Siboukeuret *al* [31]** ont réalisés une étude microbiologique de la digestion anaérobie des boues provenant des eaux usées de la station d'épuration de la ville de Touggourt, au sud-est de l'Algérie.

La digestion a été menée dans un réacteur de type discontinu, qui est muni de deux trous, l'un pour la collecte d'échantillons liquides à l'aide d'une seringue, le second pour assurer l'échappement du gaz et mesurer le volume de biogaz produit.

Dans leur travail, les auteurs ont entrepris une caractérisation physico-chimique et microbiologique des boues, et étudier l'influence de certains paramètres (pH, DCO, DBO<sub>5</sub>), ainsi que la capacité des micro-organismes à dégrader les boues.

D'après Siboukeuret *al* ;(2015) les résultats ont montré que :

1. Une chute de pH de 9,03 à la valeur de 6,99 dans le digesteur au cours des cinq premiers jours. Ceci est dû à la décomposition permanente de la matière organique et à la formation d'acides gras volatils dans le réacteur,
2. Une diminution de la valeur de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> pendant la digestion. Cette diminution est due à la biodégradabilité des matières organique et inorganique qui se trouve dans les boues.
3. la concentration microbienne a diminué jusqu'à la fin de la digestion.

## Chapitre III : Etat de l'art

**Afilal et al [32]** ont étudié les caractéristiques des différents déchets organiques et évalué le potentiel du biogaz produit par ces derniers dans le but d'une meilleure gestion de ces déchets, la production de gaz inflammable (méthane) et aussi une boue fertilisante pour l'amendement des sols

Dans leur travail, ils ont entrepris une série d'expériences, pour caractériser et fermenter les déchets d'animalerie, déchets de poissons, les fientes de volailles et les viscères de volailles de la ville d'Oujda au Maroc.

Au laboratoire, les différents échantillons ont été étiquetés et mis au congélateur pour subir les différentes analyses physicochimiques. Pour chaque substrat étudié, une série d'analyses est effectuée pour une bonne caractérisation, et plusieurs paramètres étaient étudiés : La masse volumique, l'humidité (% en eau) et teneur en MS, en matière organique (MO), en matière minérale (MM), en carbone organique total (COT), en azote total, en lipides, et en Protéines, ainsi que le dosage des ions et métaux lourds.

D'après Afilal et al :

1. Les déchets organiques étudiés présentent une teneur importante en humidité (supérieur à 60 %) à l'exception de ceux issus de l'animalerie. Donc ces déchets, sont difficilement combustibles, c'est pourquoi la fermentation méthanique reste la meilleure technique de valorisation de ces déchets,
2. Les déchets d'animalerie sont plus riches en carbones (45,98 %), et les déchets de poissons sont plus riches en azotes organiques (11,2 %) par rapport aux autres déchets étudiés. Les quatre déchets organiques présentent des rapports C/N inférieurs à l'optimum pour la bio-méthanisation qui est entre 20 à 30, d'où la nécessité de faire la Co-digestion avec d'autres déchets riches en carbone pour optimiser la production de biogaz,
3. La quantité en différents éléments minéraux dans ces déchets organiques est suffisante et non toxique. Les oligo-éléments (Zn, Cu, Ca, Ni) représentent les teneurs les plus grandes devant les éléments secondaires, d'où l'importance d'une valorisation agronomique pour la fertilisation du sol, la fermentation méthanique en anaérobiose étant un procédé qui conserve l'essentiel de la composition initiale tout en accélérant la maturation du compost qui demanderait plusieurs mois en aérobiose,
4. Le digestat contient aussi certains macroéléments, tel que le potassium (K) avec un maximum qui peut atteindre 34,96 mg/kg pour les fientes de volailles, cet élément est

## Chapitre III : Etat de l'art

indispensable pour les plantes car il intervient dans le fonctionnement physiologique de la plante

En qui concerne la production du biogaz, les auteures ont réalisé la digestion de ces différents déchets à deux températures différentes 45°C et 32°C pendant 40 jours, ce qui a montré :

1. Pour une température de 45°C, les déchets de viscères produit la plus grande quantité de biogaz, les déchets d'animalerie occupe la deuxième place suivi par les fientes de volailles, de chair et enfin les déchets de poissons. Cette différence est due aux lipides qui produisent la plus grande quantité de biogaz,
2. Pour une température de 32°C, les mêmes observations sont constatées que pour la température 45°C, seulement la quantité de biogaz produite est plus élevée. Ce résultat est interprété par le fait que la température de 32°C très proche de la température optimale 35°C.

**Kalloum et al [33]** ont étudié la digestion anaérobie de boues provenant de la station de traitement des eaux usées d'abattoir de la ville d'Adrar dans l'objectif de produire un biogaz

L'étude a été menée dans des bouteilles de sérums fermés de 1 L maintenues à 35 °C et agités manuellement deux fois par jour.

Les auteurs ont suivi plusieurs paramètres de digestion anaérobie tels que le pH, acide gras volatil (AGV), alcalinité totale (AT) et le volume du biogaz produits.

Kalloum et al ont montré que l'évolution du pH, passe par trois parties principales :

1. L'accumulation des AGV conduit à une chute rapide des valeurs de pH de 7,5 à 6,5,
2. La consommation d'acides gras dans l'étape l'acétogenèse conduit à une augmentation des valeurs de pH,
3. Enfin la stabilisation du pH aux alentours de 7 à partir du 22ème jour d'expérimentation, qui peut s'expliquer par le processus de stabilisation de la digestion anaérobie.

Les auteurs ont noté aussi que la variation des deux paramètres AGV et le PH est inversement proportionnelle, et que la production cumulée du biogaz après 47 jours de digestion pour les différents concentrations était de 504, 856 et 864 ml, respectivement.

## Chapitre III : Etat de l'art

**Konan et al [34]** ont étudié la digestion anaérobie des effluents liquides de manioc d'une filière de semoule (Figures n°7) situé dans Abidjan (Côte d'Ivoire) et d'urine humaine pour la production de biogaz inflammable.



**Figure N°7 :** a-Manioc, b-Semoule de manioc.

Pour ce faire, trois digesteurs ( $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ ) ont été utilisés avec des alimentations différentes :

1.  $R_1$  : Effluent de manioc (124L) avec un pH de 3 à 4.
2.  $R_2$  : Effluent de manioc (70 L) plus urine (54L),
3.  $R_3$  : Effluent de manioc (124L), urine (54 L) plus de la bouse de vache (5kg).

Les trois digesteurs constitués chacun de deux fûts métalliques de capacité 100 L et 186 L ouverts chacun sur un des côtés. Le grand fût contient le milieu réactionnel, et le plus petit fût plongé dans le plus grand jusqu'à toucher le fond de ce dernier a servi de gazomètre où est stocké le biogaz produit.

D'après l'étude, les auteurs ont noté que :

1. Les digesteurs ont fonctionné de façon mésophile avec des températures comprises entre 24,0 et 35,6 °C, et que ceux dont l'alimentation contient de l'urine le pH été entre 6,46 et 10,29,
2. Les valeurs du pH dans le digesteur ( $R_1$ ) sont inférieurs aux valeurs de pH dans les digesteurs  $R_2$  et  $R_3$ , et sont dues à l'activité des micro-organismes qui hydrolysent l'amidon contenu dans les effluents pour produire des acides lactique et acétique,
3. La demande chimique en oxygène (DCO) dans le digesteur  $R_1$  été significativement plus élevée que la DCO dans les digesteurs  $R_2$  et  $R_3$ ,

## Chapitre III : Etat de l'art

4. Les concentrations de l'azote total (ATK) ont varié significativement d'un digesteur à l'autre. Des concentrations plus élevées ont été enregistrées dans le R<sub>2</sub> et la plus basse valeur dans le R<sub>1</sub>,
5. Les valeurs du rapport DCO / ATK enregistrées dans le digesteur R<sub>1</sub> sans urine humaine étaient significativement plus élevées que celles observées dans les digesteurs R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub>. Toutefois, pour ses derniers aucune différence n'est apparue dans les rapports DCO / NTK (NTK : azote total khedjel).

Pour la production du biogaz, les auteurs ont noté que les deux digesteurs contenant de l'urine humaine ont donné des valeurs significativement plus élevées que celui du réacteur sans urine. Les volumes cumulés de gaz produits par les trois réacteurs étaient 21,13 dm<sup>3</sup> pour le réacteur R<sub>1</sub>, 827, 04 dm<sup>3</sup> pour le R<sub>2</sub> et 3601,95 dm<sup>3</sup> pour le R<sub>3</sub>.

Ceci est conforté par le teste d'inflammabilité, qui dans le R<sub>1</sub> est presque nulle, alors qu'il est positif dans les deux autres digesteurs.

**kalloum et al [10]** ont travaillé sur la réduction et la valorisation de la boue de lagunage naturel de la ville d'Adrar en utilisant une digestion anaérobie de cette boue (voir les caractéristiques de cette boue au tableau N°3).

**Tableau N°3** : Les caractéristiques de la boue de lagunage naturel de la ville d'Adrar.

Paramètres	Valeur
Matières Organiques (MO), %	54
Matière Sèche (MS), %	7,98
Demande Chimique en Oxygène (DCO), mg/l	1050
Demande Biologique en Oxygène (DBO5), mg/l	840
Ph	7
Azote total Kjeldahl, (TNK), mgN-NTK/kgMS	6,1
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), mg/l	1568
Germestotaux (germes/ml)	1,67 10 <sup>6</sup>
Coliformesfécaux, coliformes/100 ml	1,40 10 <sup>8</sup>
Escherichia coli, germes/100 ml	90
Streptocoquesfécaux, germes/100 ml	110

## Chapitre III : Etat de l'art

---

La réalisation de cette étude est passée par une étape de dilution de 16 g de matière sèche dans un litre d'eau, suivi d'une étape de méthanisation de 33 jours dans un digesteur d'une capacité d'un litre maintenu à 35 °C dans un bain thermostat.

Pour suivre le bon fonctionnement de la méthanisation, des paramètres ont été mesurés à savoir : le PH, AGV et TAC, la détermination de la DCO, DBO<sub>5</sub> et la MS.

D'après Kalloum *et al*, les résultats ont montré qu'il existe une relation inversement proportionnelle entre le PH et les AGV :

- Le PH a diminué suivie d'une augmentation des AGV, due à l'acidogénèse, c'est l'étape pendant laquelle les monomères (Acide aminées, acides gras, oses) se transforme par fermentation en AGV,
- Le PH a augmenté suivie d'une diminution des AGV, due à l'acétogénèse où une grande partie des AGV est assimilée par les bactéries pour former de l'acide acétique.

**Benhamou et al [35]** ont étudié les boues issues du traitement des eaux usées de la Wilaya de Boumerdes, afin d'évaluer la capacité de traitement des boues, d'estimer le risque de pollution et enfin de connaître leur réutilisation à des fins énergétiques en produisant du biogaz. Pour cela, ils ont mené une étude sur les boues physico-chimiques et bactériologiques.

Au préalable ils ont étudiés 44 échantillons de boues déshydratées dans une station d'épuration des eaux usées, 42 pour une analyse physico-chimique et 2 autres pour une analyse microbiologique.

Les auteurs ont noté que le taux en matière organique, qui est un indice de stabilité, excède la norme, soit >40%, alors que le taux en métaux lourds était dans les normes.

Pour ce qui est de l'analyse microbiologique, ils ont mis en évidence la présence d'une grande diversité microbienne et ne sont que des exemples de nombreux micro-organismes pathogènes présents dans les boues et qui peuvent affecter la santé humaine d'une manière indirecte.

## Chapitre III : Etat de l'art

---

Concernant la production du Biogaz, la température de la boue et le pH ont été suivis dans le bio digesteur. Les auteurs ont noté que la température été moyenne et le pH passent par trois étapes :

1. Accumulation d'acides gras volatils qui a conduit à une chute rapide des valeurs de pH inférieures à 5,
2. Evolution la plus lente de 1 à 37 jour où le pH varie de 5,9 à 6,7,
3. Enfin stabilisation du pH aux alentours de 7 à partir de 47 jours.

