

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Ahmed Draïa Adrar**



**Faculté des Sciences et de la Technologie**

**Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables**

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :**

**Filière : Génie des Procédés**

**Spécialité : Génie Chimique**

**Thème :**

---

**Etude Comparative Entre Le Rendement Energétique De Différents**

**Types Des Déchets Organiques Dans La Région D'ADRAR**

**(Déchet ménager, Déchet d'abattoir)**

---

**Préparé par :**

**M<sup>me</sup> HADDADI AMEL**

**M<sup>me</sup> TEMTAMI KARIMA**

**Membres de jury d'évaluation :**

<b>M. HARROUZ ABDELKADER</b>	<b>Président</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Adrar</b>
<b>M. TAHRI AHMED</b>	<b>Encadreur</b>	<b>MRA</b>	<b>URERMS.Adrar</b>
<b>M. SAHLI YUCEF</b>	<b>Examineur</b>	<b>MRA</b>	<b>Univ. Adrar</b>

**Année Universitaire : 2020/2021**



## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): طاهري احمد

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـ: Etude Comparative entre le rendement  
énergétique de différents type des déchets organiques dans la  
région d'Adrar

من إنجاز الطالب(ة): آمال حدادي

و الطالب(ة): كريمة طاهري

كلية: العلوم والتكنولوجيا

القسم: المحروقات والطاقة المتجددة

التخصص: هندسة كيميائية

تاريخ تقييم / مناقشة: 2021 / 06 / 21

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
ويامكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والايكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في ..... 28 جوان 2021

مساعد رئيس القسم:



مساعد رئيس قسم المحروقات  
والطاقات المتجددة  
أ. حرور عبد القادر

# *Remerciement*


Louange et remerciements à Allah, le Très-Haut, le Tout-Puissant, qui s'accomplit par Sa  
bonne grâce, et à Lui soit la gloire, qui nous a aidés à accomplir cette œuvre.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à celui qui ne nous a pas  
épargné son soutien et sa rationalisation pendant que nous effectuions ce travail, le Dr **Tahri  
Ahmed** encadrant, en qui nous saluons les traits d'humilité et de sincérité.

Nos remerciements vont à tous les professeurs du Collège des Sciences et Techniques, en  
particulier le Département des Hydrocarbures et des Energies Renouvelables, et nous  
n'oublions pas non plus le personnel de la fondation URER-MS, en particulier M. Ashour.

Nous adressons également nos sincères remerciements et notre appréciation à tous ceux qui  
ont participé à la préparation de ce mémorandum, de près ou de loin.

**AMEL & KARIMA**



## Dévouement

Je dédie la conclusion de mon travail, le fruit de mon effort, à ceux qui m'ont mis sur le chemin de la vie, à ceux qui sont restés éveillés pendant des nuits et ont travaillé à m'élever.

Et la chose la plus précieuse qui existe, "ma mère" bien-aimée. Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, car il avait le premier crédit après Dieu Tout-Puissant.

Dans mes études supérieures, mon cher père.

A ceux dont le bonheur est incomplet sans leur présence mes sœurs, et à la famille, chacune avec le sourire

À mon grand-père.

À mon fiancé et au chemin de ma vie, que Dieu illumine sa vie. À mes amis et collègues, les compagnons de ma carrière universitaire.

À tous ceux qui m'ont aidé et aidé, même avec un mot d'encouragement, à ceux qui m'ont appris une lettre de ma vie, y compris les anciens et les professeurs

Ils ont les meilleurs vœux et que Dieu les récompense de mille bons.

**Karima Temtami**

# Sommaire

---

## Sommaire

Liste des abréviations .....	i
Liste des unités .....	ii
Liste des figures .....	iii
Liste des photos .....	iv
Liste des tableaux .....	v
Introduction.....	vi
<b>Chapitre I : Valorisation des déchets solides</b>	
I.1.Définition des déchets .....	4
I.2. les principaux types de déchets .....	4
I.2.1. D’après leur origine .....	4
I.2.1.1. Les déchets ménagers et assimilés .....	4
I.2.1.2. Les déchets industriels .....	4
I.2.1.2.1. Les déchets industriels banals (DIB).....	4
I.2.1.2.2. Les déchets industriels dangereux(DID) .....	5
I.2.2. D’après leur nature .....	5
I.2.2.1. Déchets dangereux .....	5
I.2.2.2. Déchets inertes .....	5
I.2.2.3. Déchets ultimes .....	5
I.3. Déchets ménagers .....	6
I.3.1. Définition .....	6
I.3.2. La composition des déchets ménagers .....	6
I.3.3. La production des déchets ménagers .....	7
I.3.4. Les modes d’élimination et de traitement des déchets .....	7
I.3.4.1. La mise en décharge .....	8
I.3.4.2. Le recyclage .....	8
I.3.4.3.Traitement thermique .....	8
I.3.4.3.1. L’incinération .....	8
I.3.4.3.2. Pyrolyse .....	9
I.3.4.3.3.Gazéification .....	10
I.3.4.4. Le traitement biologique .....	11
I.3.4.4.1. Aérobic (le compostage) .....	11

# Sommaire

---

I. 3.4.4.2. Anaérobie (la méthanisation) .....	11
I.4 .Déchets l'abattoir .....	12
I.4.1.Définition .....	12
I.4.2. Nature des déchets .....	12
I.4.2.1. Les déchets solides .....	12
I.4.2.1.1. Les matières stercoraires.....	12
I.4.2.1.2. Cornes, onglons, os .....	12
I.4.2.1.3. Les déchets animaux :.....	12
I.4.2.1.4. Les autres types de déchets animaux .....	12
I.4.2.2. Les déchets liquides .....	13
I.4.2.2.1. Le sang.....	13
I.4.2.2.2. Les eaux résiduaires.....	13
I.4.3. Les modes d'élimination et de traitement des déchets l'abattoir.....	13
I.4.3.1. Le compostage :.....	14
I.4.3.2.La récupération des sous produits des boucheri.....	14
I.4.3.3. L'incinération .....	16
I.4.3.4.L'organisation de la collecte .....	16
Chapitre II : La digestion anaérobique et biogaz	
II.1. Définition de la digestion anaérobique .....	18
II.2. Historique de la méthanisation :.....	18
II.3. Mise en œuvre de la méthanisation .....	18
II.4. Les Etapes de la méthanisation.....	19
II.4.1. L'hydrolyse .....	19
II.4.2. L'acidogènes .....	20
II.4.3. L'a cétogenèse .....	20
II.4.4. La méthanogènes .....	21
II .5. Les paramètres influençant la méthanisation .....	22
II.5.1. pH .....	22
II.5.2. La température .....	23
II.5.3. L'absence d'oxygène .....	24
II.5.4. Rapport C /N.....	24
II.5.5. Brassage .....	24
II. 5.6. Pression partielle en hydrogène .....	24

## Sommaire

---

II.5.7. L'absence des inhibiteurs .....	25
II.5.8 .Temps de rétention hydraulique (TRH) .....	25
II.6. le digesteur .....	25
II.6.1. Définition .....	25
II.6.2. Classifications des différents types de digesteurs .....	26
II.6.2.1. Les digesteurs discontinus .....	26
II.6.2.2. Les digesteurs continus .....	26
II.6.2.3. Le digesteur semi-continu .....	26
II.7. Avantages de la digestion anaérobie.....	26
II.8. biogaz.....	27
II.8.1. Définition et Composition.....	27
II.8.2. Historique .....	27
II.8.3. Ressources de biogaz .....	28
II.8.4. Valeur énergétique .....	29
II.8.5. Purification du biogaz.....	29
II.8.6. Valorisation de biogaz .....	30
II.8.6.1. Valorisation thermique en chaudière .....	30
II.8.6.2. Valorisation électrique du biogaz .....	30
II.8.6.3. Valorisation en carburant automobile .....	31
II.8.6.4. Valorisation par injection dans le réseau de gaz de ville .....	31
<b>Chapitre III : Matériels et méthodes</b>	
III.1. Le substrat utilisé .....	33
III.2. Description de digesteur .....	34
III.3. La détermination du pH.....	35
III.4 .Caractéristique de déchet.....	36
III.4.1 Détermination de la matière sèche (MS) .....	36
III.4.2. Détermination de la matière organique (MO).....	37
III.5. Détermination du volume du biogaz et CH <sub>4</sub> .....	39
III.6. Détermination de la DCO .....	40
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions</b>	
IV.1. Caractéristiques du substrat .....	43
IV.1 .Variation du pH .....	43
IV.1.1. Variation du pH de déche ménagers .....	43

## Sommaire

---

IV.1.2.pH de déche d'abattoir.....	45
IV.2.Volume de biogaz produit .....	47
IV.2.1.Volume de biogaz produit de déche ménagers .....	47
IV. 2.2 .Volume de biogaz produit de déche d'abattoir .....	48
IV. 3. Volume de CH <sub>4</sub> (le potentiel biochimique méthanogène) .....	50
IV. 3.1. Volume de CH <sub>4</sub> de déche ménage.....	50
IV. 3. 2. Volume de CH <sub>4</sub> de déche d'abattoir.....	51
IV. 4. Variation de Cumulation.....	53
IV. 4. 1. Cumulation de volume de biogaz .....	53
IV.4.2. Cumulation de CH <sub>4</sub> .....	54
IV.5.Cumulée de volume de biogaz et CH <sub>4</sub> dans chaque déchet .....	54
IV.6.Cumulée de volume de biogaz et CH <sub>4</sub> dans les deux déchets .....	55
IV.7. Variation du DCO .....	56
Conclusion .....	liv



## Liste des abréviations

---

### Liste des abréviations :

AGV : Acides Gras Volatiles.

BMP : Biochemical methane Potentiel (en Anglais).

C/N : Rapport Carbone / Azote.

DA: Déchet abattoir.

DM: Déchet ménage.

DCOT : La Demande Chimique en Oxygène Totale.

DCOS : La Demande Chimique en Oxygène Soluble.

DIB: Les déchets industriels banals.

DID: Les déchets industriels dangereux.

LCFA: Long Chain Fatty Acid (en Anglais).

MS : Matière Sèche.

MO : Matière Organique.

PBM : Potentiel Biochimie Méthanogène.

PCI: Pouvoir Calorifique Inferieur.

pH: le potentiel Hydrogène.

TRH : Temps de Rétention Hydraulique.

URER-MS : Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien.

# Liste de unités

---

## Liste des unités

% : pourcentage ;

°C : degré Celsius ;

J : jours ;

Cm : centimètre ;

T : tonne ;

g : Gramme ;

g/l : gramme par litre ;

L : litre ;

l/kg : litre par kilogramme ;

m/s : mètre par seconde ;

mg d'O<sub>2</sub>/l : milligramme d'oxygène par litre ;

m<sup>3</sup>: mètre cube ;

mg/m<sup>3</sup>: milligramme par mètre cube ;

ml : millilitre ;

ml/s : millilitre par seconde ;

ml/g : millilitre par gramme ;

## Liste des figures

---

### Liste des figures

Figure 01 : Les différentes étapes d'incinération.....	9
Figure 02 : Principe de la Pyrolyse.....	10
Figure 03 : Etapes biologiques du procédé de méthanisation.....	22
Figure 04 : Valorisation thermique du biogaz .....	30
Figure 05 : Valorisation électrique du biogaz.....	31
Figure 06 : Dispositif expérimental du digesteur continu à l'échelle du laboratoire.....	35
Figure 07 : Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de CH <sub>4</sub> produit. (Test de potentiel méthanogène ou BMP).....	39
Figure 08: La variation de pH en fonction de temps de déche ménage.....	44
Figure 09 : La variation de pH en fonction de temps de déche d'abattoir.....	46
Figure 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche ménage.....	48
Figure 11 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche d'abattoir.....	49
Figure 12 : Le Volume de CH <sub>4</sub> en fonction de temps de déche ménage.....	51
Figure 13 : Le Volume de CH <sub>4</sub> en fonction de temps de déche d'abattoir.....	52
Figure 14: Variation de volume de biogaz cumulé en fonction de temps.....	53
Figure 15: Cumulation de CH <sub>4</sub> en fonction de temps.....	54
Figure 16: Production cumulée de volume de biogaz et de CH <sub>4</sub> dans déchet ménagé.....	54
Figure 17: Production cumulée de volume de biogaz et de CH <sub>4</sub> dans déchet battoire.....	55
Figure 18: Volume de biogaz et CH <sub>4</sub> en fonction de temps.....	55
Figure 19 : variation de DCO.....	56

## Liste des photos

---

### Liste des photos

Photo 1: Déchets.....	4
Photo 2 : Le déchet ménager utilise.....	33
Photo 3 : le déchet l'abattoir utilise.....	33
Photo 4 : Digesteur continu.....	34
Photo 5 : pH-mètre.....	35
Photo 6 : Matériels utilisés pour Détermination la matière sèche.....	36
Photo 7 : Substrats âpre dessiccateur.....	37
Photo 8 : Four à moufle.....	38
Photo 9 : substrat âpre calcination.....	38
Photo 10 : Thermoréacteur.....	41

# Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

Tableaux 01: les diverses utilisations des produits valorisés par les industries de récupération des déchets des boucheries.....	15
Tableau 02: Bactéries acétogènes de la digestion anaérobie.....	21
Tableau 03: Différents exemples de TRH suivant le procédé de digestions.....	25
Tableau 04. Composition moyenne du biogaz. ....	27
Tableau 05 : Les composés et leurs techniques d'élimination.....	29
Tableaux 06 : Les caractéristiques du substrat .....	43
Tableaux 07 : La variation de pH en fonction de temps de déche ménage.....	43
Tableaux 08 : La variation de pH en fonction de temps de déche d'abattoir.....	45
Tableaux 09 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche ménage.....	47
Tableaux 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche d'abattoir.....	48
Tableaux 11: Le Volume de CH <sub>4</sub> en fonction de temps de déche ménage.....	50
Tableaux 12 : Le Volume de CH <sub>4</sub> en fonction de temps de déche d'abattoir.....	51

# INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION

Compte tenu de l'utilisation accrue de l'énergie, le monde cherche à rechercher d'autres sources d'énergie, y compris l'exploitation des déchets.

Le monde moderne produit de grandes quantités de déchets solides, y compris des déchets d'actifs industriels et agricoles, ainsi que des déchets ménagers. Les déchets sont principalement composés de matières organiques et sont donc biodégradables, tous ces déchets ont des effets très néfastes sur l'environnement ainsi que sur la santé humaine, ces déchets sont à l'origine de diverses pollutions mais ils sont aussi une source d'énergie et de matières premières. [1]

Par ailleurs, l'application d'un tel procédé de bioconversion offre la possibilité de traiter des déchets et de produire une énergie verte et renouvelable qui est le biogaz, ce dernier est riche en méthane ( $\text{CH}_4$ ) qui possède un pouvoir énergétique élevé et peut être utilisé dans de nombreuses applications (chauffage, cuisson), électricité (éclairage) et biocarburant. [2]

L'objectif de notre étude pilote est de comparer le rendement énergétique entre les déchets ménagers et les déchets d'abattoir, pour mener à bien notre travail, nous avons choisi le plan suivant :

- Introduction générale à ce travail.
- Le premier chapitre concernait la synthèse bibliographique des différents types de déchets et méthodes de traitement des ordures ménagères et des déchets d'abattage.
- Le deuxième chapitre de la définition de la digestion anaérobie, en plus d'une explication des différentes étapes de la digestion anaérobie, que sont l'hydrolyse, l'acide, l'acétogène, et enfin le méthanogène, et puis nous en avons parlé sur le biogaz, nous commençons par sa définition, sa composition, ses diverses ressources, sa valeur énergétique, sa purification et ses différents types de restauration.

Ensuite, nous parlons d'évaluer le potentiel méthanogène en fonction des propriétés chimiques, qui vise à estimer théoriquement la production de biogaz à partir de la masse de matière organique supposée biodégradable et du potentiel de génération de biogaz (ou méthane).

# INTRODUCTION

---

-Le troisième chapitre, il englobe la présentation du dispositif expérimental, ainsi que le substrat utilisé.

-Dans le dernier nous avons présenté nos résultats et discussions et on clôt par une conclusion générale.

# Chapitre I :

## Valorisation des déchets solides



## **I.1. Définition des déchets :**

Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [3]



**Photo 01: Déchets.**

## **I.2. les principaux types de déchets :**

### **I.2.1. D'après leur origine :**

#### **I.2.1.1. Les déchets ménagers et assimilés :**

Tous les déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales qui, par leur nature et leur composition sont assimilables aux déchets ménagers. [4]

#### **I.2.1.2. Les déchets industriels :**

##### **I.2.1.2.1. Les déchets industriels banals (DIB):**

Les déchets industriels banals (DIB) ou déchets non dangereux : ils sont issus d'activités commerciales, artisanales, industrielles ou de service. Ils regroupent

principalement les plastiques, les papiers cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et matières organiques. [5]

#### **I.2.1.2.2. Les déchets industriels dangereux(DID) :**

Appelés aussi spéciaux (DIS), la nature de ces déchets présentent des risques physiques, biologiques, environnementaux et d'autres liées à des réactions dangereuses.

Ils nécessitent un traitement spécifique dans des installations adaptées car leur élimination nécessite des précautions particulières pour la protection de l'environnement. [6]

### **I.2.2. D'après leur nature :**

#### **I.2.2.1. Déchets dangereux :**

Ils sont issus de la famille des déchets spéciaux, ils contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risque pour le milieu naturel (rejets organiques complexes, cyanure ou une forte acidité....etc.) [7]

#### **I.2.2.2. Déchets inertes :**

Un déchet inerte est un déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique important. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles elles entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humain [8].

#### **I.2.2.3. Déchets ultimes :**

Ils sont les déchets résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. Ce sont des déchets qui ne subissent aucune transformation physique, chimique ou biologique importante. [9]

### **I.3. Déchets ménagers :**

#### **I.3.1. Définition :**

Tous les déchets résultant de l'activité humaine dans la vie quotidienne tels que les objets utilisés pour les repas (assiettes, tasses, tasses, etc.), les restes de nourriture, les boîtes, les emballages divers, les livres et les magazines, mais aussi tout ce qui concerne la literie (matelas, tasses, .. etc.) Des feuilles.[10]

#### **I.3.2. La composition des déchets ménagers :**

La connaissance de la production d'ordures ménagères est essentielle dans la planification d'un système de gestion. La quantité produite par collectivité est variable en fonction de plusieurs éléments. Elle dépend essentiellement, du niveau de vie de la population, de la saison, du mode de vie des habitants, du mouvement des populations pendant la période des vacances, les fins de semaines et les jours fériés, du climat. Elle peut être exprimée En poids ou en volume, seul le poids constitue une donnée précise et facilement mesurable. [11]

##### **➤ Composition physico-chimique des déchets ménagers :**

La connaissance de la composition des déchets est indispensable pour leur gestion. Elle permet de choisir et de dimensionner correctement les outils de collecte, de traitement et d'élimination, et aussi de connaître la destination des :

- Parts pouvant être recyclées.
- Parts appropriés au compostage.
- Types et quantités appropriés à une valorisation matérielle ou énergétique ;
- Quantités de déchets ultimes destinées à l'incinération ou à la décharge. [11]

##### **➤ Composition physique :**

La composition physique des ordures ménagères est la répartition selon des catégories spécifiques comme les plastiques, papiers, cartons, textiles, verres, métaux, ...etc.

Les variations de composition peuvent provenir de la méthode même d'évaluation de la production des déchets : évaluation au sein de foyers, ou évaluation à l'année sur le site de regroupement, de transfert ou de traitement, dans ce cas il faut tenir compte du secteur informel, qui recycle une partie des déchets produits. [11]

##### **➤ Composition chimique :**

La composition chimique, c'est-à-dire la teneur en eau et

Celle en matière organique déterminée respectivement par évaporation et par calcination. Ainsi les teneurs en carbone et en azote, et le rapport C/N paramètres importants pour le compostage. [11]

### ➤ **Composition en micro-organismes pathogènes**

L'un des risques majeurs sur la santé humaine liés aux déchets est sans doute leur contamination microbiologique par divers agents pathogènes tels que les bactéries, les protozoaires, les virus et autres. Le suivi de certains paramètres microbiologiques dans le compost, comme l'*Aspergillus fumigatus* par exemple, permet de déterminer rapidement son état sanitaire ; et il est démontré que la présence d'une grande quantité de moisissures implique automatiquement la présence d'autres agents pathogènes. [12]

D'autre part, il est important de mettre en relief cette caractéristique pour qu'elle puisse être prise en compte dans d'éventuelles mises en place de programme de valorisation et de recyclage des rejets atténuant ainsi leur impact sur la santé .[13]

### **I.3.3. La production des déchets ménagers :**

L'évolution de la production des déchets ménagers est essentiellement liée à deux facteurs :

-L'évolution démographique.

-L'évolution quantitative par habitant.

Les quantités des déchets ménagers générées dans une ville dépendent de :

- 1) L'habitat (milieu rural ou urbain, avec un taux généralement plus faible en milieu rural)
- 2) Le niveau de vie, les habitudes et les mœurs de la population (la production tend à s'accroître avec le niveau de vie ; ex. zones résidentielles par rapport aux autres zones.).
- 3) Les conditions climatiques, ainsi que les variations annuelles et saisonnières.
- 4) Les mouvements plus ou moins importants de la population au cours de l'année : foires, pèlerinage, vacances annuelle, etc.
- 5) Des modes de conditionnement des denrées et des marchandises. [14]

### **I .3.4. Les modes d'élimination et de traitement des déchets ménages :**

L'accumulation de déchets provoque des inquiétudes pour la santé et l'environnement, actuellement, on peut distinguer quatre filières principales du traitement des ordures ménagères et assimilés, qui répondent à des problématiques et des évolutions différentes [15] :

- La mise en décharge (le stockage) ;

- Le recyclage ;
- Le traitement thermique (l'incinération, pyrolyse et gazéification) ;
- Le traitement biologique [aérobie et anaérobie (la méthanisation)].

#### **I.3.4.1. La mise en décharge :**

Les décharges produisent spontanément du biogaz car les déchets fermentescibles y sont régulièrement déposés. L'émission peut durer plusieurs dizaines d'années, d'abord à un rythme croissant, puis décroissant. Le processus peut être accéléré en humidifiant la matière, auquel cas le potentiel de production peut être récupéré entre 5 ou 10 ans. Sans installation particulière autre que le captage des gaz dans les alvéoles, on peut ainsi récupérer 60 m<sup>3</sup> de méthane par tonne enfouie. [16]

#### **I.3.4.2. Le recyclage :**

Est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Dans le recyclage, le but principal est d'utiliser les déchets et non d'éliminer son potentiel de contamination. Ainsi, on doit distinguer les déchets qui peuvent être recyclés (valorisation matière) de ceux qui doivent être (valorisation énergétique). [17]

#### **I.3.4.3. Traitement thermique :**

##### **I.3.4.3.1. L'incinération :**

L'incinération correspond à un traitement thermique à haute température en présence d'un excès d'air. Les résidus solides générés sont les cendres d'incinération et les résidus d'épuration des fumées. L'incinération détruit les parasites et détruit les microorganismes. Les matières résiduelles sont essentiellement minérales et doivent être gérées à l'issue de l'incinération. Elle permet de réduire le volume et la masse de la matière à éliminer (figure 1). [18]

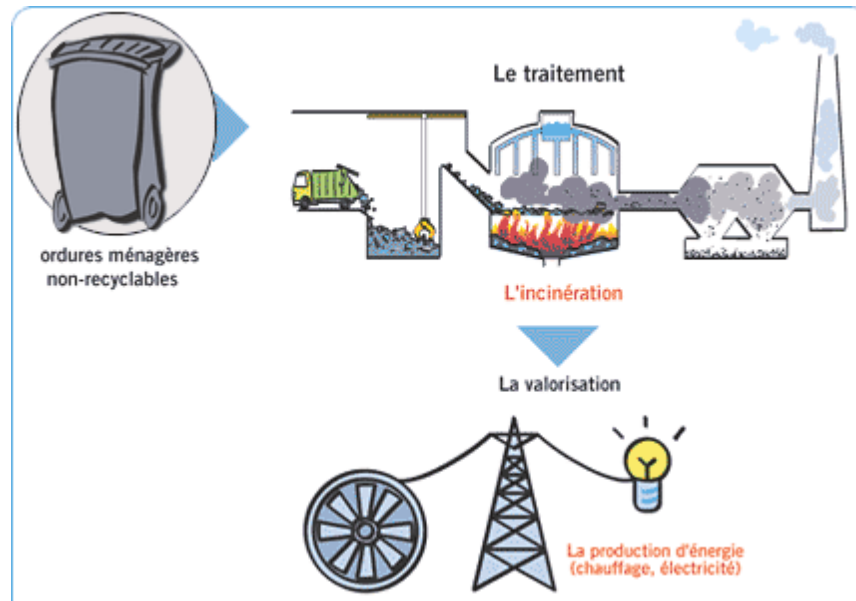


Figure 01 : Les différentes étapes d'incinération. [9]

#### I.3.4.3.2. Pyrolyse :

La pyrolyse des déchets, également désignée par thermolyse (figure 2), est une décomposition thermique qui se fait sous vide, en l'absence d'oxygène ou d'autres comburants. C'est un ensemble de réarrangements chimiques de processus complexes définis avec peu de précisions jusqu'à nos jours. Les réactions produites sont en grande partie endothermiques et exothermiques à certains stades. La quantité, la composition et les propriétés des produits de pyrolyse varient en fonction des conditions opératoires notamment la température, le temps de séjour et la vitesse de chauffage. [9]

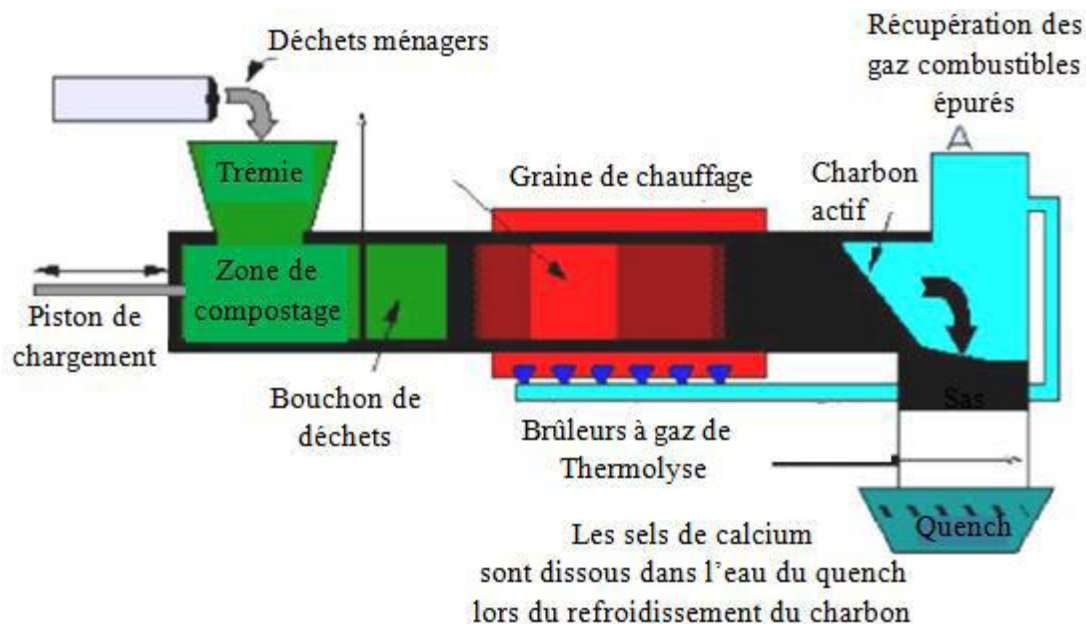


Figure 02 : Principe de la Pyrolyse. [9]

### I.3.4.3.3. Gazéification :

La gazéification est une réaction thermo-chimique qui suit la pyrolyse, elle consiste à la transformation d'un combustible solide en un combustible gazeux ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  ...). Après épuré, le gaz peut être utilisé dans un moteur ou dans un brûleur. La gazéification peut se faire sous différents gaz réactants : vapeur d'eau, dioxyde de carbone ou encore hydrogène. C'est une réaction endothermique qui se déroule dans un domaine de température comprise entre 800 et 1500°C. [9]

La valorisation des déchets traités par gazéification a des avantages par rapport à l'incinération, notamment en ce qui concerne le problème des émissions. En effet, puisque lors de la gazéification un gaz combustible est produit, ce dernier doit être nettoyé afin de pouvoir le valoriser dans un moteur sans l'endommager. A l'inverse de l'incinération, ce nettoyage évite des émissions nuisibles. De plus, étant donné que le procédé est effectué en atmosphère pauvre en oxygène, le principal avantage de la gazéification est la quantité de gaz à nettoyer qui est moins importante que celle dégagée lors de l'incinération. Il faut souligner que ce sont ces fines particules qui sont facilement inhalées par l'homme et sont responsables des problèmes respiratoires et des allergies cutanées. [19]

### I.3.4.4. Le traitement biologique :

#### I.3.4.4.1. Aérobie (le compostage) :

##### a. Définition :

Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de valorisation de matière organique en un produit stabilisé et hygiénistes disposant des caractéristiques d'un terreau enrichi en composés humiques. [20]

Cette décomposition de la fraction organique fermentescible des déchets s'opère en présence d'air et par des micro-organismes aérobies (bactéries, champignons...) dans des conditions contrôlées : d'air, de température et d'humidité. [21]

Le compostage est une pratique consistant à fabriquer du compost à partir de divers déchets végétaux. [22]

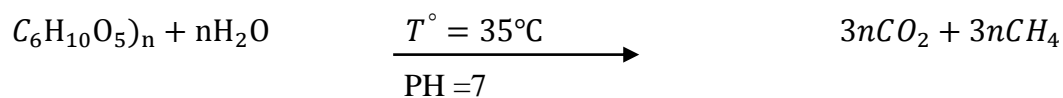
##### b. Objectifs et principe :

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant de poursuivre un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique ;
- réduction de la masse du déchet ;
- production d'un compost valorisable comme amendement organique des sols. [23]

#### I. 3.4.4.2. Anaérobie (la méthanisation) :

Américains, Danois, Hollandais, Anglais et Allemands utilisent depuis longtemps le gaz libéré par fermentation anaérobie de la matière organique selon la réaction suivante :



Le méthane (CH<sub>4</sub>) récupéré peut être transformé en électricité, en vapeur ou en carburant utilisable par les véhicules du transport urbain ou par les bennes à ordures.

Une tonne de fermentescibles après transformation, fournit 100 m<sup>3</sup> de biogaz et 250 Kg de compost. Les résultats sont d'autant plus importants que le gisement de matière organique est pur, C'est-à-dire que le tri a été efficace. [24]



## **I.4 .Déchets l'abattoir :**

### **I.4.1.Définition :**

Les déchets d'abattage sont des substances organiques pouvant subir un phénomène de biodégradabilité.

Ils proviennent à la fois des opérations d'abattage proprement dites et des activités annexes. Ces déchets animaux consistent en tout déchet d'origine animale - tissus, organes, membres, carcasses insalubres, litières, sang, liquides et produits sanguins, les contenus de panses, les eaux résiduaires des industries agro-alimentaires, les cadavres d'animaux etc. [25]

### **I.4.2. Nature des déchets :**

Les déchets animaux peuvent être classés selon leur nature: solide, liquide, ou gazeux.

#### **I.4.2.1. Les déchets solides :**

##### **I.4.2.1.1. Les matières stercoraires**

Elles représentent la plus grosse part des déchets d'abattoirs (environ 70 % de l'ensemble). Ce sont des déchets provenant des panses et feuillets des animaux éviscérés.

Chez les bovins, ces matières sont jaunes, très pailleuses d'aspect et contiennent de fibres de 4 à 5 cm. Elles pèsent environ 45 kg par contenu de panse et 3,5 kg pour les feuillets. [26]

Compte tenu du pourcentage récupérable de ces matières stercoraires, on peut compter sur 45 kg de matières stercoraires par bovin. En ce qui concerne les ovins et caprins, ceux du Sénégal semblent se confirmer, pour ce qui est de leur panse aux données communément admises en Europe, c'est à dire qu'on peut compter sur un minimum de 4,5 kg de matières stercoraires par ovin ou caprin. [26]

##### **I.4.2.1.2. Cornes, onglons, os :**

Les cornes et onglons représentent des déchets non valorisés et exposés en général dans l'environnement immédiat des abattoirs entraînant une forte pollution. [25]

##### **I.4.2.1.3. Les déchets animaux :**

C'est le fumier des étables et de la salle de stabulation. Ce sont des déchets non polluants. [25]

##### **I.4.2.1.4. Les autres types de déchets animaux :**

- Abats et viandes saisies par les services vétérinaires. Ce sont des abats et viandes qui sont déclarés impropres à la consommation humaine, à la suite de l'inspection sanitaire soit pour

répugnance, soit pour insalubrité. Les causes des saisies sont diverses, elles peuvent être infectieuses, parasitaires, ou non spécifiques.

- Les déchets biomédicaux: ce sont des déchets issus de l'activité des cliniques, des établissements de soins, des laboratoires et services vétérinaires. Ces établissements produisent des déchets à risques : objets coupants et tranchants, cultures biologiques de laboratoire, déchets anatomiques et cadavres d'animaux de laboratoires, objets contenant du sang etc.

- Poils, soies et petits déchets divers sont produits à tous les niveaux durant les activités d'abattage. [25]

#### **I.4.2.2. Les déchets liquides :**

Parmi ces déchets liquides, on distingue le sang, et les eaux résiduaires

##### **I.4.2.2.1. Le sang :**

Il s'agit principalement du sang issu de l'abattage des animaux au niveau des abattoirs.

Le sang recueilli correspond de 1/20 à 1110 du poids vif de l'animal. Ce sang varie en fonction du temps de saignée et d'égouttage. [27]

##### **I.4.2.2.2. Les eaux résiduaires :**

Les eaux résiduaires sont les eaux usées collectées à la sortie des industries d'abattage.

Origine: les eaux résiduaires proviennent au niveau des abattoirs des étables: Purin, eau d'égouttage des fumiers des postes de travail de la viande eaux de lavage des locaux d'abattage (triperies) eaux pluviales des cours, parcs, fumiers et les effluents des locaux sanitaires

**Volume:** Le volume des eaux usées rejetées est généralement proche en volume d'eau consommé par l'abattoir. Ce volume varie de 3 à 50 litres par kg de carcasse préparé en fonction:

- du type d'animaux abattus
- de la durée de stabulation des animaux avant l'abattage
- de la cadence d'abattage
- du mode de transport des déchets
- du travail effectué en triperie etc. [28]

#### **I.4.3. Les modes d'élimination et de traitement des déchets l'abattoir:**

La méthode d'élimination des déchets des activités d'abattage est fonction de la quantité de déchets produits. 4 méthodes existent essentiellement :

- le broyage et le compostage,

- la récupération des sous-produits des boucheries en de nouvelles matières brutes prêtes à être utilisées dans les processus de production,
- l'incinération, ou
- l'enfouissement.

#### **I.4.3.1. Le compostage :**

Les déchets provenant des activités d'abattage sont constitués principalement de matières organiques et peuvent donc être compostés. Le seul problème pouvant empêcher leur compostage est la maladie éventuelle des bétails, ce qui nécessite alors une désinfection thermique avant leur compostage. Au Liban, les bétails sont habituellement examinés par les vétérinaires dans les abattoirs après abattage pour être ensuite certifiés. Le seul laboratoire opérant au Liban est celui de Fanar. Celui-ci est responsables d'analyser les échantillons de sang ou de viande pris sur les bétails ; en cas de présence de maladies les bétails seront arrêtés et éliminés. [29]

#### **I.4.3.2. La récupération des sous produits des boucheries :**

Les industries de récupération des sous produits des activités d'abattage comprennent:

- La récupération des carcasses des bétails en produits de viandes traités et conservés en boîtes.
- La transformation des matières non comestibles en produits utiles.