L'augmentation du pH est considérée due au phénomène de l'acétogénèse et la formation du méthane.

Enfin, grâce à la CPG-SM (Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse), les auteurs ont montré que le gaz méthane est majoritaire dans les gaz produit par le processus anaérobie.

**Derbal *et al* [36]**, ont étudié la modélisation d'un procédé biologique de traitement des déchets solides pour la production de l'énergie et la protection de l'environnement.

Le principe général consiste à introduire le produit (les déchets solides) dans un digesteur fermé où sont maintenues des conditions de température, d'agitation et de temps de séjour favorables au développement de la biomasse active.

Cette étude a permis en premier lieu d'avoir la variation des différents paramètres durant le déroulement du processus de digestion anaérobie. D'après les résultats trouvés, les auteurs ont noté que durant la première étape d'hydrolyse du substrat, il ya eu une diminution de la concentration du substrat en fonction du temps.

Aussi, pour ce qui est de l'influence de la température sur les différents paramètres, Derbal et al ont montré que :

1. concernant le substrat à l'entrée, ils ont trouvé que l'augmentation de la température a influencé positivement la vitesse de dégradation du substrat, c'est-à-dire qu'il y a une augmentation de la vitesse de dégradation du substrat,
2. pour la production des acides gras volatiles, ils ont constaté que l'augmentation de la température n'a pas influencé régulièrement sur la cinétique de production des

## Chapitre III : Etat de l'art

---

acides gras, et cela peut être expliqué par la faible cinétique de consommation lors de l'étape d'acétogénèse.

3. pour la production des acides simples, ils ont constaté que l'élévation de la température influe positivement sur la cinétique de production des acides simples, et cela peut être observé par l'augmentation de la concentration de ces derniers,
4. Enfin, concernant la production du méthane, ils ont trouvé que l'élévation de la température influe positivement sur certaines étapes de la digestion anaérobie, donc elle peut accélérer le phénomène de digestion dans le cadre générale,

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

Notre étude expérimentale a été réalisée au laboratoire de chimie du Socle SNV de l'Université Mouloud Mammeri (Tamda), au laboratoire commun de microbiologie de la Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, au laboratoire d'analyse au niveau de la STEP EST de Tizi-Ouzou (ONA), et au laboratoire de recherche génie chimie situé au niveau de l'université Mouloud Mammeri (Hasnaoua)

### IV.1. Présentation de la station d'épuration d'Est de TIZI OUZOU (STEP)

Tizi-Ouzou est une ville du nord centre du pays, située à 120 Km à l'est d'Alger et à 30 Km des côtes méditerranéennes, et elle compte plus de 100 000 habitants.

La station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou (figure N°8) été conçue au début des années 90 et a été mise en marche en 2000.



**Figure N° 8** : STEP Est de Tizi-Ouzou [37].

La STEP Est de Tizi-Ouzou d'une superficie de 35591 m<sup>2</sup> dont 14714 m<sup>2</sup> bâti, est un établissement d'une capacité de 120000 équivalents habitants, conçue pour épurer les eaux usées urbaines afin de protéger le milieu récepteur, en l'occurrence l'oued Sebaou.

Elle est située à la sortie Est de la ville de Tizi-Ouzou en dehors du tissu urbain, sur la rive gauche d'Oued Sebaou à 200 m en amont du Pont de Bougie sur le chemin de wilaya n° 124 reliant Tizi-Ouzou à Bejaia (figure N°9).

## Chapitre IV : Matériels et méthodes



**Figure N°9** : La situation géographique de la STEP [38].

### IV.1.1.Composition de la station :

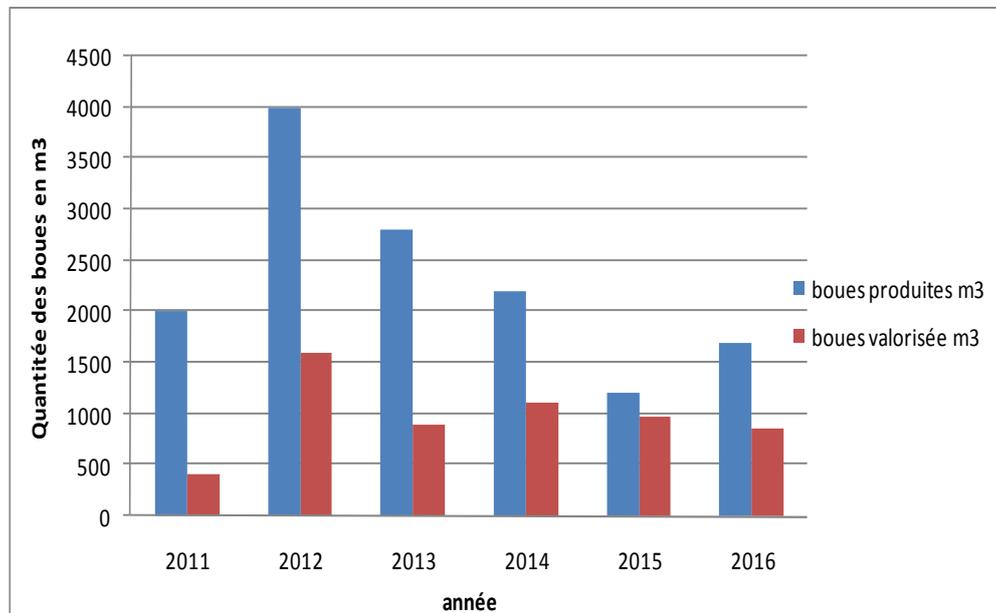
La station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou est composée de plusieurs installations illustrés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau N°(4)** : Les différentes installations de traitement dans la STEP [36].

Les différents traitements	Nom de l'installation	Nombre
Prétraitement	Dégrilleur Dégrillage grossier (manuel) Dégrillage fin (mécanisé et manuel)	1
	Déssableur-déshuileur	2
Traitement secondaire	Bassin d'aération	2
Clarification	Décanteur	2
Stabilisation	Bassin de stabilisation	2
Epaississement	Epaississeur	1
Déshydratation	Lit de séchage	20

### IV.1.2. Estimation de la production et la destination finale des boues de la STEP

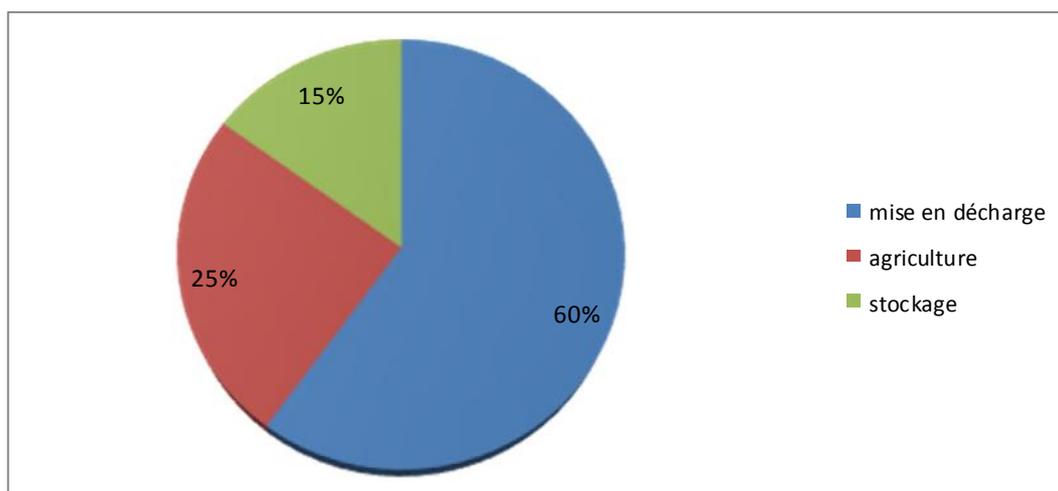
Le traitement des eaux usées urbaine de la STEP Est de Tizi-Ouzou produit environ 383 tonne par an de boues (exprimée en MS). La quantité des boues produites dans cette STEP durant ces dernières années est illustrée dans la figure N°10.



**Figure N° 10:** quantités des boues produites et valorisée dans la STEP Est de Tizi-Ouzou durant les dernières années [36].

Actuellement, dans la STEP Est de Tizi-Ouzou il existe trois filières d'élimination des boues.

La figure N°11 montre le pourcentage des boues destinée pour chaque filière.



**Figure N° 11 :** destination final des boues [36].

### IV.2. Matériel d'étude

#### IV.2.1. Description du bio- digesteur

Le bio-digesteur utilisé est un dispositif de 5 litre en plastique d'une forme cylindrique est muni de trois trous, tel que montré sur schéma sur la figure N°12 et l'image dans la figure N°13. Nous avons fixé au premier un entonnoir pour l'entrée des boues, le deuxième pour le prélèvement des échantillons liquides à l'aide d'une seringue afin de mesurer le pH et l'autre pour assurer l'échappement du gaz produit et l'acheminement dans une chambre à air pour la récupération du biogaz.

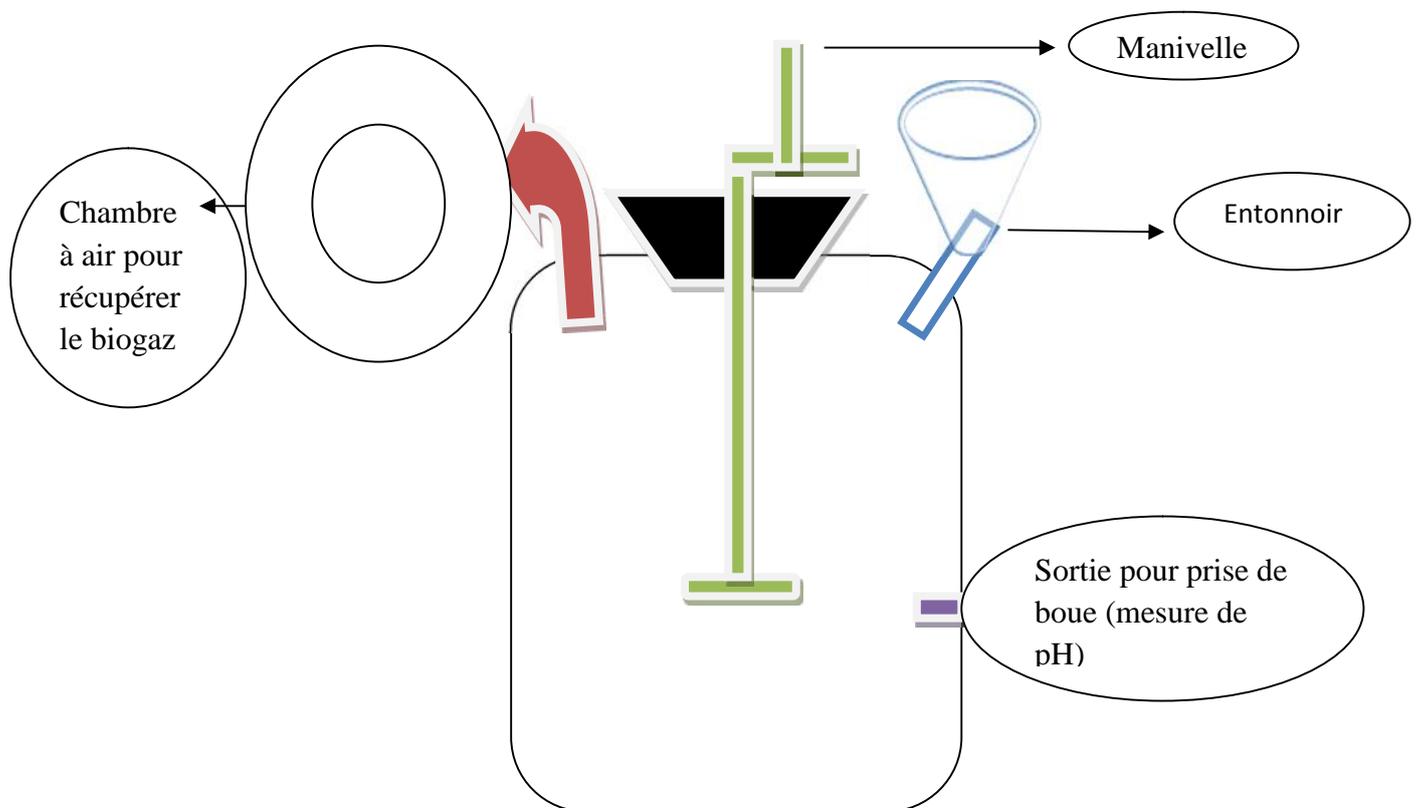


Figure N°12 : Schéma du bio digesteur



**Figure N°13 :** Image du dispositif (photo originale, 2017).

### **IV.2.2. Le substrat utilisé**

L'échantillon de boues est obtenu de la station d'épuration d'Est de Tizi-Ouzou (ONA) a été prélevés le 18 Avril 2017 du stade d'épaississement de la boue activée. Cette boue de consistance liquide est recueillie le jour même du lancement de l'expérience pour éviter toute dégradation de la matière organique avant utilisation.