Ces produits sont vendus pour différentes utilisations. Le tableau ci-après décrit les diverses utilisations des produits valorisés par les industries de récupération des déchets des boucheries.

Les sous produits (les os, la tête, les intestins, etc.) sont coupés en petits morceaux et transportés ensuite pour subir un broyage très fin. Ces sous-produits seront coagulés à une température de 80 à 90° C.

Les matières liquides et solides seront ensuite séparées sous l'effet de pression. Les fractions solides seront séchées à une température de 110°C. Le produit séché sera filtré, stérilisé (à une température de 133°C), emballé, et stocké pour être prêt à la distribution. Quant à la fraction liquide, elle sera chauffée à une température de 105°C. Durant ce processus, cette soupe produit de la graisse de couleur jaune qui apparaîtra à la surface et sera écumée et stérilisée à la température de 125°C pour donner la graisse animale.

Ce type d'industries consomme de grande quantité d'eau et d'énergie et émet des odeurs nuisibles. Les effluents doivent être traités dans une station d'épuration avant de les dévier vers le réseau d'égout. [29]

**Tableaux 1: les diverses utilisations des produits valorisés par les industries de récupération des déchets des boucheries. [29]**

Sous produits	Valorisation
La langue, foie, cœur, reins, etc.	Consommation humaine
Les graisses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matières grasses</li> <li>• Margarine</li> <li>• Confiseries</li> <li>• Chewing gum etc.</li> </ul>
Les os	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation humaine</li> <li>• Farines d'os</li> <li>• Fabrication de boutons</li> <li>• Poignée de couteaux etc.</li> <li>• Colle</li> </ul>
Le sang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentation animale</li> <li>• Fabrication de produits pharmaceutiques</li> <li>• Matières additives aux aliments etc.</li> </ul>
La glycérine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisations industrielles (solvants, nitroglycérine, etc.)</li> </ul>
Les intestins	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saucisses</li> <li>• Cordes musicales</li> <li>• Ligatures chirurgicales etc.</li> </ul>
Gélatines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confiseries</li> <li>• Glace</li> <li>• Produits alimentaires gélifiés etc.</li> </ul>
Rénine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabrication de fromage</li> </ul>
Les graisses non comestibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roues</li> <li>• Lubrifiants</li> <li>• Insecticides</li> <li>• Germicides etc.</li> </ul>

Laines	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinceau,</li> <li>• Carpette</li> <li>• Tapisserie</li> <li>• Plâtre pour isolement</li> </ul>
--------	---

#### **I.4.3.3. L'incinération :**

L'incinération des déchets des boucheries est une des méthodes applicables dans la gestion de ces déchets. Ces déchets doivent être traités séparément des autres catégories de déchets comme les déchets hospitaliers ou ménagers destinés à l'incinération. Cela est dû aux différentes caractéristiques de ces catégories de déchets. [29]

#### **I.4.3.4.L'organisation de la collecte :**

En l'absence d'un abattoir central chargé des opérations d'abattage et de la distribution de la viande aux boucheries, la gestion des déchets de cette activité dépendra en termes de coût du service de collecte appliqué. La collecte doit être organisée de façon qu'un camion (pick-up de capacité de 1.5 tonne) bien couvert et fermé, passe chaque jour, ou selon la nécessité, pour collecter les déchets produits par les boucheries et les transporter vers le site de traitement et/ou d'enfouissement.

L'enfouissement et des abattoirs sont des solutions envisageables pour l'élimination des déchets de boucherie. Cette méthode doit être faite avec énormément de précaution pour éviter la pollution du sol, de l'eau et la production d'odeur pestilentielle.

Pour cela, le site d'enfouissement doit respecter les contraintes suivantes :

- Etre strictement loin des puits ou des sources d'eau.
- Le fond de la décharge doit être couvert d'une couche de sol d'épaisseur d'un mètre et être imperméable (il faut éviter les sites détrempés et les sites dont le sous-sol permet le drainage ou l'infiltration). [29]

## Chapitre II :

# La digestion anaérobique et biogaz

### **II.1. Définition de la digestion anaérobique :**

La méthanisation, ou encore appelée «digestion anaérobie » est la transformation de la matière organique en biogaz, composé principalement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique( $\text{CO}_2$ ), par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène, En plus de ces produits, on peut trouver aussi sous forme de traces de l'azote ( $\text{N}_2$ ), de l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) et de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) faisant intervenir essentiellement. La méthanisation se produit naturellement dans les marais, les lacs, les intestins des animaux et de l'homme et de manière générale dans tous les écosystèmes où la matière organique se trouve en situation anaérobie. La méthanisation encore peu réaliser dans les digesteurs aussi appelé réacteur à biogaz ou méthaniser qui sont assuré les conditions opératoire de réalisation de la méthanisation. [30]

### **II.2. Historique de la méthanisation :**

L'utilisation de la digestion anaérobie pour le traitement des eaux usées et la stabilisation des déchets solides ne sont pas nouvelles du tout; elles sont utilisées depuis le 19ème siècle. Dans les régions rurales de la Chine et de l'Inde, des constructions simples de réacteur ont été longtemps employées pour traiter les déchets animaux et agricoles dans le but principal de récupérer l'énergie pour faire cuire et allumer. La digestion anaérobie des boues des stations d'épuration, à grande échelle, employant une technologie de pointe a été présentée dans les années 1860 en France. Cependant, ce n'était qu'aux années 70 que le traitement anaérobie a attiré plus d'attention en termes de recherche et développement technologique. Cet intérêt a augmenté, à la suite de la prise de conscience environnementale accrue de la population. En outre, à la fin des années 80, la Co-digestion traite un mélange de différents types de déchets, y compris les déchets d'animaux, les déchets alimentaires et les déchets organiques ménagers, ont été présentés dans plusieurs pays. Aujourd'hui, un nombre important de systèmes technologiques de digestion anaérobie est en service pour le traitement de différents types de substrats et le développement est encore en marche. [31]

### **II.3. Mise en œuvre de la méthanisation :**

A l'état naturel, on observe la production de biogaz dans les marais, les rizières ou dans le tube digestif des ruminants. Le principe des unités de méthanisation est de recréer et d'optimiser ce phénomène dans des digesteurs puis de capter ce biogaz pour le valoriser énergétiquement. Cependant il est à noter que pour une bonne méthanisation, il faut effectuer

un tri qui aboutit à la séparation des déchets (déchets dangereux, déchets valorisables, matières organiques.) si la collecte sélective des déchets ménagers n'est pas réalisée. La mise en œuvre de la méthanisation en digesteur va dépendre de plusieurs paramètres, parmi les principaux nous retiendrons : le type de digesteur, la température, le pH, les substances inhibitrices, le mixage dans des proportions définies, le rapport C/N, le taux de charges organiques ... [32]

## II.4. Les Etapes de la méthanisation

Elle contient généralement quatre étapes, qui sont l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène.

### II.4.1. L'hydrolyse :

L'hydrolyse est un processus extracellulaire dans lequel des substances organiques particulières complexes (protéines, polysaccharides, lipides, cellulose,...etc.) sont décomposés en composés simples, solubles (acides aminés, sucres simples, acides gras, glycérol,...etc.). C'est une étape importante avant le procédé de fermentation, car les bactéries fermentatives ne peuvent pas absorber les polymères organiques complexes directement dans leurs cellules. Les enzymes hydrolytiques incluent la cellulase, la cellobiase, le xylanase et l'amylase pour la dégradation des polysaccharides en sucres, la protéase pour la dégradation des protéines en acides aminés, et la lipase pour la dégradation des lipides en glycérol et les acides gras à longue chaîne (LCFA) [33] ; [34].

Le procédé d'hydrolyse lui-même implique plusieurs étapes, y compris la production d'enzymes, la diffusion, l'adsorption, la réaction et l'étape de désactivation [35]. Le taux global d'hydrolyse dépend de la taille de la matière organique, de la forme, de la surface, de la concentration de la biomasse, de la production d'enzymes et de l'adsorption. [36]; [37]. En plus, l'adsorption concurrentielle de l'enzyme sur le substrat inerte comme la lignine peut également diminuer l'efficacité de l'hydrolyse [38]. Ce processus compliqué a été décrit par plusieurs modèles cinétiques, par exemple, le modèle cinétique basé sur la surface où l'hydrolyse est liée à la concentration du substrat et la superficie des particules [34], où un modèle biphasé où les bactéries sont attachés d'abord aux particules, libèrent alors l'enzyme pour dégrader la matière [39]. L'hydrolyse est donc une fonction de la biomasse et de la concentration en substrat. Cependant, la plupart des auteurs considèrent l'hydrolyse comme un processus simple en utilisant une cinétique de premier ordre épanchant du substrat [40]; [41]; [42]. L'hydrolyse s'est avérée une étape de taux limitant pour la digestion du substrat particulier comme les déchets de porcs, les déchets de vaches et les boues d'épuration, tandis



que la méthanogène est l'étape de taux limitant pour des substrats aisément dégradables [43]; [44].

#### II.4.2. L'acidogène :

L'étape d'acidogène consiste en une dégradation des composés produits par l'étape d'hydrolyse, par l'action de bactéries acidogènes et fermentatives. Elle conduit à la formation d'un mélange de composés : acides organiques, acides gras volatils (AGV), alcools, hydrogène, dioxyde de carbone, ammonium, ...etc.

Les sucres obtenus à partir de l'étape d'hydrolyse peuvent facilement être dégradés par le procédé de fermentation tandis que les acides gras à longues chaînes doivent être obligatoirement oxydés par un accepteur externe d'électron [45]. Des acides aminés peuvent l'un ou l'autre être dégradés par des réactions dite de (Strickland), où un acide aminé agit en tant que donateur d'électron et l'autre comme accepteur d'électron, ou peuvent être oxydés avec un accepteur d'électron externe [46]. Les microbes fermentatifs de glucose ont des métabolismes embranchés, ce qui signifie qu'ils peuvent métaboliser le substrat dans différentes voies qui donnent différentes quantités d'énergie et produisent différents produits de fermentation [47]. Les bactéries fermentatives peuvent fonctionner à des concentrations élevées de l'hydrogène et du formiate [48]. Cependant, sous cette condition, les bactéries emploieront une voie métabolique dans laquelle plus de métabolites réduits sont produits, comme les acides gras volatils (AGV), lactate, et l'éthanol [49].

#### II.4.3. L'a cétogénèse :

Donne cette étape, la transformation des acides par l'a cétogénèse, en acétate, en dioxyde de carbone, par l'action des bactéries a cétogénèses.

Tous les produits résultants de l'étape de liquéfaction/fermentation autre que l'acétate ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) et l'hydrogène moléculaire ( $\text{H}_2$ ) nécessitent une transformation supplémentaire avant de pouvoir effectivement produire du méthane. C'est ici qu'interviennent des bactéries réductrices a cétogénèses et des bactéries sulfato-réductrices, Productrices d'hydrogène, et d'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ). [50]

Tableau2: Bactéries acétogènes de la digestion anaérobie. [51]

Groupe		Espèce
Syntrophes		Syntrophomonas spp. Syntrophobacter spp. Syntrophus sp. Syntrotrophococcus spp.
Acétogène non syntrophes	sous-groupe 1 : fermentation du substrat → acétate	Butyribacterium spp. Peptococcus glycinophilus
	sous-groupe 2 : $H_2 + CO_2 \rightarrow$ acétate	Acetoanaerobiunoterae Acetobacterium spp. Clostridium spp. Eubacterium limosum Sporomusa spp.

#### II.4.4. La méthanogènes :

Dernière phase au cours de laquelle les produits issus de l'acétogènes (acétate, formate, hydrogène, dioxyde de carbone) sont minéralisés et transformés en méthane par des microorganismes méthanogènes (anaérobies stricts). Cette transformation est réalisée selon deux voies : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone via les espèces dites *hydrogénotrophes*, et l'autre à partir de l'acétate en utilisant les espèces *acétotrophes*, selon le mécanisme suivant :

- Les *méthanogènes acétotrophes* :  
 $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
- Les *méthanogènes hydrogénotrophes* :  
 $2H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + O_2$

Environ 60 à 70 % du méthane est produit par les méthanogènes acétotrophes et les méthanogènes hydrogénotrophes. Il est à signaler que cette étape est fortement influencée par les conditions opératoires telles que : la composition du substrat, le débit de la charge d'alimentation, la température, le pH, la composition du milieu, etc. Par exemple, un surplus de la charge entrante dans le digesteur conduit à une variation brusque de la température ; aussi la présence d'un excès d'oxygène peut inhiber la production du biométhane. [52]

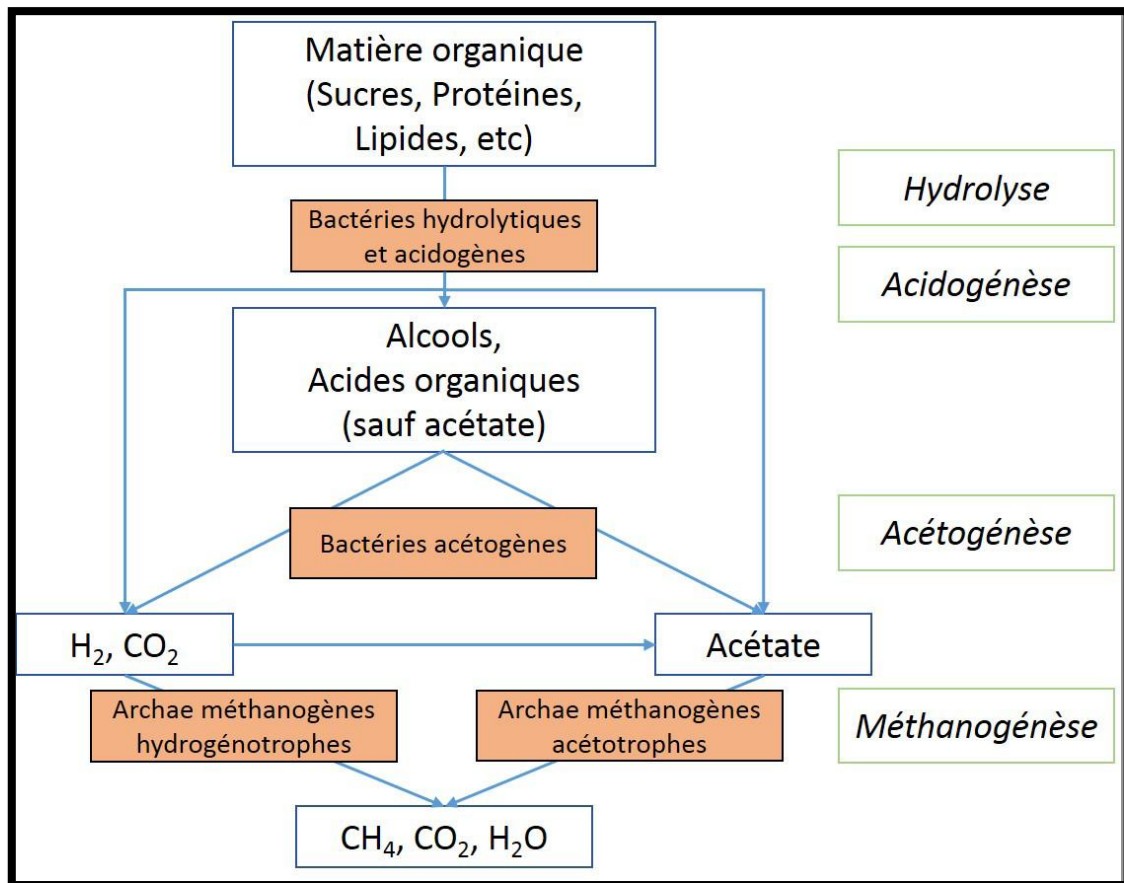


Figure 3 : Etapes biologiques du procédé de méthanisation. [53]

## II .5. Les paramètres influençant la méthanisation :

### II.5.1. pH :

Le pH est un des paramètres les plus importants pour la méthanisation et un contrôle accru de sa variation est fondamental pour le bon fonctionnement des réacteurs. Un pH stable indique un système en équilibre et une méthanisation performante. En revanche, des variations du pH, plus souvent sa diminution, sont signes de problèmes. Les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux variations du pH : de petites altérations peuvent même menacer la production du gaz. À cause de cela, le contrôle de l'alcalinité est important afin de maintenir le pH dans les valeurs voulues. [54] Si la plage de fonctionnement acceptable d'un réacteur se situe entre 5,5 et 8,5, les valeurs idéales pour les microorganismes méthanogènes varient entre 7,0 et 7,2. La chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces organismes [55] et même des valeurs proches de 6,0 causent souvent un arrêt du procédé. [56]

Comme la digestion anaérobie est une séquence de réactions, chacune ayant des sous-produits différents, les uns peuvent influencer négativement les autres. Une surproduction des acides

volatils par les organismes acidogènes peut mener à une baisse du pH et, conséquemment, à une inhibition de la méthanogènes. Cela peut être une situation causée par un grand apport de matières fraîches au digesteur. En revanche, une surconsommation des acides pour la formation de méthane peut engendrer une augmentation du pH et un ralentissement de l'acidogène. [55]

### II.5.2. La température :

La température influence les taux de croissance des espèces microbiennes de la digestion anaérobie. Or les réactions liées à ce processus sont athermiques. Il est donc indispensable d'apporter une source de chaleur extérieure pour pouvoir atteindre les conditions optimales de température.

Les différents groupes bactériens responsables des étapes successives de méthanisation ont des températures optimales de fonctionnement différentes. On distingue trois niveaux de température pour le fonctionnement des méthaniser :

- **Psychrophile à basse température 5°C à 25°C:**

Utilisée normalement dans les méthaniser fonctionnant à la température ambiante. Cette technique exige des longs temps de rétention, c'est la raison pour laquelle elle n'est plus utilisée en Europe.

- **Mésophile à moyen température 25°C à 38°C:**

La plupart des digesteurs anaérobies européens opèrent dans cette gamme de température.