Dans notre expérience, des analyses physico-chimique, microbiologique et l'analyse de biogaz ont été réalisées.

Pour la réalisation de notre étude, nous avons utilisé plusieurs matériels et réactifs qui se trouvent en annexe 1.



**Figure N°14** : La boue utilisée (photo originale, 2017).

### I.3.Méthodes

#### VI.3.1. Préparation et lancement de la fermentation

On a rempli le digesteur avec l'eau puis on l'a vidé pour faire évacuer l'air contenu à l'intérieure, on a ensuite introduit la boue épaisse avec un volume de 5L, qui contient 45% de la matière sèche par l'entonnoir, puis on a directement fermé le trou avec un bouchant en liège. Enfin, on a mis le digesteur dans un bain mairain qui est rempli d'eau distillé à une température  $T= 35^{\circ}$ .



**Figure N°15** : lancement de l'expérience (photo originale, 2017).

### IV.3.2. Les analyses physico-chimiques des boues

#### IV.3.2.1. Mesure du pH

Au cours de la fermentation anaérobie on a suivi la variation du pH qui représente un bon indicateur du bon déroulement de processus.

Le pH est la mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Il est un facteur important dans le processus de méthanisation. Il doit se situer dans un intervalle compris entre 5.5 et 7. Un pH ne se situant pas dans cette fourchette de mesure entraînerait un déséquilibre d'ordre chimique, mais également d'ordre biologique au sein de la population bactérienne, et par conséquent un dysfonctionnement total au niveau du processus [9, 13]

Pour mesurer et déterminer le pH on a suivi les étapes suivantes :

1. Nous avons employé un pH mètre à électrode combinée et étalonnée à l'aide d'une solution étalon de pH connu (7,4) ;
2. a 25 g de boue sont ajoutée 250 ml d'eau distillé, le mélange s'effectue par agitation légère à l'aide d'un agitateur magnétique ;
3. après centrifugation, filtration ou décantation de la solution ;
4. mesure du pH sur le surnageant ;
5. la valeur du pH est donnée par l'appareil illustré dans la figure N°16.



**Figure N°16** : pH Mètre de type HANNA HI2210 (photo originale, 2017).

### IV.3.2.2. Détermination de taux de matière sèche (MS) :

La boue est constituée d'eau et de matière sèche (MS). Le pourcentage en MS représente la Siccité.

**Boue = eau + matière sèches**

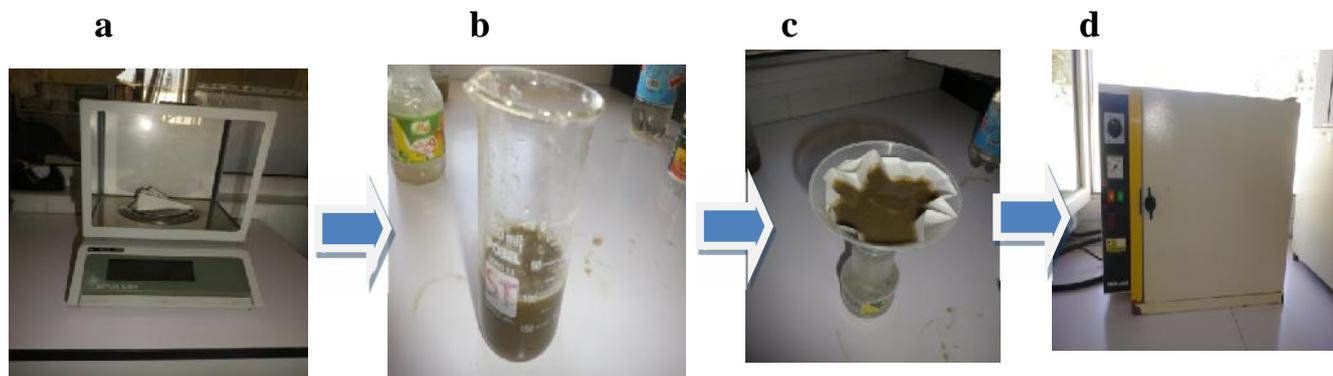
**100% = Humidité (%) + Siccité (%)**

La matière sèche (MS), est ce que l'on obtient lorsqu'on retire l'eau d'un produit. Le pourcentage de MS est le ratio entre le poids de la matière séchée et la masse de la matière non-séchée (hydratée). La concentration en MS permet de connaître la quantité de boues à traiter [13].

Pour déterminer le taux de matière sèche, que la figure N°17 illustre, on a suivi les étapes ci-après :

1. nous avons pesé un papier filtre (sa masse est notée  $P_0$ ) ;
2. nous avons filtré 100 ml de boue a l'aide du filtre préalablement pesé ;
3. après filtration, nous avons mis le papier filtre dans une coupelle, puis le tout à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C}$  jusqu' à l'obtention d'un poids constant ;
4. nous avons pesé une deuxième fois ce filtre (sa masse est notée  $P_1$ ) ;
5. nous avons calculé la concentration des MS avec cette formule :

$$MS\% = \frac{P_1 - P_0}{V} \times 1000$$



**Figure N°17** : Les étapes de détermination de la MS (photos originale, 2017).

### IV.3.2. 3. Détermination de la teneur en matière organique

La matière sèche est constituée de matières minérales (MM) et de matières organiques (MO), ces derniers appelés matière volatiles sèches (MVS). La détermination de taux de matière volatil est une certes une évaluation grossière de la matière organique, toutefois, le suivi de ce taux permet de connaître la stabilité d'une boue d'épuration. Plus le taux de MVS est faible, plus la boue est facile à épaissir ou à déshydrater [4].

Pour la détermination de la teneur en matière organique ou le taux des MVS on a suivi les étapes suivantes :

1. nous avons introduit dans une coupelle de poids connu  $P_0$  une quantité de boue ;  
Placé la coupelle dans une étuve à  $105^\circ$  jusqu'à évaporation totale ;
2. Après refroidissement nous avons pesé la coupelle ( $P_2$ ) ;
3. Puis nous avons procédé à une calcination à  $550^\circ$  pendant 2h ;
4. Une fois la coupelle est refroidie on a procédé à une dernière pesée pour avoir le poids ( $P_3$ ), et on a calculé la concentration des MVS selon cette formule :

$$\boxed{\text{MO} = \text{MVS}}$$

$$\text{MVS} = \left( \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_0} \right) \times 100$$

Avec : ( $P_2 - P_0$ ) : détermine le poids des MS

### IV.3.2.4 Détermination du carbone organique (COT)

Le taux de carbone est déterminée par l'oxydation à chaud du carbone de la matière organique a la présence d'un puissant oxydant : le bichromate de potassium au milieu sulfurique, puis l'excès du bichromate est titré par un réducteur : le sel de mohr en présence de diphénylamine et le NAF. Suivant les étapes ci-dessus :

1. peser 2 g de boue dans un bicher de 250 ml
2. ajouter 10 ml de bichromate de potassium a 8%

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

3. 15 ml d'acide sulfurique, puis couvrir avec des vers de montre et laisser bouillir sur la plaque chauffante. Compter 5 minutes après l'apparition de la première goutte de condensation.
4. laisser refroidir, transvaser dans un ballon jaugée de 200 ml et laver le bicher avec 150 ml d'eau distillé et compléter jusqu'au volume. Après homogénéisation, prélever 20 ml de la solution et lui ajouter 100 ml d'eau distillé.
5. ajouter 4 gouttes de diphénylamine et 1,5 g de fluorure de sodium (NAF).
6. titrer en agitant avec la solution de sel de mohr 0,2N. La couleur passe du brun violacée au bleu-verte.

### IV.3.2.4. Dosage de l'azote kjeldahl (NTK)

L'azote total kjeldahl représente des formes réduites de l'azote (organique et ammoniacal). La détermination de la teneur en azote et des types des substances qui le contiennent permet d'estimer la valeur agricole d'une boue, et d'évaluer les risques de pollution à l'épandage des boues.

La détermination du NTK, se fait par plusieurs étapes :

Faire une minéralisation :

1. ajouter 0,7 g de l'échantillon à analyser (boue), 7,5 ml de catalyseur de minéralisation  $H_2SO_4$ , du sélénium en poudre, une pincé de catalyseur  $CuSO_4 + K_2SO_4$  ;
2. mettre le tout dans le digesteur UV pour une durée de 2 h jusqu'à obtention d'une solution claire ;
3. refroidir pendant 10 min ;
4. faire une dilution dans une fiole de 75 ml

Après l'étape de la minéralisation

1. verser 10 ml du contenu de la fiole dans le tube de distillation ;
2. ajouter 10 ml d'eau distillé et 20 ml de NaOH à 40% ;
3. recueillir le distillat dans un erlenmeyer contenu 10 ml d'acide borique à 4% et une goutte d'indicateur coloré (bleu de méthylène (2/3), rouge de méthyl (1/3) dissoudre dans 100 ml d'alcool) ;

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

4. utiliser un titrage avec l'acide sulfurique (0.01N) ;
5. procéder à la même opération à blanc avec l'eau distillée.

Le résultat du taux NTK nous a été fourni par l'ONA est exprimé en pourcentage de MS.

$$N(\%MS) = \frac{75 \times V_0 \times N_0 \times Mn}{P_e \times 1000} \times 100$$

Avec : **V<sub>0</sub>** : Volume de l'acide sulfurique au dosage.

**N<sub>0</sub>** : normalité de l'acide sulfurique.

**M<sub>n</sub>** : masse molaire de l'azote.

**P<sub>e</sub>** : prise d'essai en g.

### IV.3.2.6. Le rapport C/N

Le rapport C/N est important pour la stabilité du processus. Si ce rapport est trop important, le carbone a du mal à être complètement dégradé. À l'inverse, un rapport trop faible peut entraîner une production importante d'ammoniac qui inhibe les bactéries à de faibles concentrations. Pour avoir une bonne stabilité, le rapport C/N doit être compris entre 10 et 30 environ [7].

### IV.3.2.7. Détermination de demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La DBO est la consommation en oxygène des micro-organismes présents dans le milieu en essai pour assimiler les substances organiques présentes dans ce même milieu. La durée de l'essai est de cinq jours d'où le nom de DBO<sub>5</sub> [13].

Durant cette période, la consommation en oxygène provient de deux réactions. D'une part, il se produit une oxydation lente par voie chimique des composés organiques ou minéraux réducteurs en présence d'oxygène dissous. D'autre part, les micro-organismes présents dans le milieu consomment de l'oxygène pour métaboliser les matières organiques

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

assimilables. La connaissance de cette valeur permet d'évaluer la charge polluante contenue dans la boue

La détermination de la  $DBO_5$ , se fait par les étapes suivantes :

1. remplir une bouteille ombrée avec 150ml de boue ;
2. mettre un Oxymètre ;
3. Ensuite, placer dans le DBO mètre (enceinte réfrigéré) à température constante  $20^{\circ}C$  et à l'obscurité pendant 5 jours. Au bout de 5 jours on procède à la lecture.

✓ Le résultat nous a été fournis par l'ONA

### IV.3.2.8.Détermination de demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions de l'essai. Contrairement à la  $DBO_5$  où l'oxydation se fait lentement par l'activité des microorganismes, l'oxydation pour la mesure de la DCO est provoquée à l'aide d'un oxydant (bichromate de potassium) et des conditions données (ébullition, catalyseur, ...).

Alors que la  $DBO_5$  ne mesure que la matière organique naturellement et rapidement dégradable, la DCO permet de mesurer la majeure partie de la matière organique biodégradable et peu dégradable. C'est pourquoi les valeurs de la DCO sont nécessairement supérieures aux valeurs de la  $DBO_5$ . Le rapport  $DCO/DBO_5$  permet d'évaluer le caractère biodégradable de la matière organique [13].

Pour la détermination de la DCO :

1. Prendre 10 ml de boue ;
2. Ajouter 5ml de dichromate de potassium, 15 ml d'acide sulfurique ;
3. Mettre ce derniers dans le réacteur à DCO pendant 2h de temps à  $150^{\circ}C$ , et après refroidissement ajouter 45ml d'eau distillé ;
4. procéder à la titration avec le sulfate de fer et d'ammonium ;
5. faire une lecture sur la burette.

Le résultat nous a été fournis par l'ONA

### IV.3.2.9. Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub>

Comme on l'a déjà signalé, la DCO est une mesure des matières organiques biodégradables et non biodégradables, et la DBO<sub>5</sub> une mesure des matières organiques biodégradables.

Pour vérifier l'efficacité des bactéries dans la dégradation de la pollution, on calcule le rapport entre la DCO et la DBO<sub>5</sub>, appelé rapport de biodégradabilité [9]:

- Si DCO/DBO<sub>5</sub> est supérieur à 3, la pollution est peu ou pas biodégradable ;
- Si DCO/DBO<sub>5</sub> inférieur à 2.5 indique une bonne biodégradabilité [9].

### IV.3.3. Les analyses microbiologiques

L'évaluation microbiologique de ces boues porte sur la recherche et le dénombrement de certaines bactéries.

On sait que les boues contiennent plusieurs microorganismes pathogènes identifiés par la littérature.

#### IV.3.3.1. Préparation des milieux de culture

Ces derniers arrivent en états de poudre. Les milieux déshydratés se préparent en dissolvant une certaine quantité selon les milieux dans un litre d'eau distillée (ANNEXE 2) ; bien mélangé jusqu'à l'obtention d'une suspension homogène, chauffé en agitant fréquemment pour assurer la fusion et l'homogénéisation des milieux. Après ébullition, les milieux sont repartis soit en flacons soit en tubes, et autoclavé à une température de 120°C pendant 15 min.

#### IV.3.3.2. Préparation des dilutions décimales

La préparation des dilutions décimales est réalisée selon la norme française (NF V-0572), cette étape permet de diluer la SM jusqu'à obtenir une concentration microbienne exploitable.

A partir de la SM, on réalise une succession de dilutions décimales requises pour déterminer le nombre de bactéries dans l'échantillon, en transférant 1 ml de la dilution antérieure dans 9ml de l'eau physiologique, et pour chaque transfert on utilise un emboué stérile distinct. Il faut agiter toutes les dilutions immédiatement avant d'effectuer le transfert afin d'assurer que les micro-organismes présents sont distribués d'une façon uniforme.

### IV.3.3.3. Ensemencement et incubation

À partir des dilutions on procède aux ensemencements dans des milieux sélectifs et spécifiques pour chaque type de microorganisme, qui après incubation permettront l'identification et le dénombrement, ou la détection de la présence ou l'absence des microorganismes recherchés.

### IV.3.3.4. Recherche et dénombrement des germes totaux

L'échantillon de boue à analyser est filtré à travers une membrane qui retient les microorganismes, la membrane est ensuite placée sur un milieu gélosé. Durant l'incubation de 24h à 37°, des colonies se forment à la surface de la membrane.

### V.3.3.5 .Recherche et dénombrement des *staphylocoques aureus*

Pour ce faire on a suivi la méthode suivante :

1. un tube contenant 10 ml du milieu Giolitti Cantoni (GC) additionné de quelques gouttes de tellurite de potassium pour lequel on a ajouté 10 ml de la SM ;
2. après incubation à 37°C pendant 48h, un repiquage a lieu sur le milieu Chapman.

### IV.3.3.6. Recherche et dénombrement des *salmonelles*

Les micro-organismes pathogènes comme les salmonelles sont généralement présentes en grand nombre dans les boues.

Pour leurs identifications, les étapes suivantes ont été suivies :

1. la première étape consiste en une revivification grâce à la réalisation d'une suspension-mère de pré-enrichissement. La SM utilisée pour les analyses précédentes est incubée à une température de 37°C pendant 18h ;
2. la deuxième étape consiste en un enrichissement en milieu sélectif liquide, un tube contenant 10 ml de la solution pré enrichie est ensemencé dans 10 ml du bouillon SFB, et incubé à 37°C pendant 18h ;
3. la troisième étape consiste en un isolement en milieu solide sélectif, le milieu d'isolement utilisé est la gélose Salmonella-Shigella (gélose SS). Une fine couche de ce milieu est coulée sur une boîte de Pétri, après solidification, un ensemencement en

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

strie est réalisé à l'aide d'une anse à fil bouclé trempée dans la solution enrichie, la boîte est incubée retournée à 37°C pendant 24h.

Après incubation les salmonelles se développent sous forme de colonies à centre noir (produisent le H<sub>2</sub>S à partir de la cystéine), alors que les Shigelles apparaissent incolores (elles ne produisent pas le H<sub>2</sub>S).

Le dénombrement a été fait à l'aide d'un compteur des colonies ensuite l'utilisation du résultat obtenu dans la formule suivante :

$$[N] = \frac{\epsilon_c}{(n_1 + 0.1n_1)dV}$$

$\epsilon_c$  : l'ensemble des colonies ;

$n_1$  : le nombre des boîtes pétri ;

$dV$  : l'indice de dilution

### IV.3.4. Analyses du biogaz par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Le principe de la chromatographie repose sur un équilibre de concentrations des composés présents entre deux phases en contact : la phase stationnaire et la phase mobile (gaz ou liquide) qui se déplace. La séparation est basée sur la différence d'entraînement des constituants du mélange à séparer. Cette différence est liée aux propriétés intrinsèques des constituants du mélange (taille, structure, ...) ou à leur affinité avec la phase stationnaire (polarité, ...).

La CPG est une technique de séparation des molécules. Elle est utilisée pour repérer les substances qui composent un mélange gazeux ou susceptibles de le devenir sans décomposition par chauffage

Dans ce présent mémoire, on a utilisé pour l'analyse de biogaz un appareil de chromatographie en phase gazeuse de type SHIMADZU GC-2014 (voir figure n°18,19) équipé de deux détecteur FID et TCD.

La séparation des différents gaz (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) a été faite sur TCD qui a deux colonnes moyennement polaires :

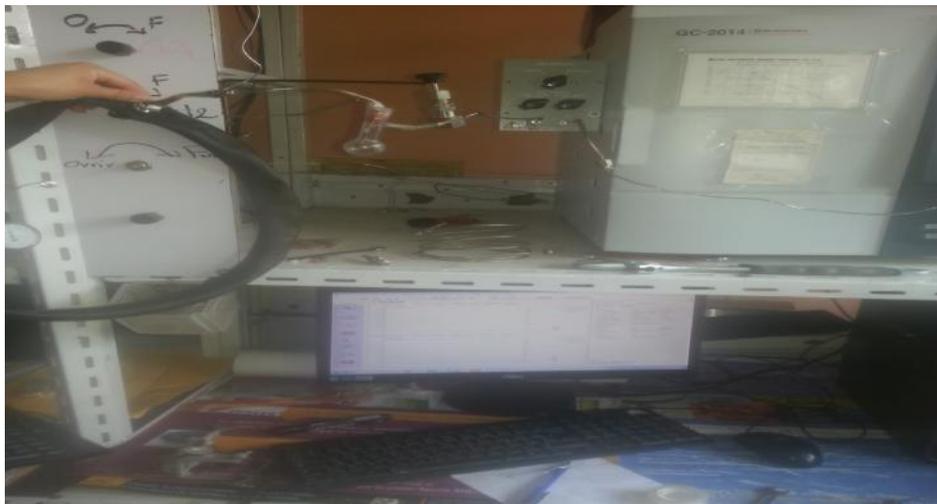
Un type colonne (porapak R) de référence et une de type (porapak Q) pour l'échantillon a analysé

## Chapitre IV : Matériels et méthodes

Les échantillons ont été analysés dans les conditions suivantes : température de l'injecteur 100°C, température des détecteurs 100°C, volume du gaz injecté 1 ml, gaz vecteur Argon.



**Figure N°18** : Appareil d'analyse de biogaz (CPG), (SHIMADZU GC-2014), (photo originale, 2017).



**Figure N°19** : La mesure du biogaz par la CPG (photo originale, 2017).

## Résultats et discussion

Dans ce chapitre on discutera les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques, microbiologiques, et l'analyse du biogaz produit de l'expérience qui a une durée de 27 jours (prélèvement de 18 Avril).

### V.1. Analyse physico-chimique

#### V.1.2. L'évolution du pH en fonction du temps

La mesure de l'évolution du pH en fonction du temps de la bio-digestion est donnée sur la figure N°20

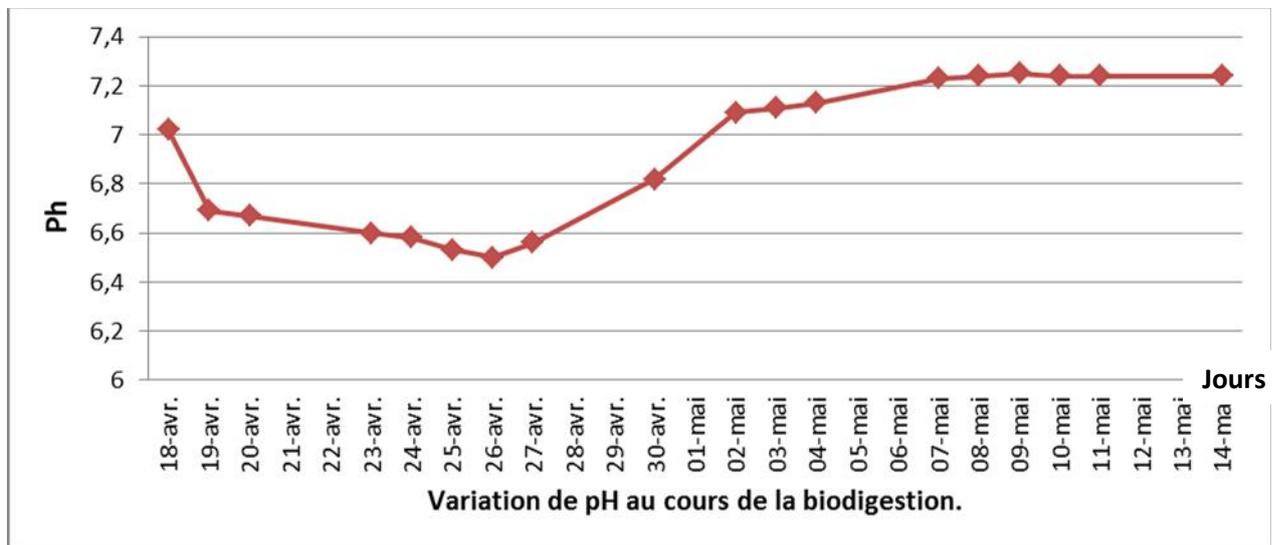


Figure N°20: L'évolution du pH en fonction du temps.