- **Thermophile à haute température au-dessus de 50°C jusqu'à 70°C:**

Cette technique est moins utilisée en raison des besoins énergétiques importants pour maintenir la température dans le méthaniser. Toutefois, il peut arriver que ce procédé soit utilisé en complément du procédé mésophile, puisque les matières organiques prioritairement dégradées ne sont pas nécessairement les même dans les deux processus.

Les avantages d'un régime thermophile par rapport à un régime mésophile sont une réduction du temps de séjour du procédé, une destruction des microorganismes pathogènes, une augmentation de la solubilité et de l'accessibilité des substrats. Les inconvénients sont une dépense énergétique importante pour le maintien de la température à 55°C, un potentiel d'instabilité plus élevé avec notamment un risque d'inhibition par l'ammoniac plus important. . [57]

**II.5.3. L'absence d'oxygène :**

L'oxygène est évidemment un inhibant (réaction anaérobie), cependant une petite quantité d'oxygène n'inhibe pas totalement et immédiatement la production de biogaz. En effet, certains groupes de bactéries, appelées anaérobies facultatives, peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries anaérobies strictes). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes, qui sont anaérobies strictes. [58]

**II.5.4. Rapport C /N :**

Comme pour la digestion aérobie, la proportion entre le carbone et l'azote présents dans la matière organique est importante pour le bon fonctionnement des réacteurs. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal [55]. Une augmentation de l'apport en azote peut mener à une production accrue d'ammoniac, ce qui peut nuire aux microorganismes et inactiver la méthanisation. [59]

**II.5.5. Brassage :**

Le brassage du digesteur n'est pas essentiel pour que la digestion anaérobie se déroule. Cependant, il permet l'obtention d'un milieu homogène, c'est un moyen de favoriser les transferts thermiques, ioniques et métaboliques. Il permet aussi une augmentation des contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée et évite les courts circuits dans le réacteur, un court circuit correspond à la sortie prématurée d'une partie du substrat de la cuve car celle-ci ne suit pas le parcours habituel, l'effluent ne subit pas donc la méthanisation totale. [58] Le brassage se fait à l'aide d'un agitateur mécanique, ou d'un système hydraulique par la recirculation de la boue ou réinjection du gaz produit. [60]

**II. 5.6. Pression partielle en hydrogène :**

L'hydrogène est une molécule clé dans le processus de la digestion anaérobie. Il est produit lors de l'acétogènes à partir des produits de l'acidogènes (AGV). La thermodynamique des réactions de production d'hydrogène est défavorable dans les conditions standards

( $\Delta G^\circ > 0$ ). Cette faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogènes et hydrogénophile qui consomment  $H_2$  au fur et à mesure de sa production. [61]

### II.5.7. L'absence des inhibiteurs :

Plusieurs inhibiteurs potentiels de la fermentation méthanique existent. Parmi les plus étudiés, on peut citer : les oxydants (oxygène, nitrates, sulfates,...) ; les acides gras volatils, les antibiotiques, l'ammoniac, les détergents,... [62]

### II.5.8. Temps de rétention hydraulique (TRH) :

C'est le temps de séjour moyen du substrat dans le réacteur. C'est-à-dire le rapport du volume utile du fermenteur sur le débit volumique du substrat. Ce paramètre opératoire a un impact direct sur les différentes étapes réactionnelles de la digestion anaérobie. En effet, un temps de séjour inférieur à 5 jours est insuffisant pour avoir une digestion stable en raison du lessivage des microorganismes méthanogènes. Voici quelques exemples du temps de rétention de lagunage anaérobie.

Le temps de séjour aussi est fixé par la vitesse de croissance des bactéries impliquées dans la digestion anaérobie. Ces micro-organismes ont des vitesses de croissance différentes. Le temps de rétention hydraulique est déterminé expérimentalement, il varie de quelques heures à quelques mois. Les valeurs obtenues dépendent tout d'abord du procédé retenu: discontinu ou continu, des types de fermenteurs la température de fonctionnement du procédé. [63]

#### Exemples de TRH suivant le procédé de digestions :

**Tableau 03: Différents exemples de TRH suivant le procédé de digestions. [63]**

Procédé	TRH
Réacteurs homogènes conventionnels	10 à 40 j minimum
Digesteurs infiniment mélangés	10 à 20 j
Réacteurs de seconde génération : contact anaérobie	6 à 8 j
Réacteurs à cellules fixées	1 à 4 j suivant le substrat

## II.6. le digesteur :

### II.6.1. Définition :

Le digesteur, cœur où se réalise la méthanisation, et aussi appelé fermenteur ou bioréacteur anaérobie. Il est une simple cuve fermée, étanche et isolé thermiquement, dans laquelle différents micro-organismes dégradent chimiquement et biologiquement les déchets et

les effluents organiques et produisent en stade finale du biogaz. Il peut être équipé des systèmes : de chauffage, d'agitation, de prélèvements et d'un système de mesure de teneur en gaz, de dispositif permettant le contrôle de différents paramètres : la température, le pH, la pression,...etc. [64]

### **II.6.2. Classifications des différents types de digesteurs :**

On peut classer les digesteurs selon :

- le mode d'alimentation : batch, continu ou semi-continu ;

#### **II.6.2.1. Les digesteurs discontinus :**

Il a l'avantage d'être d'une construction simple. Le mode opératoire consiste à remplir le digesteur avec les substances organiques et laisser digérer, le temps de rétention étant fonction de la température et d'autres facteurs. A la fin de la digestion, le digeste est évacué et le processus peut recommencer. Ces systèmes, rustiques et d'une grande simplicité technique, sont avantageux pour traiter les déchets solides comme les fumiers, les résidus agricoles ou les ordures ménagères. La production de biogaz n'est pas régulière : au début du cycle, la fermentation du substrat ne venant que de commencer, la production de biogaz est lente. Elle s'accélère, et atteint un taux maximal au milieu du processus de dégradation et chute en fin de cycle lorsque seuls les éléments difficilement digestibles restent dans le digesteur. [65]

#### **II.6.2. 2. Les digesteurs continus :**

Le substrat introduit de manière continue est digéré et déplacé soit mécaniquement, soit sous la pression des nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement en continu, est bien adapté aux installations de grande taille. Il existe trois principaux types de digesteurs continus : système à cuve verticale, système à cuve horizontale et système à « cuves multiples ». [65]

#### **II.6.2. 3. Le digesteur semi-continu :**

Fonctionne avec une combinaison des propriétés des deux précédents afin de tirer profit des avantages des deux extrêmes. [65]

### **II.7. Avantages de la digestion anaérobie :**

Les avantages de la digestion anaérobie sont :

- Une réduction de la matière sèche des boues
- Une production d'un Biogaz valorisable sous forme d'énergie (Chauffage, cogénération d'électricité)
- Une réduction du nombre de micro-organismes pathogènes

- Un intérêt agronomique, lié à une concentration importante en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et en phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) due à la lyse de la matière organique
- Une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en oxygène la possibilité de traiter des charges organiques élevées : de 2 à plus de 80 kg de DCO par mètre cube de réacteur et par jour avec des taux d'épuration de 80 à 98%. [66]

## II.8. biogaz

### II.8.1. Définition et Composition

Le biogaz est un mélange de gaz carbonique et méthane provenant de la dégradation des matières organiques, végétales ou animales, dans un milieu en raréfaction d'air (dite fermentation anaérobie ou méthanisation). Cette fermentation est le résultat de l'activité microbienne naturelle ou contrôlée. [67]

La composition du biogaz varie selon les matières digérées et le temps de traitement. Habituellement, la concentration de méthane se situe entre 50 et 80 %, 60 % étant la Valeur la plus fréquemment rapportée par les usines. En plus du méthane, l'autre gaz Principal formé est le  $\text{CO}_2$ . Les gaz présents en faibles concentrations sont le  $\text{H}_2\text{S}$ , le  $\text{NH}_3$  en plus de la vapeur d'eau jusqu'à son point de saturation. Ces derniers gaz doivent être traités selon l'utilisation prévue pour le biogaz afin de ne pas endommager les équipements ([55] ; [68]). Le tableau 04 indique la composition moyenne du biogaz.

**Tableau 04. Composition moyenne du biogaz. [68]**

Gaz	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{O}$
Concentration	55-80 %	20-45 %	0-1,5 %	0-0,5 %	saturé

### II.8.2. Historique :

Le biogaz a été autour depuis il ya eu de la biomasse et les déchets en décomposition d'autres, en décomposition et digérées par les bactéries On pense qu'il a 'été découvert dans un marais, mais le vrai potentiel de ce gaz n'a pas été réalisé jusqu'a ce que les années 1890, lorsque le gaz a été utilisé pour l'éclairage en Angleterre.

En 1630, Von Helmont constaté que des gaz inflammables pourraient évoluer de la décomposition de matières organiques et dans les notes Shirley 1667 ses conclusions sur le biogaz alors le nom de gaz des marais. On dit que Marco Polo a écrit sur couverte réservoirs d'eaux usées en Chine, mais on ne sait pas si ils ont capture le gaz et l'a utilisé. Certaines



sources indique également des Assyriens et des Perses d'utiliser ce gaz pour chauffer l'eau du bain dans l'Antiquité.

1808 - Sir Humphrey Davy a constaté que le méthane est présent dans les gaz qui est formé par la digestion anaérobie du fumier.

1884- Louis Pasteur présente ses étudiants travaillent à l'Académie sciences et raconte comment ce gaz peut être utilisé pour le chauffage et l'éclairage. Son élève, Ulysse Gayon, effectuée la fermentation anaérobie du fumier et de l'eau à 35°C et a obtenu 100 litres de biogaz par mètre cube de fumier.

1895- Le biogaz est utilisé pour illuminer les rues à Exeter, en Angleterre.

1940 - le développement du biogaz et des applications sommeillent jusqu'à ce que les pénuries d'énergie de la Deuxième Guerre mondiale. La guerre oblige les gens à considérer les sources d'énergie alternatives à nouveau.

1957 - Un inventeur britannique, Bates modifie sa voiture fonctionnant au biogaz produit à partir de lisier de porc. En 1974, il explique le processus et les avantages de celui-ci dans le film documentaire "Doux comme un écrou". A ce stade, il dirige sa voiture sur le biogaz pendant 17 ans.

2005-Le programme de soutien de production de biogaz au Népal remporte la récompense Ashden pour l'installation de plus de 150.000 Installations de biogaz dans les zones rurales. Et un train qui fonctionne avec du biogaz commence son service en Suède. [9]

### **II.8.3. Ressources de biogaz :**

- **Le biogaz issu des boues des stations d'épuration :**

Le biogaz provient des matières organiques contenues dans les eaux. C'est un gaz riche en méthane, en hydrogène sulfuré, Les biogaz industriels ou agricoles (des industries ou agroalimentaires) ; [67]

- **Les biogaz des unités spécifiques de méthanisation liée au compostage :**

Normalement, il n'y a pas de biogaz en cas de compostage, puisque ce dernier nécessite, au contraire de la méthanisation, un traitement avec apport d'air.

Mais il existe aujourd'hui des procédés mixtes qui permettent de produire à la fois de l'amendement organique et le biogaz ; [67]

- **Le biogaz de décharge :**

Les décharges produisent spontanément du biogaz car les déchets fermentescibles y sont régulièrement déposés.

L'émission peut durer plusieurs centaines de jours, d'abord à un rythme croissant, puis décroissant.

Le processus peut s'accélérer en humidifiant la matière organique, auquel cas le potentiel de production peut être récupéré entre 5 ou 10 ans. Sans installation particulière, autre que le captage des gaz dans les alvéoles. On peut récupérer 60 m<sup>3</sup> de méthane par tonne enfouie. [67]

#### II.8.4. Valeur énergétique :

Le méthane brûlé avec une flamme bleue, lorsque sa combustion est complète. Celle-ci s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. Dans ces conditions, 1 m<sup>3</sup> de méthane peut atteindre en brûlant une température de 1400 °C et dégage une quantité de chaleur de 8500 à 9500 kcal, à titre indicatif, 1 m<sup>3</sup> de biogaz, contenant 70% de méthane et de 30% de gaz carbonique, libère par combustion environ 6000 Kcal. [69]

La variabilité de la quantité du gaz suivant le substrat fermenté est important : De 55% à 75% de CH<sub>4</sub>. Sur une installation donnée, en l'absence d'accident de fermentation, la composition du biogaz est stable. [70]

#### II.8.5. Purification du biogaz :

On distingue dans l'étape de purification du biogaz, le traitement qui consiste à éliminer les composés toxiques et corrosifs (H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>). [70] Le biogaz produit nécessite en suite une purification. Cette dernière permet :

- D'améliorer le pouvoir calorifique ;
- De diminuer le volume de stockage ;
- De supprimer l'effet corrosif et les mauvaises odeurs dus à la présence de l H<sub>2</sub>S.

Le procédé le plus efficace pour éliminer l'H<sub>2</sub>S est le passage du biogaz dans un filtre composé de limailles de fer (oxyde de fer). Le filtre est placé sur la conduite de gaz. Pour l'élimination de CO<sub>2</sub>, il faut faire barboter le biogaz dans une solution de chaux qui fixera le gaz carbonique. [71]

Pour éliminer l'eau on applique des techniques de condensations pour piéger les gouttelettes ou de séchage la vapeur d'eau (refroidissement et piégeage de l'eau, adsorption sur des produits de type silice-gel, séchage au glycol ...). [72]

Le tableau 05 regroupe les différents composés toxiques et leurs techniques d'élimination :

**Tableau 05 : Les composés et leurs techniques d'élimination. [69]**

Composés à éliminer	Techniques

Eau	élimination de la vapeur d'eau à l'aide d'un purgeur (piège à l'eau)
Souffre	adsorption sur charbon actif, ajout de chlorure de fer, le passage du biogaz dans un filtre d'oxyde de fer
Organohalogénés	adsorption sur charbon actif
CO <sub>2</sub>	barbotage du biogaz dans une solution de chaux

## II.8.6. Valorisation de biogaz :

### II.8.6.1. Valorisation thermique en chaudière :

La combustion directe du biogaz pour produire de la chaleur (eau chaude ou air chaud) est la solution la plus facile à mettre en œuvre et la moins exigeante en termes de qualité du biogaz. Il est aisé d'adapter des chaudières au gaz naturel pour qu'elles puissent fonctionner avec du biogaz. Les modifications à apporter concernent essentiellement le brûleur pour lequel le système d'admission doit être agrandi et la prise d'air diminuée afin d'abaisser le rapport air/carburant. Le rendement typique de ces installations est de l'ordre de 90%. [73]

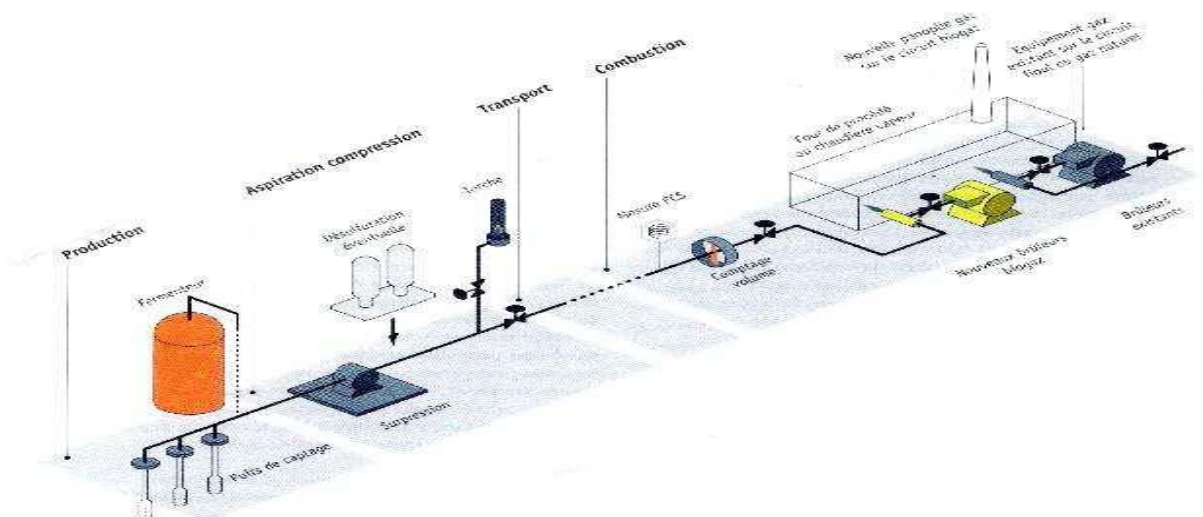
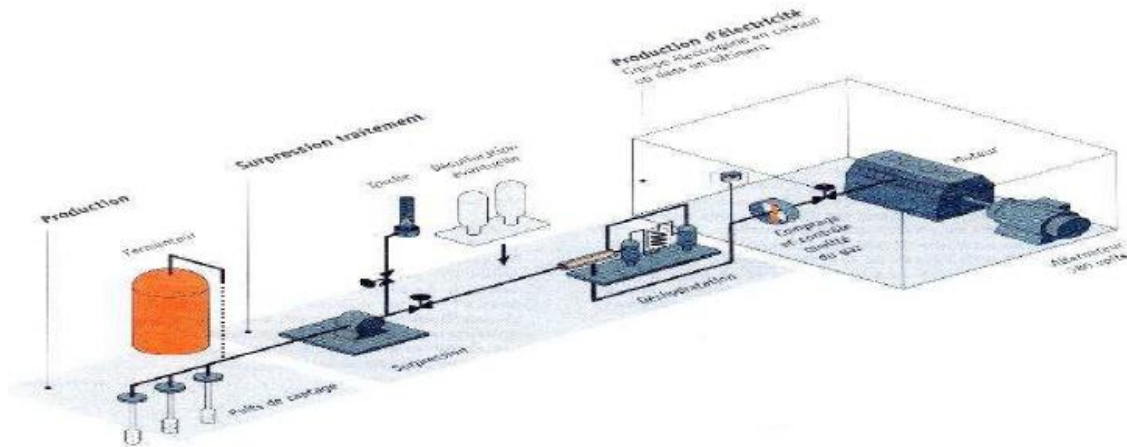


Figure 04 : Valorisation thermique du biogaz [73].