D'après la figure N° 20, nous avons remarquer que les valeurs du pH sont comprises entre 6,5 et 7,24 au cours de la bio-digestion anaérobie de la boue. On peut noter trois phases distinctes notées par différents auteurs [12, 31, 33, 35,36 ,39]:

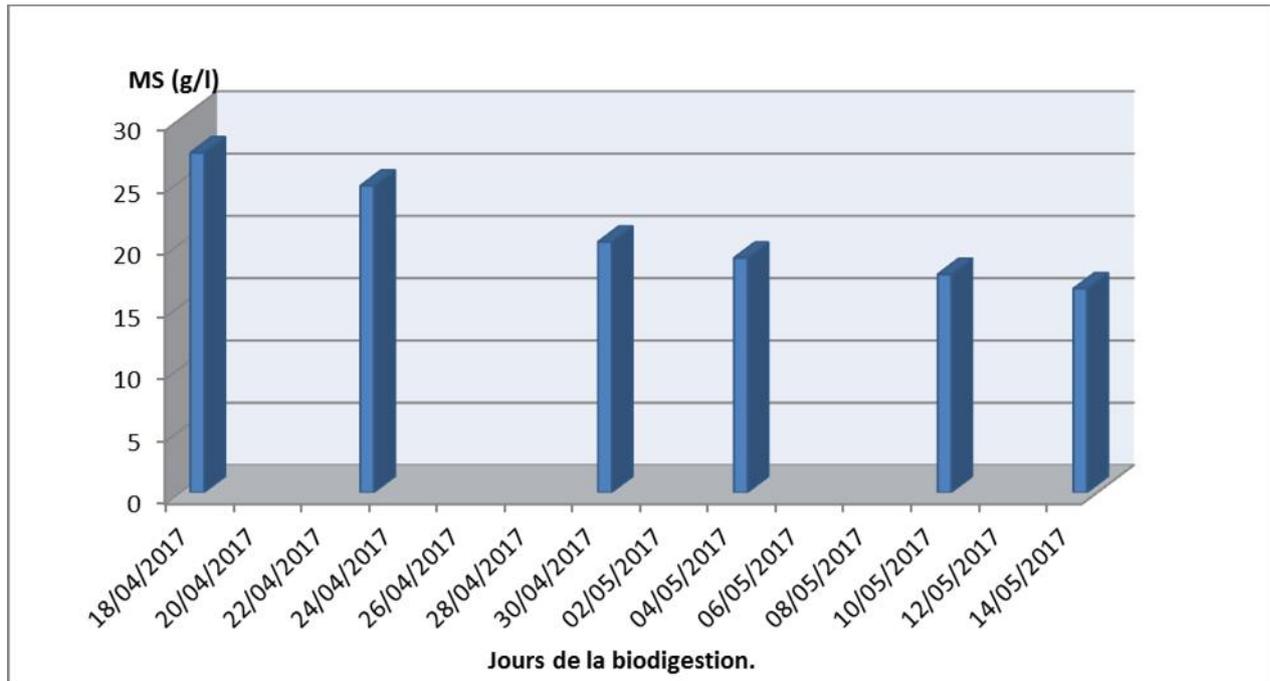
- La première phase dure 9 jours, et correspond à une chute du pH de la valeur 7,02 à la valeur 6,5. Cela est dû à la dégradation de la matière organique et formation des acides gras volatils ;
- Dans la deuxième phase qui dure 10 jours, on note une augmentation du pH de 6,5 à 7,24, qui est à l'origine de la consommation des acides gras volatils par les bactéries ;
- Enfin, la dernière phase est une phase de la stabilisation, qui est enregistrée à partir de 20<sup>ème</sup> jours jusqu'à la fin de l'expérience. Durant cette phase tous les métabolites produits passent dans la phase méthanogène.

## Résultats et discussion

La digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité. Le pH est donc le paramètre qui renseigne sur la stabilité et le bon fonctionnement du processus qui varie selon certains auteurs entre 6,5 et 7,5 [39] ce qui montre que notre pH est dans cette gamme de variation, d'où un bon fonctionnement de la bio-digestion.

### V.1.3. Variation de la Matière sèche

La variation de matière sèche pendant la bio-digestion est présentée sur la figure N°21.



**Figure n° 21** : La variation de la matière sèche en fonction du temps.

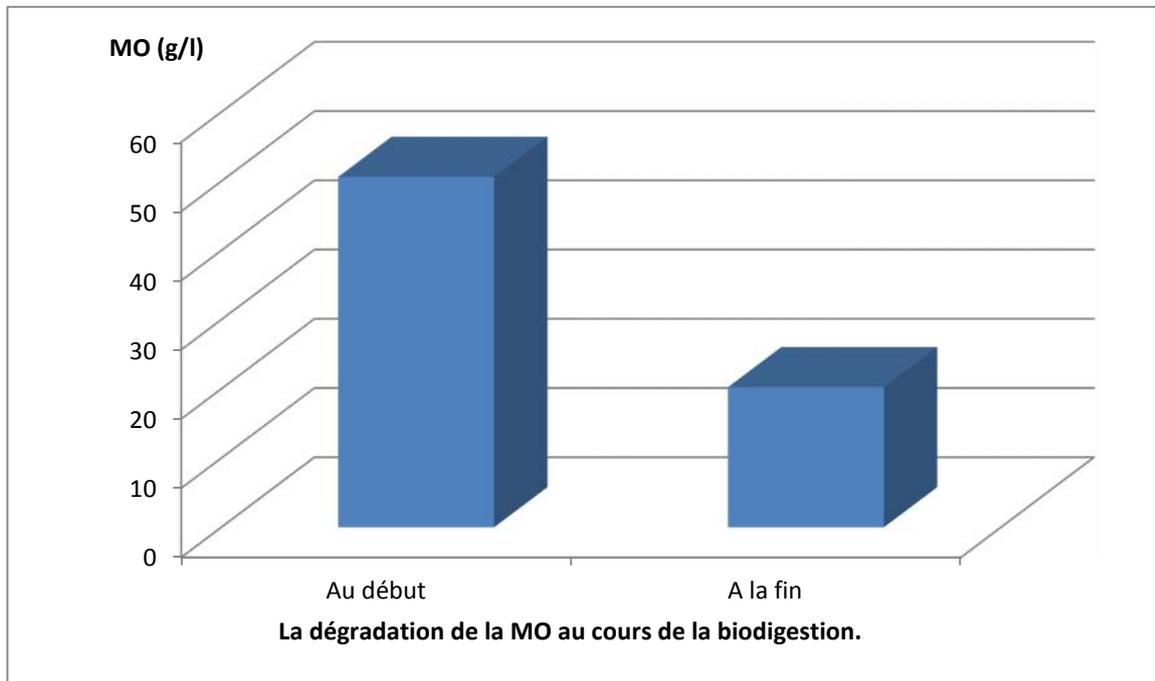
D'après certains auteurs la siccité des boues épaissies se situe entre (10 - 25) [4, 9,10]. La teneur initiale en matière sèche de notre échantillon est de 27.29 g/l, donc notre boue est bien épaissie.

D'après la figure N° (21), on constate une réduction de 40 % la MS pendant la bio-digestion, qui est due à la dégradation de la matière organique par les microorganismes ou cours de différentes étapes de la méthanisation. La même constatation est faite par d'autres auteurs [41].

## Résultats et discussion

### V.1.4.Matière organique

L'évolution de la matière organique est donnée sur la figure N°22.



**Figure N°22** : La réduction de la matière organique au cours de la bio-digestion.

La concentration des boues en MO est un paramètre très important dans la conversion méthanogène car la méthanisation est la transformation de la MO dans des conditions anaérobies en un biogaz. Donc si la concentration est grande, la production augmente mais reste toujours dans l'intervalle optimal qui est de [30 à 80g/l] [4].

La teneur initiale de notre échantillon est de 50.64 g/l, c'est une quantité très importante. D'après la figure N° (21), on constate une réduction de 50 % la MO, qui est due à la dégradation de cette dernière par les micro-organismes présents dans la boue au cours de la bio-digestion.

La dégradation de la matière organique pendant la digestion conduit à une réduction du volume des boues, la diminution de ces dernières facilite leur traitement de valorisation ou d'élimination : donc la STEP réalise un gain de volume, ce qui lui permet de diminuer ses coûts liés à l'évacuation des boues (transport, taxe d'épandage, taxe incinération...).

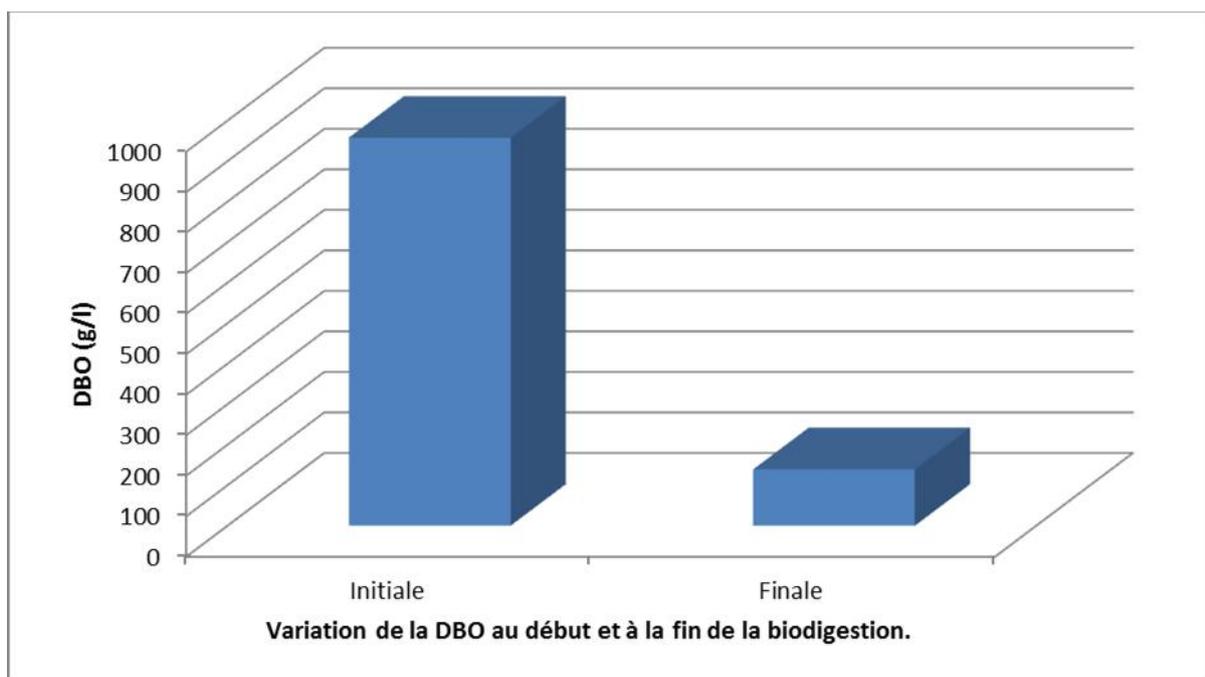
## Résultats et discussion

### VI.1.5. Le rapport C/N

Le rapport C/N est de 13.34. Cette valeur est comprise dans l'intervalle optimal qui est entre 10 et 30 [21]. De ce fait, on peut être sûr de la stabilité de processus et l'absence de la production d'ammoniac qui inhibe les bactéries [25].