### II.8.6.2. Valorisation électrique du biogaz :

Lorsque le centre d'enfouissement technique ou les fermenteurs ne sont pas situés à proximité d'un industriel et lorsque les besoins thermiques locaux sont négligeables en regard de l'énergie biogaz disponible, une source de valorisation possible est la production

d'électricité à partir d'un moteur ou d'une turbine à gaz qui entraînent un alternateur, avec autoconsommation locale ou revente partielle du surplus à l'opérateur local chargé de commercialiser l'électricité. Le rendement de ces installations reste tout de même faible de l'ordre de 35%. [73]



**Figure 05 : Valorisation électrique du biogaz [73]**

### II.8.6.3. Valorisation en carburant automobile :

Pour être utilisé en tant que carburant véhicule, le biogaz suit une série d'étapes d'épuration/compression. Cette valorisation s'est principalement développée en Suède et en Suisse. En France, l'opération pionnière de Lille permettra de mieux évaluer les aspects environnementaux de cette filière et les difficultés de mise en œuvre que ce soit d'ordre technique, économique, juridique. Elle peut être envisagée dans le cadre d'une flotte captive de véhicule (bus, bennes déchets, ...). [74]

### II.8.6.4. Valorisation par injection dans le réseau de gaz de ville :

Dans certains pays européens, l'injection du bio-méthane dans des réseaux dédiés ou non est plus usuelle : Suède, Allemagne, Suisse, Pays Bas, ... L'injection du biogaz épuré dans le réseau de gaz naturel est le mode de valorisation le plus performant. [74]

***Chapitre III :***

***Matériels et méthodes***

### III.1. Le substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans cette étude pour l'alimentation des digesteurs:

Le déchet ménager, ce déchet constitué principalement par les déchets de cuisine de différentes quantités: 5.0175g, 5.0114g et 5.0035g Ces déchets s sont\_découpés en petits morceaux afin d'assurer une homogénéisation de l'échantillon photo 02.



**Photo 02 : Le déchet ménager utilise.**

Le déchet l'abattoir : Le substrat étudié est constitué de l'ensemble des déchets et sous produits engendrés par l'activité des abattoirs, de façon qualitative et quantitative. Le substrat sélectionné est composé de déchets de contenus de panses .Photo 03.



**Photo 03 : le déchet l'abattoir utilise.**

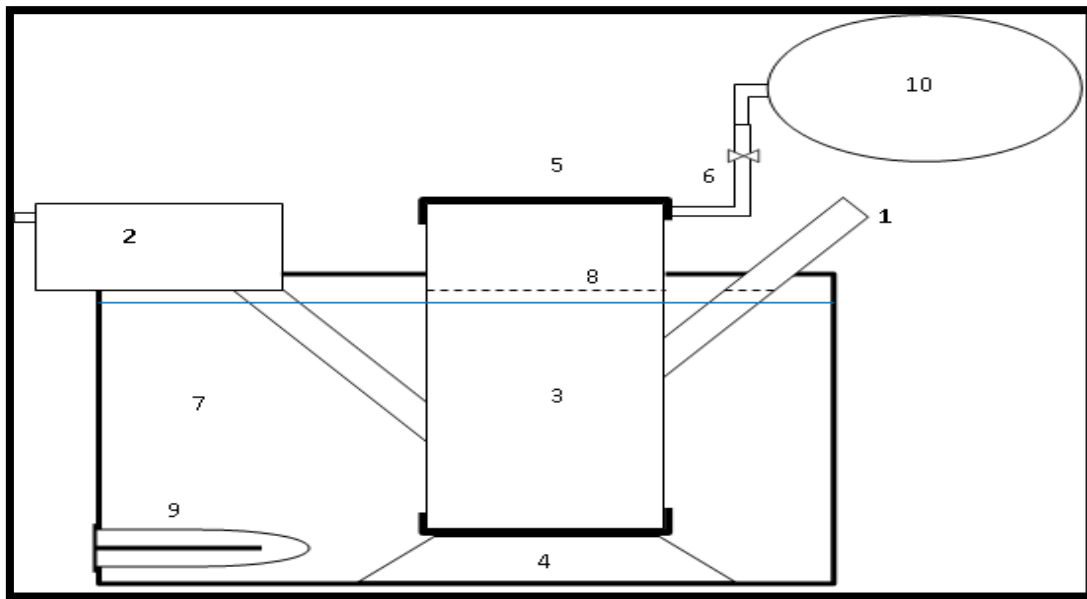
### III.2.Description de digesteur :

#### a)Dispositif expérimental:

Le digesteur continu est un tube de plastique avec un diamètre de 20 cm et une longueur de 45 cm, hermétiquement fermé, avec un volume réactionnel de 12 L, deux tubes de diamètre de 4 cm ont été installés sur les deux côtés, l'un pour l'introduction de la matière organique et l'autre pour la sortie de substrat digéré. Une sortie de biogaz est installée en haut de digesteur elle menée d'une vanne d'arrêt, à l'extrémité de la sortie nous avons installé un ballon pour stocké le biogaz produit. La température de la fermentation est fixée à 37°C dans un bain marie thermostat. [75]



**Photo 04 : Digesteur continu.**



(1) Entrée du substrat; (2) Sortie du Digestat; (3) Corps de digesteur; (4) Support;  
 (5)Couvercle; (6) Sortie du biogaz; (7) Bain-marie; (8) Niveau du substrat; (9) Résistance  
 électrique; (10) Ballon pour la récupération du biogaz.

**Figure 06 : Dispositif expérimental du digesteur continu à l'échelle du laboratoire. [75]**

#### b) L'inoculum:

L'inoculum utilisé est récupéré d'un digesteur en fonction qu'est traité la bouse de vache. [75]

### III.3. La détermination du pH :

#### a) Matériels utilisés :

- pH-mètre ;
- bécher.



**Photo 5 : pH-mètre.**

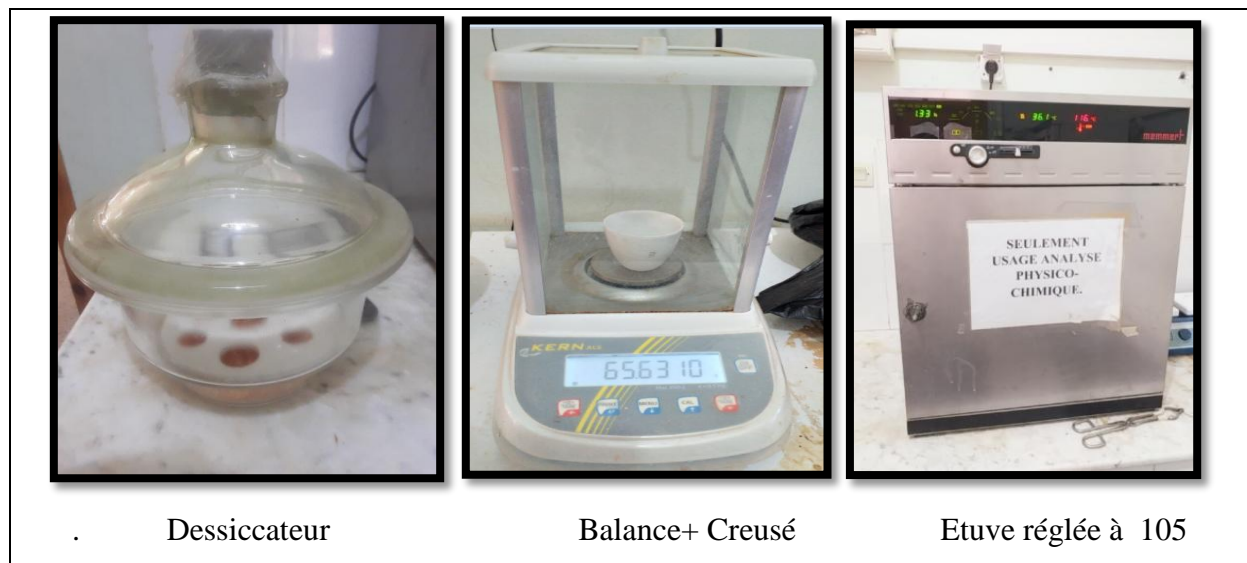


**b) Méthode :**

1. On allume le PH mètre.
2. Rincer l'électrode, avec de l'eau distillée et sécher avec un papier hygiénique.
3. Immerger l'électrode dans l'échantillon à analyser et agiter
4. Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée.
5. Rincer l'électrode avec l'eau distillée et sécher pour réaliser la mesure suivante.
6. Noter la valeur afficher sur l'appareille.

**III.4 .Caractéristique de déchet:****III.4.1 Détermination de la matière sèche (MS) :****a) Matériels utilisés :**

- Creusé.
- Balance.
- Dessiccateur.
- Etuve réglée à 105.

**Photo 6 : Matériels utilisés pour Détermination la matière sèche.****b) Méthode :**

La matière sèche est déterminée par dessiccation dans une étuve maintenue à 105 °C jusqu'à ce que le poids de l'échantillon à analyser devienne constant. La différence du poids correspond à la perte d'humidité et le résidu représente la teneur en matière sèche de l'échantillon.

Pour déterminer la matière sèche, une prise d'échantillon de masse 3g, soit (M<sub>1</sub>), est versée dans un creuset de masse connue soit (M) préalablement nettoyée et séchée, ensuite l'ensemble est placé dans une étuve à 105 °C pendant 2 heures et en calcul le poids, on répète ce processus jusqu'à ce que nous obtient un poids d'échantillon stable. Les creusets ont été pesés après refroidissement dans un dessiccateur. [76]



**Photo 7 : Substrats après dessiccateur.**

La matière sèche s'obtient selon la méthode de Michaud [76]:

$$MS\% = \left(\frac{M_2}{M_1}\right) \times 100$$

Avec :

M : masse de la creusé ;

M<sub>1</sub> : masse de l'échantillon avant dessiccation ;

M<sub>2</sub> : masse de l'échantillon après dessiccation.

Le taux d'humidité est calculé à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ d'humidité} = 100 - \%MS$$

### III.4.2.Détermination de la matière organique (MO) :

a) Matériels utilisés :

- Creusé
- Balance de précision
- Dessiccateur
- Four à moufle



**Photo 08 : Four à moufle.**

**b) Méthode utilisée :**

Pour déterminer la teneur en matière organique (MO), la masse ( $M_2$ ) de l'échantillon après dessiccation, est introduite dans une creusé préalablement nettoyée et séchée ayant une masse ( $M$ ), l'ensemble est placé dans un four à moufle pour une calcination à 550 °C pendant 5 heures. Après refroidissement les creusés contenant la matière minérale. [77]



**Photo 09 : substrat après calcination.**

**c) Les calculs :**

Le calcul de matière organique MO s'obtient selon la relation suivante [78] :

$$\%MO = \frac{M_2 - M_3}{M_2} \times 100$$

$M_2$  : la masse après la dessiccation.

M3 : la masse après calcination.

### III.5. Détermination du volume du biogaz et CH<sub>4</sub> :

La production du biogaz est le but principal de la digestion anaérobie. Durant le déroulement du processus de digestion anaérobie le volume du biogaz et le méthane produit sont mesurés de façon régulière par la méthode de Test de Potentiel Méthanogène (BMP) [75]

#### a) Matériels

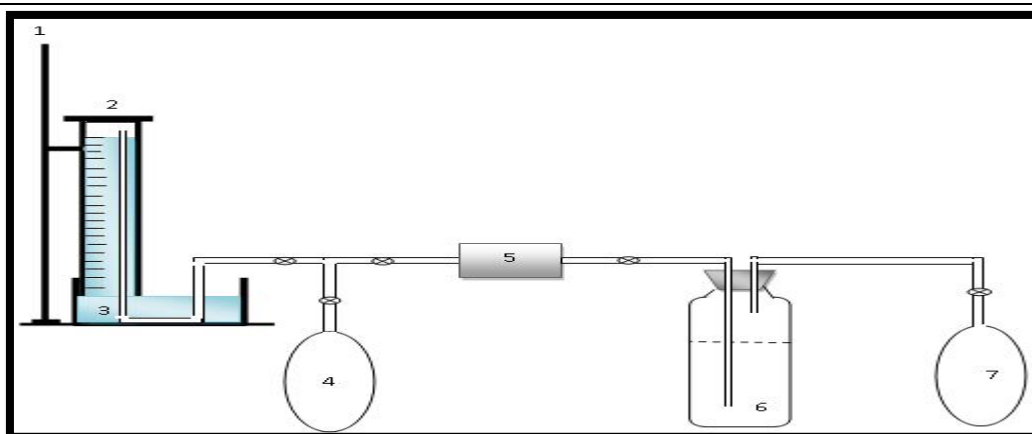
- Éprouvette graduée;
- Flacon ;
- Support ;
- Des tuyaux;
- Pompe à vide;
- deux ballons

#### b) Solutions

- NaCl (10g/l) pH=2.
- NaOH (3M/l).

#### c) Méthode:

Le volume des biogaz produits (4) est mesuré par la méthode du liquide déplacé dans l'éprouvette inversé (2) avec une solution saturée (NaCl 10g/l pH=2) (3) afin de réduire au maximum la dissolution de CO<sub>2</sub>; après la quantification le biogaz est pomper(5) dans une solution de NaOH (3M/l) (6) pour l'élimination de CO<sub>2</sub>, en fin en obtenons un méthane pure(7), en le quantifier par la même méthode.[79]



- (1) Statif - (2) Éprouvette graduée inversée - (3) Solution saturée (NaCl 10g/l pH=2) - (4) Biogaz non filtré (5) Pompe à vide - (6) Filtration de CO<sub>2</sub> (solution de NaOH (3M/l)) - (7) Biogaz filtré.

**Figure 07 : Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de CH<sub>4</sub> produit. (Test de potentiel méthanogène ou BMP). [75]**

### **III.6.Détermination de la DCO :**

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement lors de la dégradation chimique d'une quantité de matière organique. Cette mesure traduit leurs teneurs et le degré de la pollution. La DCO est l'unité de mesure de pollution carbonée la plus utilisée en modélisation des procédés biologiques car elle permet de faire des bilans de matière regroupant des produits organiques biodégradables et non biodégradables. [76]

#### **a) Matériels utilisés :**

- Centrifugeuse.
- Pipette.
- Eprouvette.
- Bécher.
- Tubes.
- Burette.
- Thermoréacteur.

#### **b) Méthode :**

Ce dosage est réalisé par l'emploi de la méthode au bichromate de potassium (AFNOR T90 -101). Cette méthode analytique est adaptée pour le dosage de la DCO dans la gamme de mesure va de 30 mg/L à 700 mg/L pour des échantillons non dilués. Les valeurs de la DCO de notre échantillon sont plus élevées que ces valeurs, pour cela toutes les mesures de la DCO sont réalisées sur des échantillons dilués [76]

Les matières organiques contenues dans l'échantillon sont oxydées, en milieu acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), en présence de sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) comme catalyseur, et de sulfate de mercure (HgSO<sub>4</sub>) pour éviter l'interférence des chlorures, par le bichromate de potassium (K<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub> O<sub>7</sub>), introduit en excès, sous le chauffage à 150°C, pendant 2 heures dans un thermoréacteur



**Photo 10 : Thermoréacteur.**

Après refroidissement, la DCO est déterminée par dosage en retour : l'excès de bichromate de potassium est dosé à l'aide d'une solution de sulfate fer ammonium [sel de Mohr  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ ],

Après la détermination de leur titre, en présence de quelques gouttes de ferroïne comme indicateur coloré. L'oxydation de la matière produit des ions donnant une coloration rouge violacé. La DCO est exprimé par la relation suivante :

$$\text{DCO} = \frac{V_T - V_E \times 8000 \times T \times d}{V_e} \quad (\text{en mg O}_2/\text{L})$$

**Avec :**

$V_T$  : Volume de sel de Mohr pour le témoin.

$V_E$  : Volume de sel de Mohr pour l'échantillon.

$T$  : titre de sel de Mohr.

$d$  : facteur de dilution.

$V_e$  : Volume d'échantillon prélevés après la dilution.

# Chapitre IV :

## Résultats et discussions

### IV.1. Caractéristiques du substrat :

La digestion des substrats à durée 21 jours, Pour améliorer la consommation de matière organique [73], et Production maximale de biogaz et de méthane et les caractéristiques initiales sont reportées dans le tableau 06.

**Tableaux 06 : Les caractéristiques du substrat**

Paramètre	Unités	Déchet ménager(DM)	Déchet abattoir(DA)
pH		6,95	5,81
Taux de Matière sèche	%	12,24	21,75
Taux de Matière organique	%	91,78	94,01
Taux de Matière minérale	%	8,22	5,99
Taux d'humidité	%	87,76	78,25
Demande chimique en oxygène Soluble (DCO <sub>S</sub> )	Mg/l	13227,52	21744,79
Demande chimique en oxygène Totale (DCO <sub>T</sub> )	Mg /l	6361,26	16927,08

A la lumière de ces résultats, il apparaît clairement que notre substrat est composé principalement de matière organique avec un taux de 91,78% dans les déchets ménages et 94,01% dans les déchets abattoir. Les résultats ont aussi mis en évidence des valeurs de la DCO de 13227.52 mg/L (DM) et 21744,79 mg /L(DA) signifiant la charge organique oxydable de notre substrat.

### IV.1 .Variation du pH :

#### IV.1.1.Variation du pH de déche ménagers :

Le tableau suivant représente les valeurs de pH pour les trois digesteurs et le pH moyen entre eux :

**Tableaux 07 : La variation de pH en fonction de temps de déche ménage.**

Les jours	$pH_{Dg1}$	$pH_{Dg2}$	$pH_{Dg3}$	$pH_{moyen}$
1	6,92	6,61	6,26	6,59667
2	7,29	6,51	6,29	6,69667
3	7,29	6,66	6,53	6,82667



4	7,3	6,72	6,72	6,91333
5	7,31	6,77	6,77	6,95
6	7,31	6,86	6,79	6,98667
7	7,32	6,93	6,87	7,04
8	7,32	7,18	7,18	7,22667
9	7,56	7,46	7,46	7,49333
10	7,71	7,51	7,51	7,57667
11	7,42	7,55	7,55	7,50667
12	7,56	7,32	7,32	7,4
13	7,52	7,56	7,56	7,54667
14	7,58	7,71	7,71	7,66667
15	7,65	7,42	7,46	7,51
16	7,68	7,56	7,56	7,6
17	7,87	7,52	7,75	7,71333
18	8,02	7,48	7,8	7,76667
19	8,22	7,39	7,65	7,75333
20	8,31	7,45	7,74	7,83333
21	8,35	7,87	7,61	7,94333

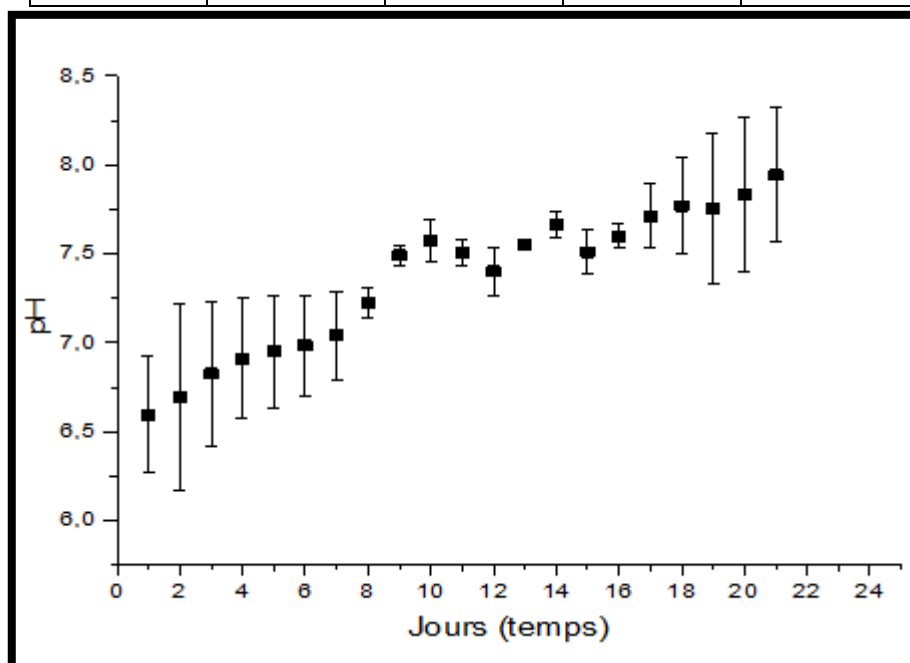


Figure 08: La variation de pH en fonction de temps de déchet ménager.

D'après la figure 08, on remarque que le niveau de pH est compris entre 6,26 et 8,35 pendant 21 jours pour les trois digesteurs.

Le niveau de pH le premier jour était de 6,5 et augmentait jusqu'au sixième jour, pour approcher 7;

Il a atteint 7 au septième jour et a continué d'augmenter jusqu'à la fin de l'expérience, atteignant 7,8 .explique par consommation de acétate. [80]

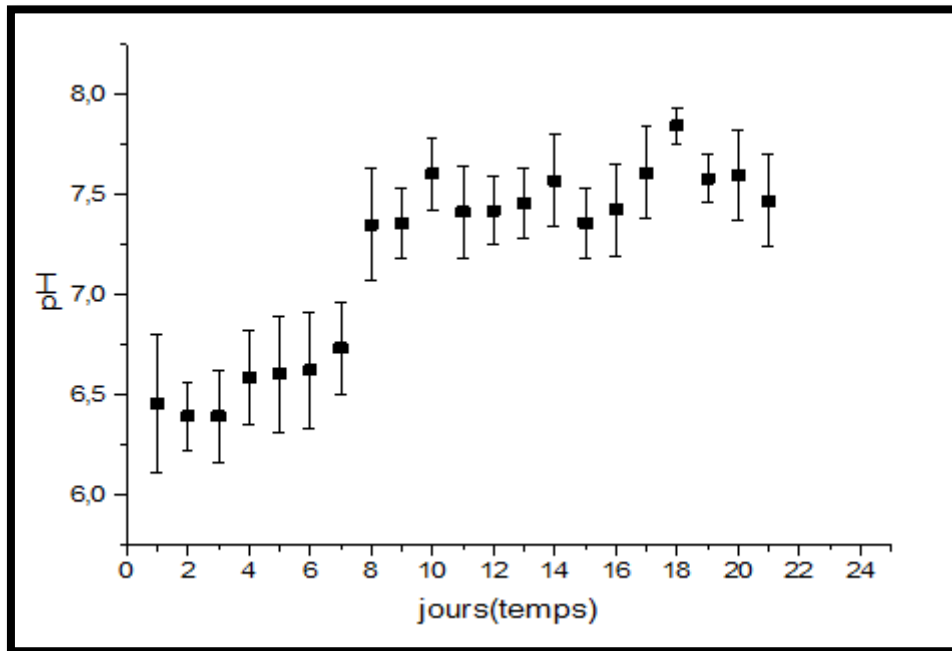
### IV.1.2.pH de déche d'abattoir:

Le tableau suivant représente les valeurs de pH pour les trois digesteurs et le pH moyen entre eux :

**Tableaux 08 : La variation de pH en fonction de temps de déche d'abattoir.**

les jours	$pH_{Dg1}$	$pH_{Dg2}$	$pH_{Dg3}$	$pH_{moyen}$
1	6,28	6,24	6,86	6,46
2	6,32	6,27	6,59	6,39333
3	6,55	6,51	6,13	6,39667
4	6,74	6,7	6,32	6,58667
5	6,79	6,75	6,27	6,60333
6	6,81	6,77	6,29	6,62333
7	6,89	6,85	6,47	6,73667
8	7,22	7,16	7,68	7,35333
9	7,48	7,44	7,16	7,36
10	7,53	7,48	7,81	7,60667
11	7,57	7,53	7,15	7,41667
12	7,35	7,3	7,62	7,42333
13	7,58	7,54	7,26	7,46
14	7,73	7,68	7,31	7,57333
15	7,48	7,44	7,16	7,36
16	7,58	7,54	7,16	7,42667
17	7,77	7,72	7,35	7,61333

18	7,95	7,77	7,82	7,84667
19	7,67	7,63	7,45	7,58333
20	7,76	7,7	7,34	7,6
21	7,63	7,58	7,21	7,47333



**Figure 09 : La variation de pH en fonction de temps de déche d'abattoir.**

D'après la figure, on remarque que le niveau de pH est compris entre 6,25 et 7,8 pendant 21 jours pour les trois digesteurs.

Le pH peut être divisé en trois plages:

Au cours des deux premiers jours, on constate une diminution rapide du pH d'une valeur de 6,5 à 6,3. Cette carence est due à la dégradation du substrat et à la formation de l'acide gras en tant que substance

Lactate, butyrate, préopinante...etc. et leurs accumulations dans le milieu [80].

Dès le quatrième jour, nous avons ajusté le pH avec une solution d'hydroxyde de sodium.

Afin d'amener sa valeur proche de 7 (valeur optimale pour la digestion anaérobie), du quatrième au huitième jour, le pH ne cesse d'augmenter sa valeur proche de 7.

Après le huitième jour, un deuxième ajustement du pH a été effectué. Mais cette fois le pH, Il reste stable après modification vers 7 jusqu'à la fin de l'expérience. Cela peut

s'expliquer par Consommation d'acides gras volatils (AGV) et épuisement de la matière organique [80]. Bonne dérèglement de la méthanisation.

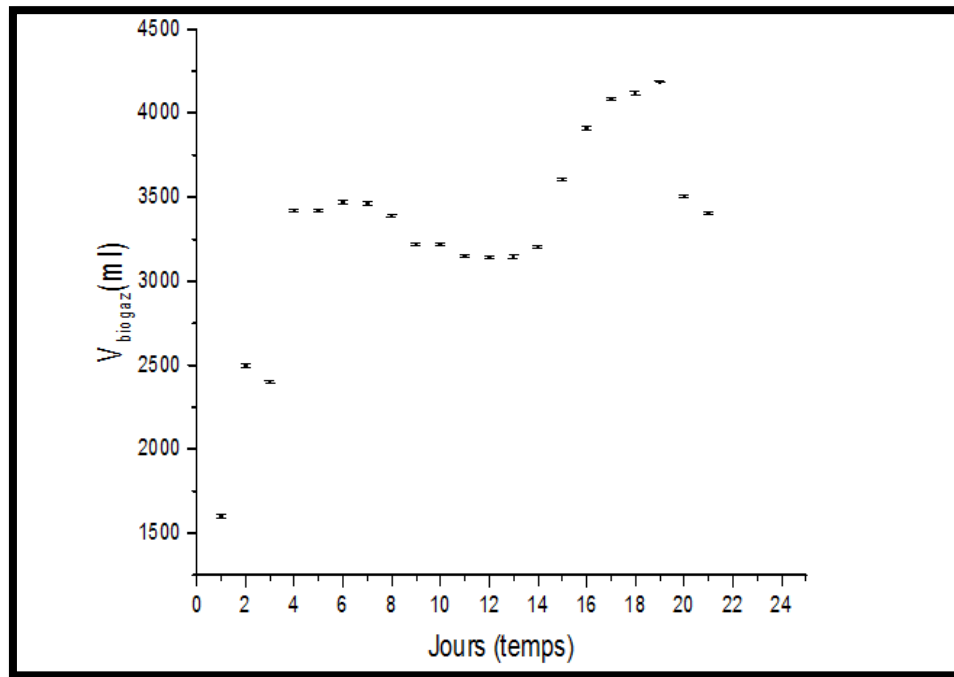
**IV.2. Volume de biogaz produit :**

**IV.2.1. Volume de biogaz produit de déche ménagers :**

Le tableau suivant représente les Volume de biogaz produit de déche ménagers pour les trois digesteurs et le moyenne entre eux :

**Tableaux 09 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche ménage.**

<b>Jours</b>	$V_{Dg1}(ml)$	$V_{Dg2}(ml)$	$V_{Dg3}(ml)$	$V_{moyen}(ml)$
1	1590	1610	1600	1600
2	2480	2509	2500	2496,33333
3	2390	2410	2400	2400
4	3410	3430	3420	3420
5	3410	3430	3420	3420
6	3460	3480	3470	3470
7	3450	3470	3460	3460
8	3380	3400	3390	3390
9	3210	3230	3220	3220
10	3210	3230	3220	3220
11	3140	3160	3150	3150
12	3130	3150	3140	3140
13	3135	3155	3145	3145
14	3200	3210	3200	3203,33333
15	3600	3610	3600	3603,33333
16	3901	3921	3911	3911
17	4086	4086	4076	4082,66667
18	4110	4130	4120	4120
19	4190	4190	4180	4186,66667
20	3500	3510	3500	3503,33333
21	3400	3410	3400	3403,33333



**Figure 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche ménage.**

A travers la figure 10, on remarque que le volume de biogaz le premier jour était de 1500ml, pour augmenter le deuxième jour à 2500ml, après quoi on a remarqué une légère baisse le troisième jour à 2400ml. Une forte production de biogaz a été observée au départ à partir du quatrième jour (3420ml). Cela nous permet de dire qu'il y a transformation des acides gras volatils en méthane et en dioxyde de carbone. Cela peut être justifié en atteignant la formation de méthane à partir de ce jour. La production s'est poursuivie jusqu'au dix-neuvième jour, puis s'est affaiblie et affaiblie jusqu'au dernier jour.

#### **IV. 2.2 .Volume de biogaz produit de déche d'abattoir :**

Le tableau suivant représente les Volume de biogaz produit de déche d'abattoir pour les trois digesteurs et le moyenne entre eux :

**Tableaux 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche d'abattoir.**

Jours	$V_{Dg1}$	$V_{Dg2}$	$V_{Dg3}$	$V_{moyen}$
1	3460	3475	3470	3468,33333
2	3450	3465	3460	3458,33333
3	3380	3394	3390	3388
4	3230	3223	3220	3224,33333
5	3217	3223	3220	3220

6	3145	3155	3150	3150
7	3135	3147	3140	3140,66667
8	3130	3149	3145	3141,33333
9	3180	3206	3200	3195,33333
10	3590	3607	3600	3599
11	4480	4509	4500	4496,33333
12	4395	4405	4400	4400
13	4410	4426	4420	4418,66667
14	4370	4385	4380	4378,33333
15	4370	4387	4380	4379
16	4360	4376	4370	4368,66667
17	4350	4365	4360	4358,33333
18	4340	4354	4350	4348
19	4330	4347	4340	4339
20	4320	4335	4330	4328,33333
21	4310	4326	4320	4318,66667

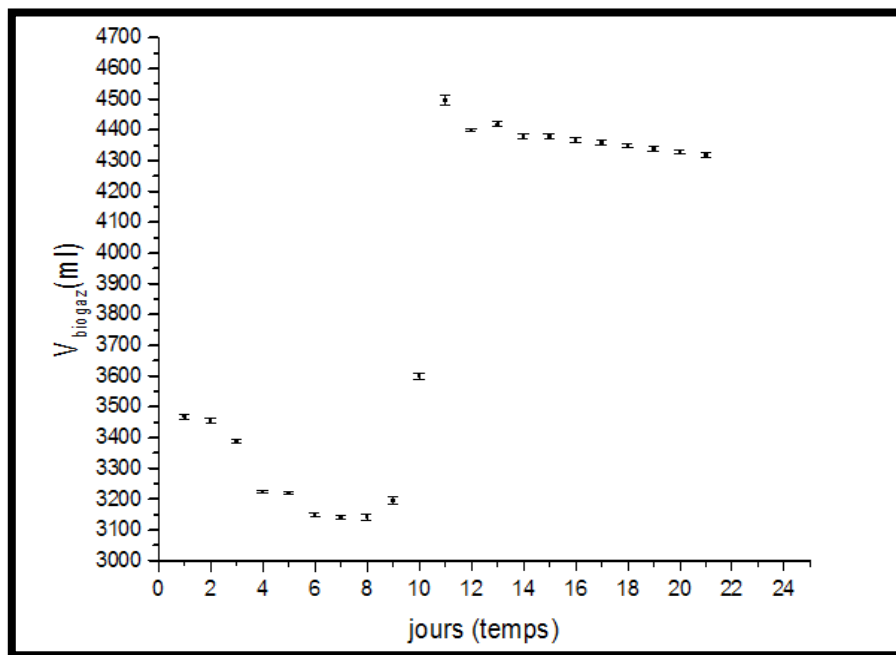


Figure 11 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déche d'abattoir.

A travers la figure 11, on remarque que 3470 ml de biogaz ont été produits pendant les deux premiers jours, puis il a commencé à décliner jusqu'au septième jour, atteignant 3140 ml. On constate une augmentation significative du volume de biogaz du huitième au onzième jour, pour atteindre 4486 ml, et puis il commence à diminuer jusqu'à la fin de l'expérience.

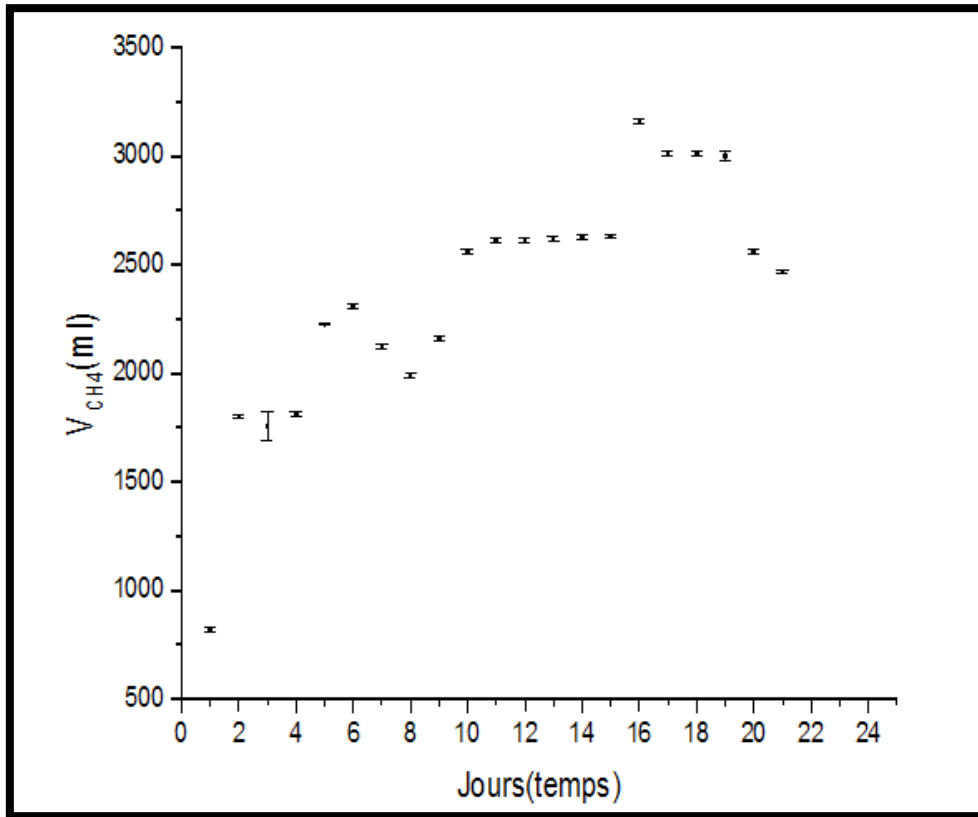
### IV. 3. Volume de CH<sub>4</sub> (le potentiel biochimique méthanogène) :

#### IV. 3.1. Volume de CH<sub>4</sub> de déche ménage:

Le tableau suivant représente les Volume de CH<sub>4</sub> produit de déche ménage pour les trois digesteurs et le moyenne entre eux :

**Tableaux 11: Le Volume de CH<sub>4</sub> en fonction de temps de déche ménage.**

Jours	$V_{Dg1}$	$V_{Dg2}$	$V_{Dg3}$	$V_{moyen}$
1	811	831	821	821
2	1793	1809	1803	1801,66667
3	1788	1679	1798	1755
4	1799	1822	1809	1810
5	2230	2225	2220	2225
6	2300	2315	2310	2308,33333
7	2110	2130	2120	2120
8	1977	1997	1987	1987
9	2150	2170	2160	2160
10	2551	2571	2561	2561
11	2600	2620	2610	2610
12	2602	2622	2612	2612
13	2610	2630	2620	2620
14	2614	2634	2624	2624
15	2620	2640	2630	2630
16	3150	3170	3160	3160
17	3002	3022	3012	3012
18	3000	3026	3009	3011,66667
19	2980	3020	3000	3000
20	2550	2570	2560	2560
21	2458	2478	2468	2468



**Figure 12 : Le Volume de CH<sub>4</sub> en fonction de temps de déche ménage.**

A travers la figure, on remarque que le volume de méthane était de 821, puis il a commencé à augmenter jusqu'au sixième jour pour atteindre 2308,33. On remarque que dans les deux jours suivants, le volume de méthane a diminué. À partir du neuvième jour, on constate une augmentation du volume de méthane, qui s'explique par le début de la production de méthane, et la production se poursuit jusqu'au dix-huitième jour. Et puis il commence à diminuer jusqu'à la fin de l'expérience.