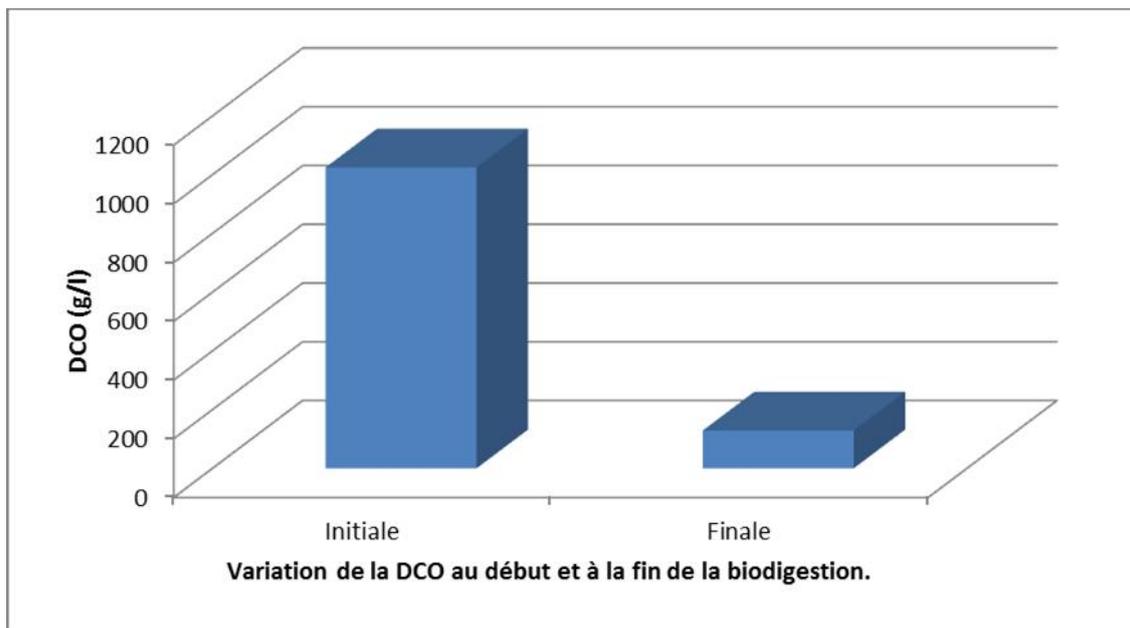
### V.1.6. La DBO<sub>5</sub> et la DCO

La réduction des polluants biodégradable (DBO<sub>5</sub>) dans la boue est illustrée dans la figure N°23, et celle des polluants biodégradables et peu ou moins biodégradable (DCO) dans la boue est illustrée dans la figure N°24.



**Figure N°23** : Variation de la DBO<sub>5</sub> au cours de la digestion anaérobie.

## Résultats et discussion



**Figure N°24 :** Variation de la DCO au cours de la digestion anaérobie.

Les figures 23 et 24, illustrent les variations des paramètres dits d'épuration : la DBO<sub>5</sub> et la DCO au cours de la biodigestion. Il s'avère d'après ces figures, un abattement important des deux paramètres 90 % pour la DBO<sub>5</sub> et 86 % pour la DCO. D'après ces valeurs on peut dire que la digestion anaérobie est une méthode efficace pour l'abattement de la pollution organique, fait signalé par d'autres travaux [10, 31, 32, 42, 43].

Ce qui conforte l'idée que notre étude est une opportunité à la valorisation des déchets organiques, en particulier ceux des stations d'épurations des eaux usées urbaines, en particulier dans le domaine énergétique en produisant un biogaz utilisable à des fins domestiques.

### V.1.7. Le rapport DCO/DBO

Le rapport DCO/DBO est aussi appelé le rapport de la biodégradabilité car il renseigne sur l'efficacité des bactéries dans la dégradation de la pollution.

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> détermine la possibilité et le rendement de dégradation, et c'est un indicateur de traitement des boues.

- Si  $DCO/DBO_5 > 3$ , la pollution est peu ou pas biodégradable ;
- Si  $DCO/DBO_5 < 2.5$ , indique une bonne biodégradabilité [9].

## Résultats et discussion

D'après nos résultats, le rapport DCO/DBO5 est égale à 0.92 à la fin de la méthanisation, cette valeur est inférieure à 2,5 et par conséquent on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable. La digestion anaérobie est un traitement biologique devant être capable d'éliminer l'essentiel de la pollution existant dans la boue résiduaire.

### V.2. Résultats des analyses microbiologiques

#### V.2.1. La recherche et le dénombrement des germes totaux, les *salmonelles* et les *staphylocoques aureus*

Le tableau N°5 donne les résultats de l'analyse microbiologique au début et à la fin de la bio-digestion.

**Tableau N°(6) :** Charge microbienne de la boue au début et à la fin de la bio-digestion.

Microorganismes	Début de la bio-digestion	Fin de la bio-digestion
Germe totaux, germes/ml	$1.84 \times 10^6$	$1,27 \times 10^5$
<i>Salmonelle</i> , germes/100ml	115	34
<i>staphylocoques aureus</i> germes/100 ml	132	12

La charge microbienne de la suspension obtenue après digestion a été déterminée. D'après le tableau N°6, on observe que le taux de germes totaux est passé de  $1,84 \times 10^6$  avant l'utilisation à  $1,27 \times 10^5$  germes/ml (figure N°25) après 27 jours de séjour dans le bio-digester. Cela montre clairement qu'une hygiénisation accompagne tous les changements qui s'opèrent au sein du réacteur. Cette dernière est la cause de la réduction de certaines espèces dans le milieu réactionnel après la bio-digestion, en particulier les *Salmonelles* (figures 26) et les *staphylocoques aureus* (figures 27) avec un taux de réduction qui est de 70% et de 90% respectivement.

Les mêmes observations ont été rapportées par d'autres chercheurs sur *Escherichia coli* et les *Streptocoques fécaux* [10].

Malgré l'absence de réglementation qui limitent le nombre de microorganismes dans les boues, en raison du manque d'étude contraignantes des épidémies dans les boues d'épuration, le risque pour la santé reste possible.

## Résultats et discussion

En effet, même si les microorganismes ne sont pas absorbés par les plantes, ils peuvent être transmis par voie aérienne ou liée à des lésions de certaines plantes telles que les légumes, ce qui entraîne de grave risque pour la santé des personnes se trouvant à proximité des terres recouvert de boues [35]. Par conséquent on a besoin de moyen pour éliminer ces pathogènes, ce qui rend le traitement des boues par séchage ou par déshydratation inefficace.

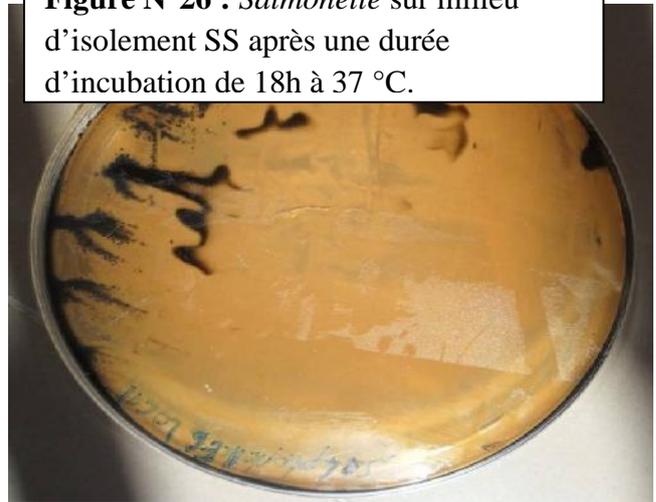
En définitif, la digestion n'apporte pas de pathogène supplémentaire, elle ne fait que les réduire fortement sans pouvoir les éliminer totalement. Cette réduction permet de limiter les risques auprès des opérateurs lors de la manutention du digestat ou de son épandage en agriculture.

### ❖ Photos des analyses microbiologiques à la fin de la bio-digestion (photos originelles, 2017)

**Figure N°25 :** Germe totaux sur un milieu gélosé après une durée d'incubation de 24h à 37°C.



**Figure N°26 :** *Salmonelle* sur milieu d'isolement SS après une durée d'incubation de 18h à 37 °C.



**Figure N°27 :** Les *Staphylocoque aureus* sur milieu Chapman après 18h d'incubation à 37°C.

## Résultats et discussion

### V.3.Analyse de biogaz :

#### ❖ Les résultats obtenu par la CPG sur la composition de biogaz

La figure N°28 montre les résultats d'analyse du biogaz sur le ditecteur TCD qui nous renseigne sur les différents gaz présent dans notre échantillon.

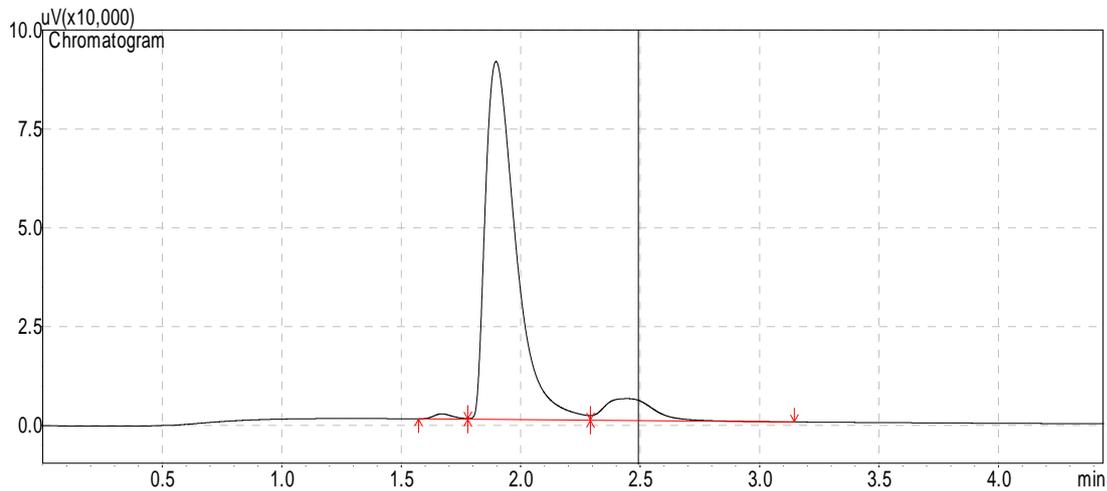


Figure N°(28) : La détermination de la composition du biogaz sur le détecteur TCD.

Tableau N°(6) : la composition du biogaz sur le détecteur TCD.

Pic	Le temp de rétention (min)	Pourcentage(%)
1	1.670	0.8137
2	1.897	90.2466
3	2.445	8.9397

Les résultats de TCD ont montré que le biogaz est constitué essentiellement de trois principaux gaz [9].

D'après la figure N°28 et le tableau N°7 on a constaté que :

- Le premier pic renvoie au **H<sub>2</sub>S** avec un très faible pourcentage qui ne dépasse pas 1%
- Le deuxième pic renvoie au **CH<sub>4</sub>** avec un pourcentage très important qui dépasse 90% ,

## Résultats et discussion

---

➤ et le dernier pic renvoie au  $\text{CO}_2$  avec 8,93%.

Ces résultats nous confirment que le gaz majoritaire de la biométhanisation des boues résiduaire est le  $\text{CH}_4$ , ça est due à la stabilisation du processus et la richesse de substrat en matière organique biodégradable.

On remarque qu'une de nos expériences donne un taux de 90 % de méthane, et il est supérieurs comparativement aux travaux de [45] 89% de  $\text{CH}_4$ , [36] et [46] 80% de  $\text{CH}_4$ .

### Conclusion

D'après les résultats de la CPG, on constate que le taux élevé de  $\text{CH}_4$  dans le biogaz indique l'efficacité de la méthanisation ainsi une stabilité de processus. Le pourcentage de ce dernier atteint un taux moyen qui dépasse 85% pour l'ensemble de nos essais dans la valeur maximal est 90%.