#### **IV. 3. 2. Volume de CH<sub>4</sub> de déche d'abattoir:**

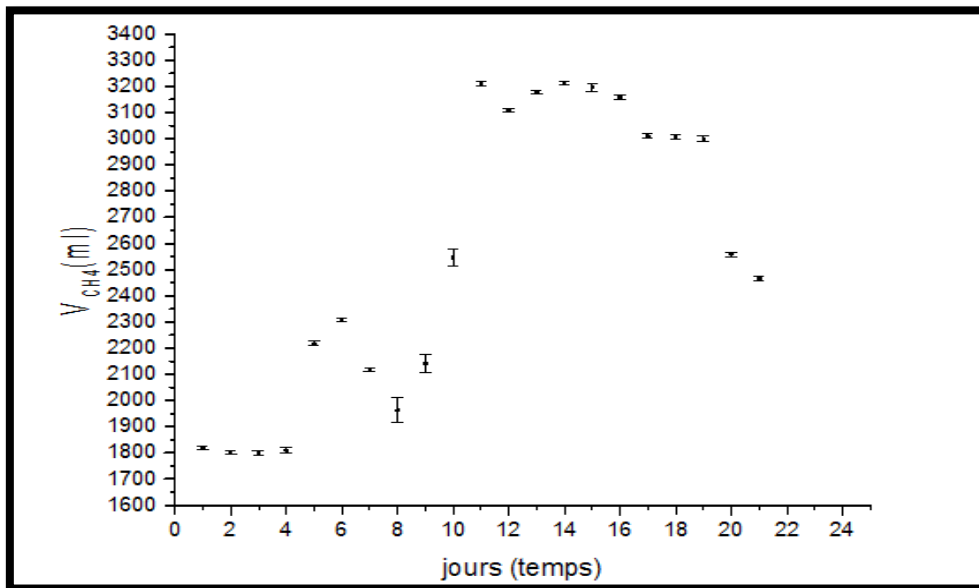
Le tableau suivant représente les volumes de CH<sub>4</sub> produites de déches d'abattoir pour les trois digesteurs et le moyenne entre eux :

**Tableaux 12 : Le Volume de CH<sub>4</sub> en fonction de temps de déche d'abattoir.**

Jours	$V_{Dg1}$	$V_{Dg2}$	$V_{Dg3}$	$V_{moyen}$
1	1811	1825	1821	1819
2	1793	1809	1803	1801,66667
3	1790	1809	1798	1799
4	1800	1820	1809	1809,66667



5	2210	2225	2220	2218,33333
6	2300	2315	2310	2308,33333
7	2110	2125	2120	2118,33333
8	1907	1995	1987	1963
9	2100	2165	2160	2141,66667
10	2511	2567	2561	2546,33333
11	3200	3217	3210	3209
12	3100	3115	3108	3107,66667
13	3170	3185	3180	3178,33333
14	3204	3219	3214	3212,33333
15	3180	3211	3200	3197
16	3150	3165	3160	3158,33333
17	3002	3019	3012	3011
18	3000	3015	3009	3008
19	2990	3011	3000	3000,33333
20	2550	2567	2560	2559
21	2458	2474	2468	2466,66667



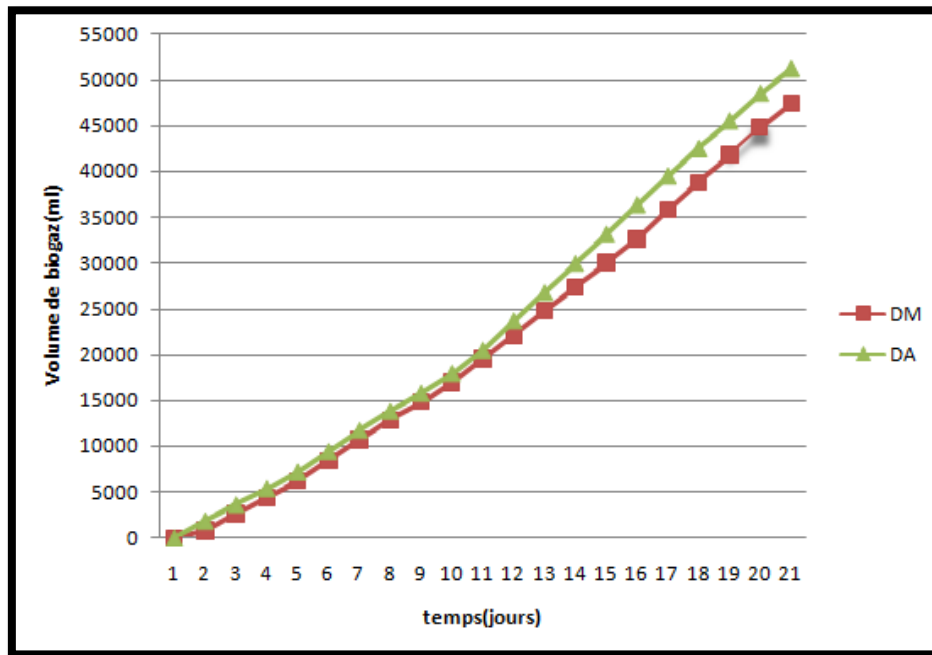
**Figure 13 : Le Volume de CH<sub>4</sub> en fonction de temps de déche d'abattoir.**

On remarque que le pourcentage de méthane dans les quatre jours est approximativement égal à 1819, et après le quatrième jour il commence à augmenter jusqu'au sixième jour, ce qui s'explique par la production d'une proportion de méthane. Après le sixième jour, on constate une diminution du volume de méthane au cours des deux prochains jours (7,8). Une forte production de méthane a été observée

du neuvième au onzième jour. Ensuite, Commence à diminuer jusqu'à la fin de l'expérience.

**IV. 4. Variation de Cumulation:**

**IV. 4. 1. Cumulation de volume de biogaz :**



**Figure 14: Variation de volume de biogaz cumulé en fonction de temps.**

À travers la figure 14, nous remarquons que le pourcentage de biogaz augmente pour deux déchets, et nous remarquons également que la plus grande quantité est produite dans les déchets des abattoirs.

IV.4.2. Cumulation de CH<sub>4</sub> :

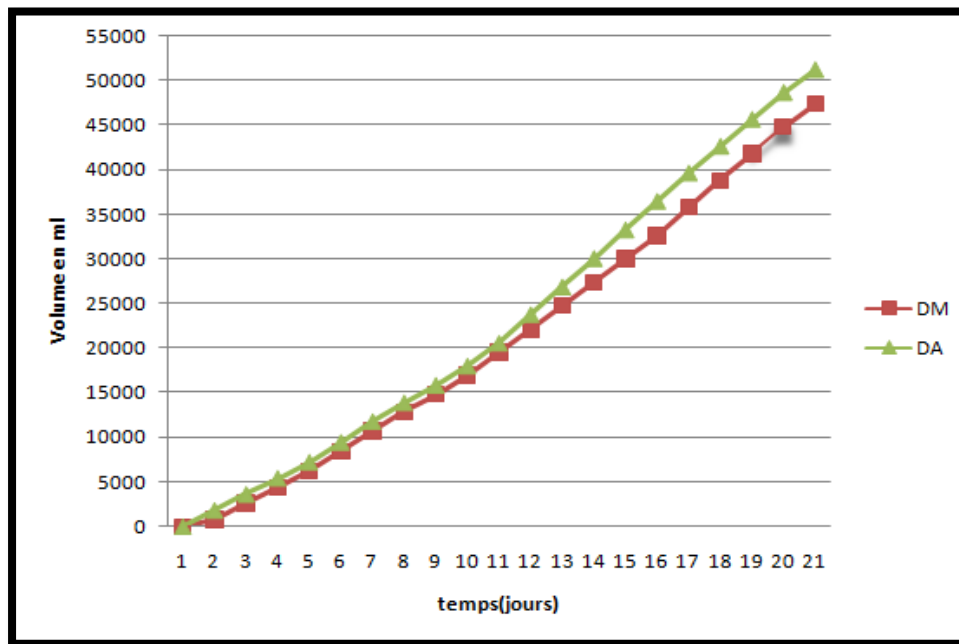


Figure 15: Cumulation de CH<sub>4</sub> en fonction de temps.

À travers la figure 15, nous remarquons que le pourcentage de CH<sub>4</sub> augmente pour deux déchets, et nous remarquons également que la plus grande quantité est produite dans les déchets des abattoirs.

IV.5. Cumulée de volume de biogaz et CH<sub>4</sub> dans chaque déchet :

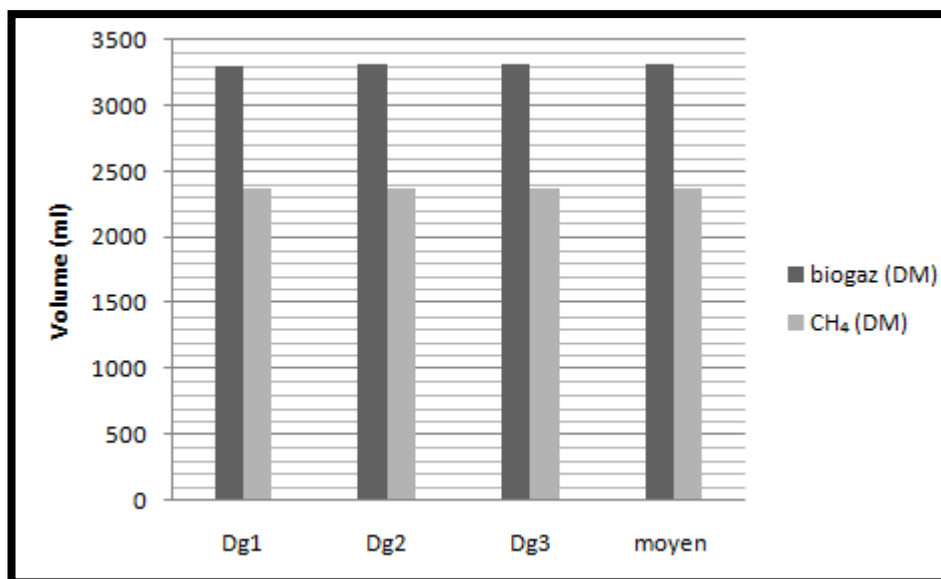


Figure 16: Production cumulée de volume de biogaz et de CH<sub>4</sub> dans déchet ménagé.

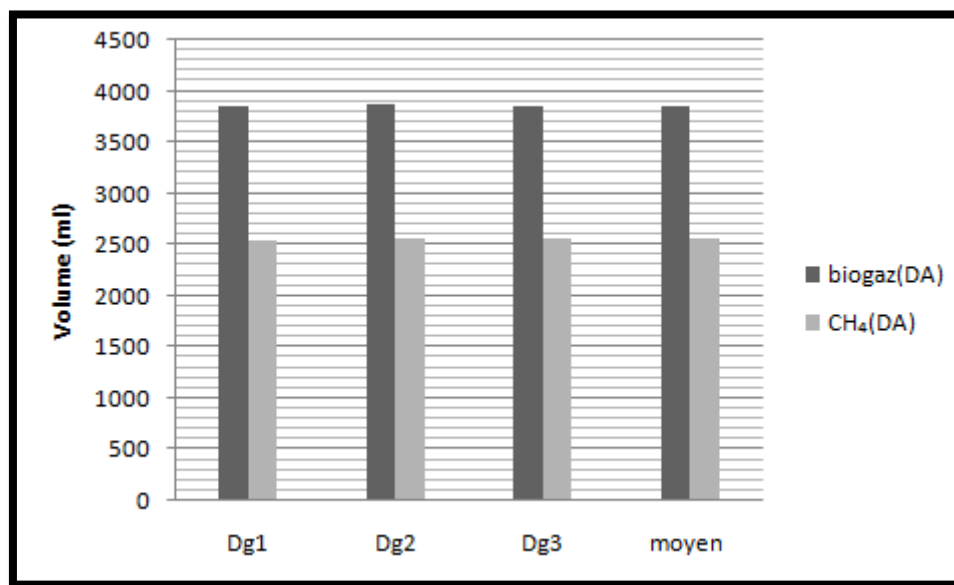


Figure 17: Production cumulée de volume de biogaz et de CH<sub>4</sub> dans déchet battoire.

On remarque à travers les deux chiffres que le taux d'accumulation de biogaz est supérieur au taux d'accumulation de méthane, qui est pour deux déchets.

IV.6.Cumulée de volume de biogaz et CH<sub>4</sub> dans les deux déchets :

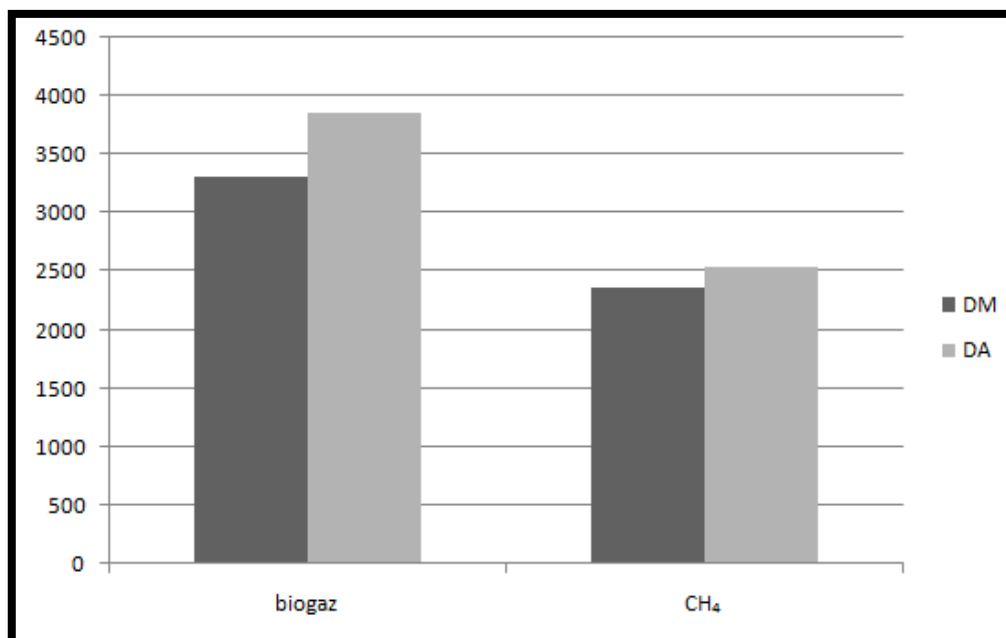
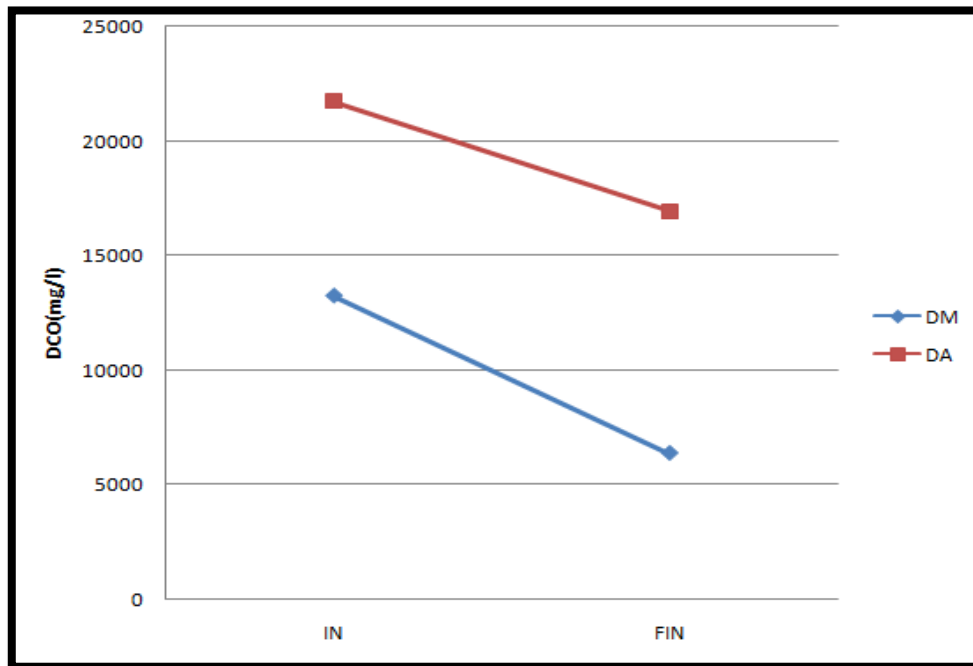


Figure 18: Volume de biogaz et CH<sub>4</sub> en fonction de temps.

A partir de la figure, on remarque que le volume de biogaz et le volume de méthane sont plus importants dans les déchets d'abattoir que dans les déchets ménagers.