Ces résultats constituent la preuve que ces boues sont facilement biodégradables et très fermentescible. A ce titre, elle constitue un bon substrat pour un consortium microbien dans la voie de la méthanisation.

## Conclusion générale et perspectives

---

Dans le contexte actuel de l'augmentation de la production de déchets, la digestion anaérobie et la valorisation du biogaz, apparaissent comme des solutions d'avenir pour le traitement des déchets dans un esprit de développement durable.

Dans cette modeste recherche, l'intérêt est porté sur la production de biogaz, en particulier le bio méthane par conversion de la matière organique présente dans les boues de la station dépuraton d'EST de Tizi-Ouzou par une fermentation anaérobie.

À l'issue de notre travail on peut conclure :

1. La matière organique présente dans la boue était supérieure à 45%, favorisant le développement de pathogènes. Dans ce cas, la boue nécessite une étape de stabilisation pour réduire le taux de matière organique. Le biogaz, en tant que sous-produit de la digestion anaérobie, a été confirmé par chromatographie en phase gazeuse.

2. D'après les résultats enregistrés, la digestion anaérobie est une technique efficace pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées. Les variations du pH n'ont pas affectés négativement le développement de la flore bactérienne responsable de la transformation de la matière organique dans la digestion anaérobie.

3. La bio-digestion a permis d'avoir un abattement important de la pollution organique initiale contenue dans les boues de la STEP, et la réduction de la masse initiale de la boue traitée.

En effet, la réduction été de l'ordre de 86% pour la DCO et 90% pour DBO5, et diminution de la matière sèche était enregistré été de 40 %. Cette dépollution a été suivie par une hygiénisation du produit de la digestion anaérobie qui est le digestat, par la destruction de 90% de la flore pathogène et une désodorisation.

Les principales recommandations et perspectives qui apparaissent à l'issue de ce mémoire sont pour les premières :

1. Introduire la valorisation du méthane, un important gaz à effet de serre (GES), comme initiative économique et écologique, ce qui pourrait créer de l'emploi et ainsi se conformer aux objectifs du Protocole de Kyoto, afin de réduire les émissions de GES ;

2. Incite les pouvoirs publics à étudier les rendements des STEP par leurs une auto suffisances énergétiques, et le possible d'alimenter certaines poches de population.

## Conclusion générale et perspectives

---

Pour ce qui est des perspectives de recherches qui s'ouvrent, c'est pour répondre aux questions suivantes :

1. Est-ce que l'ajout de bouse de vaches, crottin de cheval, excrément humain..., peuvent améliorer le rendement en méthane ?
2. Est-ce que la méthode des plans d'expérience va permettre l'optimisation du réacteur fermé qu'on utilise ?
3. Quelle est l'influence géométrique du bio-digesteur dans la production du méthane ?

## Références bibliographiques

- [1] Rodier J ; Bazain C ; Broutin J-P ; Chambon P ; Champsaur H ; Rodi L,(1996).lanalyse de l'eau,DUNDOD,Paris 8<sup>e</sup> édition .
- [2]Champiat, D, (1994.)Biologie des eaux: Méthodes& techniques, Masson, 374 p.
- [3]Amadou Haoua, (2007). Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbain. thèse de doctorat l'Université louis pasteur Strasbourg, 355p.
- [4]Amir Soumia, (2005). Contribution a la valorisation de boues de stations d'épurations par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost thèse, univ. cad i ayyad, fac. sci. semlalia, Marrakech, 341p.
- [5]-Degrémont, (1989). Mémento technique de l'eau, 9eme Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris.
- [6]Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, (2012). Méthanisation des boues de stations : règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée Corse.
- [7] Adem (Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie),2003. pour bien comprendre la méthanisation. Dunod .Paris
- [8] Office International de l'Eau (OIE),2001.
- [9] Koller Emilian, (2004). Traitement des pollutions industrielles Dunod, PT424 mise en decharge conditions. 175p.
- [10] Kalloum S ; Iddou A ; Khelafi M ; Touzi A ,(2013). Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées. Les Energies Renouvelables 16 : 611 – 618.
- [11] Serie Technique DT51'' Boues des stations dépurations :Technique de traitement , valorisation et élimination ''2012 ;P :13-16.
- [12] <http://www.methanisation.info/methanisation.html>

[13] Moletta R, (2008). La méthanisation, Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris.

[14] Aran C, (2000). Modélisation des écoulements de fluides et des transferts de chaleur au sein des déchets ménagers. Application à la réinjection de lixiviat dans un centre de stockage. Thèse - Toulouse Institut national Polytechnique de Toulouse, 242p.

[15] Delineau T et Boudka A, (2000). Le concept du bioréacteur. Convention Ademe /SITA n° 99 06 013. Paris : Ademe. 297 p.

[16] Lanini S; Aguiilar O; Lefebvre X; Ballansat G, (1997). Temperature increase in landfills during the aerobic period. In: Proceeding Sardinia of the Sixth International landfill symposium, Cagliari, Italy, vol. I, pp. 121-126.

[17] <http://www.biogaz-energie-renouvelable.info>

[18] Mcinerney M. J, (1988). Anaerobic hydrolysis and fermentation of fats and proteins. Vol. 2, pp. 373- 416.

[19] Thiele J.H, (1991). Mixed-culture interactions in methanogenesis. New York, NY : McGraw-Hill, vol.4: pp. 261–292.

[20] Wu W.M; Hickey R.F; Zeikus J.G, (1991). Characterization of metabolic performance of methanogenic granules treating brewery wastewater: role of sulfate-reducing bacteria. Applied Environmental Microbiology, vol. 57, n° 12, pp. 3438-3449.

[21] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Adem), 2003.

[22] Kaloum Slimane, (2006). La digestion anaérobie des boues de la station d'épuration de la ville Adrar : une opportunité environnementale et énergétique. Thèse de magistère. École Normale supérieure de l'Enseignement technique D'Oran. 295p

[23] Murphy J.D; Mckeogh E; Kiely G, (2004). Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization. Applied Energy, vol. 77, n° 4, pp. 407-427.

[24] Komiyama M; Misonou T; Takeuchi S; Umetsu K; Taka J, (2006). Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel. International Congress Series, 1293: 234- 237.

- [25] Aurélie ohannessian, (2008) .Composés Organiques Volatils du Silicium : Un frein à la valorisation énergétique des biogaz. Thèse, École doctorale de Chimie de Lyon (Chimie, Procédés, Environnement), 305p
- [26] Kherbouche A et Benyoucef B, (2013). Anaerobic Digestion: an Energy and Environmental. American Journal of Environmental Protection. 2 : 47-52.
- [27] Schnurer, A., Zellner, G. and Svensson, B. H. (1999) “Mesophilic syntrophic acetate oxidation during methane formation in biogas reactors” FEMS Microbial Ecology, 29, (3), 249-261.
- [28] Oles, J., Dichtl, N. and Niehoff, H. (1997) “Full scale experience of two stage thermophilic/mesophilic sludge digestion” Water Science and Technology, 36, (6-7), 449-456.
- [29] Bitton, G. (1994), Wastewater microbiology, Wiley-Liss Editor, New York.
- [30] OTV. (1997) “Traiter et valoriser les boues” Ouvrage collectif n°2, Editions Lavoisier, Cachan.
- [31] Siboukeur Hicham; Touzi Abdelkader; Youcefi Amina; Ould Elhadj; Mohamed Didi, (2015). Microbiological study of the anaerobic digestion of sludge from the purifying plant wastewater from the city of Touggourt, southeast of Algeria .Energy Procedia, 74: 172 – 176.
- [32] Afilal M.E ; Elasri O ; Merzak Z, (2014).Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas). J. Mater. Environ. Sci. 5 :1160-1169 .
- [33] Kalloum Slimane ;Salem Fathya ; Kouki Assia ; Mokaddem Hamza , ( 2014 ). Influence of inoculums/substrate ratios (ISRs) on the mesophilic anaerobic digestion of slaughterhouse waste in batch mode: Process stability and biogas production. Energy Procedia 50: 57 – 63.
- [34] Konan-Kpata Nazo Edith; Gnagne Théophile; Konan Koffi Félix; Bony Kotchi Yves; Kouamé Kouamé Martin; Kouamé Yao Francis; Tano Kablan, ( 2013). International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol 2:pp335-343.

[35] Benhamou Amina et Fazouane Fethia, (2013). Energy valorization of sludge from the waste water treatment plant of Boumerdes by biogas. *Mater. Environ. Sci.* 4(5) : 639-648.

[36] Derbal K; Bencheikh-lehocine M; Meniai A-H, (2011). Pilot study of biogas production from organic solid waste in thermophilic phase, *Journal of Science Academy Transactions on Renewable Systems Engineering and Technology (SATRESET)*, 1:93-96.

[37] ONA (Office National d'Assainissement). 2015. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issu des STEP en Algérie

[38] <http://www.fr> Source Google earth.

[39] HAJJI . A. , RHACHIM. (2013 ), The Influence of Particle Size on the Performance of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste .*Energy Procedia*, 36:515 – 520.

[40] Moletta, R. (2002), « Procédés biologiques anaérobies, Dans Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires » *Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris.*

[41] AEAG,2001.La digestion anaerobie des boues urbain,état des lieux, état de l'art. Toulouse, Agence de leau Adour Garonne. 36.

[42] Wang J., ShenD., XuY. (2006), Effect of acidification percentage and volatile organic acids on the anaerobic biological process in simulated landfill bioreactors. *Process Biochemistry.* 41 : 1677–1681.

[43] Park C., Lee C. et Kim S. (2005). Upgrading of anaerobic digestion incorporating two different hydrolysis processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* Vol 100 N° 2 164-167.

[44] Miquel G,(2003).La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Ed sénat pp.256.290P.

[45] Moussaoui. Mouloud, Mehennaoui .Mestapha, Kacimi Saoud.(2011), Etude sur la fermentation méthanique des boues activées de la station de purification de Boumerdes en Algérie Université de Mhamed Bougara Boumerdes-Algérie-Master en biochimie appliquée 62p.

[46] Nosrati, T. Amani, and T.R. Sreekrishnan, Thermophilic .(2011), Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge versus Mesophilic Anaerobic Digestion (ICABPS'2011) Bangkok Dec.,

## Références bibliographiques

- [1] Rodier J ; Bazain C ; Broutin J-P ; Chambon P ; Champsaur H ; Rodi L,(1996).lanalyse de l'eau,DUNDOD,Paris 8<sup>e</sup> édition .
- [2]Champiat, D, (1994.)Biologie des eaux: Méthodes& techniques, Masson, 374 p.
- [3]Amadou Haoua, (2007). Modélisation de séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbain. thèse de doctorat l'Université louis pasteur Strasbourg, 355p.
- [4]Amir Soumia, (2005). Contribution a la valorisation de boues de stations d'épurations par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost thèse, univ. cad i ayyad, fac. sci. semlalia, Marrakech, 341p.
- [5]-Degrémont, (1989). Mémento technique de l'eau, 9eme Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris.
- [6]Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, (2012). Méthanisation des boues de stations : règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée Corse.
- [7] Adem (Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie),2003. pour bien comprendre la méthanisation. Dunod .Paris
- [8] Office International de l'Eau (OIE),2001.
- [9] Koller Emilian, (2004). Traitement des pollutions industrielles Dunod, PT424 mise en decharge conditions. 175p.
- [10] Kalloum S ; Iddou A ; Khelafi M ; Touzi A ,(2013). Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées. Les Energies Renouvelables 16 : 611 – 618.
- [11] Serie Technique DT51'' Boues des stations dépurations :Technique de traitement , valorisation et élimination ''2012 ;P :13-16.
- [12] <http://www.methanisation.info/methanisation.html>

[13] Moletta R, (2008). La méthanisation, Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris.

[14] Aran C, (2000). Modélisation des écoulements de fluides et des transferts de chaleur au sein des déchets ménagers. Application à la réinjection de lixiviat dans un centre de stockage. Thèse - Toulouse Institut national Polytechnique de Toulouse, 242p.

[15] Delineau T et Boudka A, (2000). Le concept du bioréacteur. Convention Ademe /SITA n° 99 06 013. Paris : Ademe. 297 p.

[16] Lanini S; Aguiilar O; Lefebvre X; Ballansat G, (1997). Temperature increase in landfills during the aerobic period. In: Proceeding Sardinia of the Sixth International landfill symposium, Cagliari, Italy, vol. I, pp. 121-126.

[17] <http://www.biogaz-energie-renouvelable.info>

[18] Mcinerney M. J, (1988). Anaerobic hydrolysis and fermentation of fats and proteins. Vol. 2, pp. 373- 416.

[19] Thiele J.H, (1991). Mixed-culture interactions in methanogenesis. New York, NY : McGraw-Hill, vol.4: pp. 261–292.

[20] Wu W.M; Hickey R.F; Zeikus J.G, (1991). Characterization of metabolic performance of methanogenic granules treating brewery wastewater: role of sulfate-reducing bacteria. Applied Environmental Microbiology, vol. 57, n° 12, pp. 3438-3449.

[21] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Adem), 2003.

[22] Kaloum Slimane, (2006). La digestion anaérobie des boues de la station d'épuration de la ville Adrar : une opportunité environnementale et énergétique. Thèse de magistère. École Normale supérieure de l'Enseignement technique D'Oran. 295p

[23] Murphy J.D; Mckeogh E; Kiely G, (2004). Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization. Applied Energy, vol. 77, n° 4, pp. 407-427.

[24] Komiyama M; Misonou T; Takeuchi S; Umetsu K; Taka J, (2006). Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel. International Congress Series, 1293: 234- 237.

- [25] Aurélie ohannessian, (2008) .Composés Organiques Volatils du Silicium : Un frein à la valorisation énergétique des biogaz. Thèse, École doctorale de Chimie de Lyon (Chimie, Procédés, Environnement), 305p
- [26] Kherbouche A et Benyoucef B, (2013). Anaerobic Digestion: an Energy and Environmental. American Journal of Environmental Protection. 2 : 47-52.
- [27] Schnurer, A., Zellner, G. and Svensson, B. H. (1999) “Mesophilic syntrophic acetate oxidation during methane formation in biogas reactors” FEMS Microbial Ecology, 29, (3), 249-261.
- [28] Oles, J., Dichtl, N. and Niehoff, H. (1997) “Full scale experience of two stage thermophilic/mesophilic sludge digestion” Water Science and Technology, 36, (6-7), 449-456.
- [29] Bitton, G. (1994), Wastewater microbiology, Wiley-Liss Editor, New York.
- [30] OTV. (1997) “Traiter et valoriser les boues” Ouvrage collectif n°2, Editions Lavoisier, Cachan.
- [31] Siboukeur Hicham; Touzi Abdelkader; Youcefi Amina; Ould Elhadj; Mohamed Didi, (2015). Microbiological study of the anaerobic digestion of sludge from the purifying plant wastewater from the city of Touggourt, southeast of Algeria .Energy Procedia, 74: 172 – 176.
- [32] Afilal M.E ; Elasri O ; Merzak Z, (2014).Caractérisations des déchets organiques et évaluation du potentiel Biogaz (Organic waste characterization and evaluation of its potential biogas). J. Mater. Environ. Sci. 5 :1160-1169 .
- [33] Kalloum Slimane ;Salem Fathya ; Kouki Assia ; Mokaddem Hamza , ( 2014 ). Influence of inoculums/substrate ratios (ISRs) on the mesophilic anaerobic digestion of slaughterhouse waste in batch mode: Process stability and biogas production. Energy Procedia 50: 57 – 63.
- [34] Konan-Kpata Nazo Edith; Gnagne Théophile; Konan Koffi Félix; Bony Kotchi Yves; Kouamé Kouamé Martin; Kouamé Yao Francis; Tano Kablan, ( 2013). International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol 2:pp335-343.

[35] Benhamou Amina et Fazouane Fethia, (2013). Energy valorization of sludge from the waste water treatment plant of Boumerdes by biogas. *Mater. Environ. Sci.* 4(5) : 639-648.

[36] Derbal K; Bencheikh-lehocine M; Meniai A-H, (2011). Pilot study of biogas production from organic solid waste in thermophilic phase, *Journal of Science Academy Transactions on Renewable Systems Engineering and Technology (SATRESET)*, 1:93-96.

[37] ONA (Office National d'Assainissement). 2015. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issu des STEP en Algérie

[38] <http://www.fr> Source Google earth.

[39] HAJJI . A. , RHACHIM. (2013 ), The Influence of Particle Size on the Performance of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste .*Energy Procedia*, 36:515 – 520.

[40] Moletta, R. (2002), « Procédés biologiques anaérobies, Dans Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires » *Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris.*

[41] AEAG,2001.La digestion anaerobie des boues urbain,état des lieux, état de l'art. Toulouse, Agence de leau Adour Garonne. 36.

[42] Wang J., ShenD., XuY. (2006), Effect of acidification percentage and volatile organic acids on the anaerobic biological process in simulated landfill bioreactors. *Process Biochemistry.* 41 : 1677–1681.

[43] Park C., Lee C. et Kim S. (2005). Upgrading of anaerobic digestion incorporating two different hydrolysis processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* Vol 100 N° 2 164-167.

[44] Miquel G,(2003).La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Ed sénat pp.256.290P.

[45] Moussaoui. Mouloud, Mehennaoui .Mestapha, Kacimi Saoud.(2011), Etude sur la fermentation méthanique des boues activées de la station de purification de Boumerdes en Algérie Université de Mhamed Bougara Boumerdes-Algérie-Master en biochimie appliquée 62p.

[46] Nosrati, T. Amani, and T.R. Sreekrishnan, Thermophilic .(2011), Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge versus Mesophilic Anaerobic Digestion (ICABPS'2011) Bangkok Dec.,

# Annexe

---

## Annexe 1

La liste de verrerie, équipement et autres est donnée dans l'annexe

### Equipment

- Appareil d'analyse chromatographique en phase gazeuse
- Bain marine
- Etuve à 105°
- Balance de précision
- Distillateur
- PH mètre
- Appareil de dosage de carbone (C)

### Verrerie et matériel en plastique

- Erlenmeyer de 250 ml,
- Fiole de 50, 100,250, et 500 ml,
- Tubes à essai,
- Creuset en céramique,
- Becher de 100,250 et 500 ml,
- Micropipettes de 500 et 1000 *ml*,
- Papier aluminium et papier alimentaire,
- para film,
- Cuvettes de spectrophotomètre,

### Réactif

- Dichromate de potassium
- Acide borique
- Iode de potassium
- BaCl<sub>2</sub>

## Annexe

---

- NaOH
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré
- HCl
- CuSO<sub>4</sub>
- K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- K<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>
- Catalyseur CuSO<sub>4</sub>.
- Acide borique, H<sub>3</sub>B<sub>3</sub>O<sub>3</sub> a 40 %
- Indicateur colore, rouge de méthyle en solution alcoolique a 0,05 %
- Pour la titration: - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> N/10

H<sub>2</sub>O distillé

### **Matières nécessaires :**

- Balance analytique
- Obturateur en verre
- Rampe de chauffage
- Burette automatique résistant au mélange sulfochromique
- Auto analyseur.

### **Réactifs :**

- Mélange sulfochromique.
- Bichromate de potassium 40g.
- Eau distillé 500 ml.
- Acide sulfurique.

## Annexe

**ANNEXE 2 :** Composition des milieux de cultures et les réactifs utilisés.

**Tableau N°2: Composition des milieux de cultures**

<b>Le milieu</b>	<b>La composition</b>	<b>g/l</b>	<b>pH (à 25 °C)</b>	<b>Préparation</b>
<b>GN (Gélose nutritive)</b>	Gélatine peptone.....	5.0	pH = 6.8±0.2	Dissoudre 23 g dans un litre d'eau distillée ; Faire bouillir jusqu'à obtention d'une couleur claire ; Autoclaver 15 min à 121 °C (autoclavage classique)
	Extrait de bœuf.....	3.0		
	Agar bactériologique.....	15.0		
<b>Bouillon SFB (Sélinite F Broth)</b>	Peptone.....	5.0	pH= 7 ± 0.2	Dissoudre 18 g du milieu dans un litre d'eau distillée ; Porter à ébullition en agitant ; Autoclavage classique
	Tryptone.....	5.0		
	Mannitol.....	4.0		
	Phosphate dipotassique.....	4.0		
<b>Gélose SS (Agar Salmonella shigella)</b>	Lactose.....	10.0	pH = 7.0 ± 0.2	Dissoudre 60 g dans un litre d'eau distillée; Faire bouillir en agitant jusqu'à obtention d'une suspension homogène ; Ne pas autoclaver.
	Mélange de sels biliaires.....	8.5		
	Citrate de sodium.....	8.5		
	Thiosulfate de sodium.....	8.5		
	Extrait de bœuf.....	5.0		
	Mélange peptone.....	5.0		
	Citrate ferrique.....	1.0		
	Rouge neutre.....	0.025		
	Vert brillant.....	0.0003		
	Agar bactériologique.....	13.5		
<b>Gélose Chapman</b>	Extrait de levure.....	3.0	pH = 7.4 ± 0.1	Dissoudre 124.05 g du milieu dans un litre d'eau distillée ; Porter à ébullition en agitant jusqu'à dissolution complète ; Autoclaver.
	Tryptone.....	5.0		
	Peptone.....	10.0		
	Extrait de viande.....	1.0		
	Chlorure de sodium.....	75		
	Mannitol.....	10		
	Rouge de phénol.....	0.050		
	Agar.....	20.0		

## Résumé

Les villes Algériennes produisent des quantités très importantes des déchets urbains qui ne subissent rarement un traitement et une valorisation rationnelle.

Afin donc de contribue à la protection de l'environnement nous avons opté à un travail de recherche qui porte sur l'étude expérimentale de la digestion anaérobie des boues résiduaire de la station Est de Tizi-Ouzou dans un bioréacteur d'une capacité de 5 litre a une durée de 27 jours, dont le but de les valoriser sous forme de biogaz.

Durant l'expérience, nous avons obtenu un taux d'abattement de la MO, DCO, DBO<sub>5</sub> et MS de 60, 86 ,90 et 40% respectivement, suivi d'une réduction importante de la flore pathogène.

Les valeurs de ces paramètres de stabilité indiquent le bon déroulement du processus de digestion avec un taux spécifique de la production de biogaz de l'ordre de 86 °.

Ce dernier peut être valorisé par différent vois : production de chaleur, d'électricité, utilisation comme carburent et injection dans le réseau de gaz naturel.

Les mots clés : station d'épuration, boues, digestion anaérobie, biogaz.

## Abstract

Algerian cities produce very large quantities of urban waste that rarely undergo treatment and rational recovery.

In order to contribute to the protection of the environment we have opted for a research project that deals with the experimental study of the anaerobic digestion of waste sludge from the Tizi-Ouzou East station in a bioreactor with a capacity of 5 Liter has a duration of 27 days, the purpose of which is to recover them in the form of biogas.

During the experiment, we obtained an abatement rate of MO, COD, BOD<sub>5</sub> and MS of 60, 86, 90 and 40% respectively, followed by a significant reduction of the pathogenic flora.

The values of these stability parameters indicate the correct progress of the digestion process with a specific rate of biogas production of the order of 86 °.

The latter can be valorized by different aspects: heat, electricity, use as fuel and injection into the natural gas network.

Keywords: sewage treatment plant, sludge, anaerobic digestion, biogas.