#### IV.7. Variation du DCO :



**Figure 19 : variation de DCO.**

On remarque que les valeurs de DCO sont supérieures à l'état final, ce qui signifie que le pourcentage de DCO diminue. La diminution continue de la DCO est due à la conversion de la matière organique en biogaz, donc, Pour réduire la DCO [81] [82] (production de biogaz).

# CONCLUSION

---

## CONCLUSION

À travers l'étude théorique de différentes méthodes de traitement des déchets, dans ce travail nous avons utilisé la digestion anaérobique et le test du potentiel méthanogène (BMP), pour la valorisation énergétique et le déterminer la production maximale de méthane dans nos échantillons.

Les résultats obtenus ont permis de comparer la production de biogaz et de méthane à partir de deux types de déchets organiques : Déchet d'abattoir et déchet ménagère.

Il existe des différences de pH enregistrées lors de la digestion des déchets d'abattoir et déchet ménagère dans la phase du développement des bactéries méthaniques, où les valeurs de pH obtenues varient de 6 à 7,8 qui représentent un environnement favorable pour les bactéries méthanogènes responsables de la production de biogaz.

Le plus grand volume de biogaz est enregistré dans le digesteur qui contient le déchet d'abattoirs par rapport ou digesteur qui contient le déchet ménager.

Les résultats obtenus dans ce travail ont clairement montré que la quantité de méthane produite est élevée dans les déchets des abattoirs.

Au final, et à la lumière de ces travaux, on peut dire que la valorisation des déchets organiques dans la région de l'Adrar est possible grâce à la digestion anaérobie, pour obtenir et utiliser du méthane, et pour protéger l'environnement contre les effets indésirables de ces déchets.

Et il est devenu clair pour nous que les déchets des abattoirs produisent plus de méthane que les déchets ménagers. Par conséquent, afin d'obtenir un plus grand rendement en méthane, nous recommandons d'utiliser les déchets d'abattoirs.

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] *Tahri A, Kalloum Sl, Zohra Baba A.*, Optimization of Hydraulic Retention Time for the Methanisation of Household Waste in the Town of Adrar (the south-west of Algeria). *International Journal of ChemTech Research*. Vol.11No.01, pp75-82, 2018.
- [2] *Tahri A, Kalloum S, Zohra Baba A*, Effect of organic loading rates on methane production using household waste, *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol. 81, Iss. 3, pp39- 40, 2019 .
- [3] *Tahri A, Mounzar H, Djaafri M, Kaidi K*, Improvement of the methane yield from the sludge by co-digestion with dromedary dung in the city of adrar in algeria”, *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol. 82, Iss. 3, pp63-72, 2020.
- [4] *BEN SILETTE A, MAHDID R.*, La Gestion des déchets ménagers dans la ville de Bou Saada, Mémoire de Master, université de MOHAMED BOUDIAF - M’SILA 2017, p5.
- [5] *BELAÏB A.*, étude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques générés par le restaurant universitaire aïcha Oum Almuminin (wilaya de Constantine), mémoire de magister en écologie, université de mentouri Constantine, 2012, p6 .
- [6] *BOUDOUAYA.F.Z.*, Gestion des déchets solides ménagers et hospitaliers de la ville d’Adrar, mémoire de Master, université ABDELHAMID IBN BADIS Mostaganem, 2011,
- [7] *AKACEM A , BOUDOUAYA H.*, Gestion des déchets solides ménagers dans le cadre du développement durable étude de cas (Centre d’Enfouissement Technique de la Commune d’Adrar), mémoire de master, université d’Adrar, 2016, P8.
- [8] *Nahman A, De Lange W, Oelofse S, Godfrey L.*, The costs of household food waste in South Africa, *Waste Manag*, vol. 32, no. 11, 2012, p 2147–2153.
- [9] *Ferdjellah K , Omari O.*, Effet du traitement chimique et aérobie sur le rendement de PBM (Potentiel Biochimique Méthanogène) des déchets organiques du restaurant universitaire, mémoire de master, 2017 , p4-32.
- [10] *Khelifati K, Sellah S.*, La gestion des déchets hospitaliers dans un établissement public de santé en Algérie : le tri, la collecte, le compactage et la destruction cas du CHU de TIZI-OUZOU, mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2017, P28.
- [11] *Mezouari. Sandjakdine. F.*, Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux, thèse pour obtenir le grade de docteur de l’école polytechnique d’architecture et d’urbanisme en cotutelle avec l’université de Limoges, 2011, P45-49-57.
- [12] *Gillet R.*, Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie de développement, 1er Volume : Programme minimum de gestion des ordures ménagères et des déchets assimilés, 1985, P397, p1, 2,3.

## Références bibliographiques

---

- [13] *Guy M.*, Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers a Nouakchott (Mauritanie) : contribution a la gestion des déchets et outils d'aide a la décision, thèse pour obtenir le grade de docteur, université de Limoges discipline : chimie et microbiologie de l'eau, 2006, p41.
- [14] *Biganzoli L, Gorla L, Nessi S, Grosso M.*, Volatilisation and oxidation of aluminium scraps fed into incinération furnaces, *Waste Manag.*, vol. 32, no. 12, pp. 2266–2272, 2012.
- [15] *Roy R., Dias G.*, Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector : A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. March, 2017, pp. 59–69.
- [16] *Duan T, Lu C, Xiong S, Fu Z, Chen Y.*, Pyrolysis and gasification modelling of underground coal gasification and the optimisation of CO<sub>2</sub> as a gasification agent, *Fuel*, vol. 183, 2006, p 557–567.
- [17] *LASKRI N.*, Dépollution des déchets riches en matière organique (boues de station d'épuration et déchets d'abattoir Par digestion anaérobie : Valorisation énergétique et production du méthane, diplôme de doctorat en sciences, université BADJI MOKHTAR-ANNABA, 2016, p11.
- [18] *Maozhe Chen.*, Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction commentaires de centres d'incinération de boues de station d'épuration, 2012.
- [19] *SengaKiesses.*, Valorisation énergétique des déchets de bois traités par voies thermochimiques (pyrolyse et hydroliquifaction), thèse de doctorat, université Nantes Angers la Mans, 2013.
- [20] *DAMIEN A.*, Guide du traitement des déchets. 4ème édition, Dunod, Paris, 2006, P 3-16.
- [21] *LEBOZEC. A.*, Le service d'élimination des ordures ménagères : organisation, coûts, gestion, Edition l'Harmattan, 1994, p460.
- [22] *DUPRIEZ N, LEENER P.*, Jardin et verger d'Afrique. Edition, Terre et vie, Belgique, 1987, P354.
- [23] *BAYARD. R, GOURDON.R.*, Traitement biologique des déchets. Edition : Techniques de l'ingénieur, 2007, P 1-23.
- [24] *FAURIE .C, FERRA .C, MEDORI .P, DEREAX. J, HEMPTINNE. J.*, Ecologie : Approche scientifique et pratique. 5ème édition, 2006, P 343-356.
- [25] *Monsieur .A, DIALLO.*, obtenir le grade de docteur vétérinaire, diplôme d'état, université cheikh anta diop de Dakar, 1999, P28
- [26] *E.N.VI.PA.CT.*, Les déchets d'abattoirs et leur valorisation: Energie et Environnement, 984 (12), p 10.



## Références bibliographiques

---

- [27] BARRON TH., Contribution à l'étude des rejets d'abattoirs Thèse: Méd. Vêt : Toulouse: 1982, P 5.
- [28] ISABETH. A., Vétérinaires et installations classées pour la protection de l'Environnement Thèse: Méd. Vêt: Toulouse: 1987, p 13.
- [29] *Gestion des déchets de boucherie*. Programme de coopération décentralisée entre Lille Métropole et la Fédération du Chouf Es-Souayjani co-financé par le Ministère des Affaires Etrangères, 2003, P 5-8.
- [30] *Jean-Louis.*, Polomé pour val bio système de biométhanisation, p 4.
- [31] *Gijzen, H.J.*, Anaerobic digestion for sustainable development: A natural approach” Water Science and Technology, 2002, 45, 321-328.
- [32] *Marcel Guillaume GWOGON*, étude de faisabilité sur la production de l'électricité a partir du biogaz a Edéa (Cameroun), Ouagadougou 01 - BURKINA FASO 2011/2012 p11, 14.
- [33] *Batstone, D. J, Keller J, Angelidaki I, Kalyuzhny S. V., Pavlostathis S. G, Rozzi, A, Sanders W. T. M, Siegrist H, Vavilin, V. A.*, The IWA Anaerobic digestion model no 1. (ADM1), Water Science and Technology, 2002, 45, (10), 65-73.
- [34] *Kaseng K., Ibrahim K, Paneerselvam S. V, Hassan R. S.*, Extra cellular enzyme and acidogen profiles of a saboratory-scale two-phase anaerobic digestion system Process Biochemistry, 1992, 27, 43-47.
- [35] *Parawira W, Murto M, Read J. S, Mattiasson B.*, Profile of hydrolases and biogas production during two-stage mesophilic anaerobic digestion of solid potato waste, Process Biochemistry, 2005, 40, (9), 2945-2952.
- [36] *Batstone D. J, Keller J, Angelidaki I, Kalyuzhny S. V, Pavlostathi, S. G, Rozzi, A, Sanders W. T. M, Siegrist H, Vavilin V. A.*, Anaerobic digestion model No. 1 (ADM1), IWA Publishing, London, UK (2002b).
- [37] *Chyi Y. T, Dague R. R.*, Effects of particulate size in anaerobic acidogenesis using cellulose as a sole carbon source, Water Environment Research, 1992, P 66, 670-678.
- [38] *Batstone D. J, Keller J, Newell R. B, Newland M.*, Modelling anaerobic degradation of complex wastewater I: Model development, Bioresource Technology, 2002 , p75, 67-74 .
- [39] *Moletta R.*, La digestion anaérobie : du plus petit au plus grand , Biofutur, janvier, 1993 , pp 16-25.
- [40] *Converse A. O, Optekar J. D. A .*, synergistic kinetics model for enzymatic cellulose hydrolysis compared to degree-of-synergism: Experimental Results. Biotechnology and Bioengineering, 1993, p42, (1), 145-148.

## Références bibliographiques

---

- [41] Sanders W. T. M, Geerink M, Zeeman, G, Lettinga G., Anaerobic hydrolysis kinetics of particulate substrates, *Water Science and Technology*, 2000, p 41, (3), 17-24.
- [42] Vavilin V. A, Rytov S. V, Lokshina L. Y., A description of hydrolysis kinetics in anaerobic degradation of particulate organic matter. *Bioresource Technology*, 1996, 56, (2-3), 229-237.
- [43] Suh Y. J, Roussaux P., An LCA of alternative wastewater sludge treatment scenarios, *Resources, Conservation and Recycling*, 2002, pp35, 191-200.
- [44] Pavlostathis S. G, Giraldo-Gomez E., Kinetics of anaerobic treatment: A critical review” *Critical Reviews in Environmental Control*, 1991, 21, 411-490.
- [45] Angelid A. I, Ahring B. K., Effect of the clay mineral bentonite on ammonia inhibition of anaerobic thermophilic reactors degrading animal waste, *Biodegradation*, 1993, 3, 409-414.
- [46] Balk M, Weijma J, Stams A.J.M., *Thermotoga lettingae* sp nov., a novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2002, p 52, 1361-1368
- [47] Vavilin V. A, Lokshina L. Y, Rytov S. V, Kotsyurbenko O. R, Nozhevnikova A. N, Parshina, S. N., Modelling methanogenesis during anaerobic conversion of complex organic matter at low temperatures, *Water Science and Technology*, 1997, 36, (6-7), 531-538.
- [48] Björnsson L, Murto M, Jantsch T. G, Mattiasson B., Evaluation of new methods for the monitoring of alkalinity, dissolved hydrogen and the microbial community in anaerobic digestion, *Water Research*, 2001, 35, (12), 2833-2840.
- [49] Ramsay I. R, Pullammanappallil P., Protein degradation during anaerobic wastewater treatment: Derivation of stoichiometry” *Biodegradation*, 2001, 12, (4), 247-257.
- [50] AMIR S., Contribution à la valorisation de boues de station d’épuration Par compostage : Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compostage, Thèse de Doctorat, l’institut national polytechnique de Toulouse, 2005, P12-16
- [51] Uwe G., *La Production de Biogaz*, Edition Eugen Ulmer, 2008, p21.
- [52] BENNAMA T., *Les bases de traitement des déchets solides*, Polycopié de Cours, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran Mohamed Boudiaf, 2016, P51.
- [53] Aline L., *Etude du procédé de méthanisations en digesteur anaérobie a l’échelle pilote, Impact du mélange et du transfert gaz-liquide sur les performances de production de biogaz*, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 2017.
- [54] Bernet N, Buffière P., Caractérisation de la mise en œuvre de la méthanisation, in Molett a, R., *La méthanisation* (chap. 4, p. 87-113). Paris, Éditions Tec & Doc, 2008.

## Références bibliographiques

---

- [55] *Ostrem K.*, Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. Memoir de maîtrise, Columbia University, New York, 2004 .
- [56] *United-Tech (s.d.)*, Anaerobic Digestion. In United-Tech. BZT Waste Digester,
- [57] *Oechsner H, Khanal S.K, Taherzadeh M.*, Advances in Biogas Research and Application, Bioresour Technol , vol. 178, 2005, p177–191.
- [58] *L.E. Marache L.E.*, La méthanisation des effluents et déchets organiques : état des connaissances sur le devenir pathogène“, thèse de doctorat, université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 2001.
- [59] *Rapport J, Zhang R, Jenkins B.M, Williams R.B.*, Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. In California Natural Resources Agency. Department of Resources Recycling and Recovery. Biochemical Conversion Processes. Anaerobic Digestion , 2008.
- [60] *Dahou A.*, la production de biogaz à partir de lagunage de la wilaya d’Adrar, mémoire de magistère, université KasdiMerbah, Ouargla, 2010.
- [61] *Mottet A.*, Recherche d’indicateurs de biodégradabilité anaérobie et modélisation de la digestion anaérobie thermophile : application aux boues secondaires d’épuration non traitées et prétraitées thermiquement, thèse de doctorat, université Montpelier, 2009.
- [62] *SATESE R.*, Schéma départemental de gestion des boues d’épuration de la Réunion, Conseil Général, (2001).
- [63] *Hu Y et al.*, Influence of recirculation of liquid fraction of the digestate ( LFD ) on maize stover anaerobic digestion, Biosyst, Eng., vol. 127, pp. 189–196, 2014.
- [64] *Chen Y, Rößler B, Zielonka S, Lemmer A, Wonneberger A, Jungbluth A.*, The pressure effects on two-phase anaerobic digestion, Appl. Energy, vol. 116, p409–415, 2014.
- [65] *Hajjaji N.*, production du biogaz par digestion anaérobie : aspects technologiques et environnementaux, Université de Gabès, Rue Omar Ibn Alkhattab 6029 Gabès, Tunisie, 2010,
- [66] *AFNOR.*, Collection of French standard methods 1994: water quality, Ed. AFNOR, 1994.
- [67] *Solagro A.*, La digestion anaérobie des boues urbaines en île de France, Solagro, 2001.
- [68] *Truong L.V.*, Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc, Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec , 2004.
- [69] *Boutouta I.*, valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville de Blida, mémoire master, université Saad Dahleb de Blida, 2011-2012.
- [70] *Bertan de la farge.*, le biogaz procédés de fermentation méthaniques, Masson, Paris, 1995.

## Références bibliographiques

---

- [71] *Rebouh H, Benlounes F.*, le montage : un terrain à explorer, a exploité. Un renversement de tendance, USTHB, le laboratoire de recherche en géographie et a management de territoire, Alger, 11,12 et 13/04/2001.
- [72] *Moletta R.*, la méthanisation ,2edédition, France, avril 2011.
- [73] *CHASLERIE T.*, Techniques de bioconversion : La biométhanisation, IUT Génie Thermique et énergie, Projet tuteuré de première année, 2002.
- [74] *ADEME ANGERS .*, méthanisation , document explique ,2015.
- [75] *TAHRI A.*, Valorisation Energétique par La Production d'Electricité à Partir de la Digestion Anaérobie des Déchets Organiques dans le Milieu Saharien, Thèse de Doctorat, Université de Ghardaïa, 2019, P45 ,56-57.73
- [76] *Lamir A.*, Production du biogaz à partir des folioles et pétioles des palmiers dattiers (phœnix dactylifera L) variété H'mira : Etude comparative, mémoire de Master, Université Ahmed Draïa Adrar, 2019/2020,pp26,31-32.
- [77] *Kalloum S.*, la digestion anaérobie des boues de la station d'épuration de la ville d'ADRAR : une opportunité environnementale et énergétique, Mémoire de Magister, Ecole Normale Supérieur de L'enseignement Technique d'Oran, 2006.
- [78] *Michaud S.*, Etude hydrodynamique et biologique d'un procédé de méthanisation à biofilm : le réacteur à lit turbule inverse, Thèse de doctorat, L'institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2001.
- [79] *Str S, Achu I, Nistor M, Wang B, Bj A.*, Evaluating the in fl uences of mixing strategies on the Biochemical Methane Potential test, J. Environ. Manage. vol. 185, p54–59, 2017.
- [80] *Djaafri M et al.*, Amélioration de la digestion anaérobie des déchets ménagers (déchet de restaurant) en utilisant un prétraitement physique, Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien, URER\_MS, ADRAR, 2014.
- [81] *Takdastan A, Movahedian H, Jafarzadeh N, Bina B.*, The Efficiency of Anaerobic Digesters on Microbial Quality of Sludge in Isfahan and Shahinshahr Wastewater Treatment Plant, Iranian J Env Health Sci Eng , 2005,p 56-59.
- [82] *Alvarez J.A, Ruiz I, Gomez M. Presas J, Soto M.*, Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature, Bioresource Technology,2006 ,p 1640–1649.

# Résumé

## Résumé

Ce mémoire traite le sujet de l'exploitation des déchets pour la production de l'énergie renouvelable représentée par le biogaz en utilisant la technique de la digestion anaérobie. L'étude a examiné une comparaison entre deux types de déchets (déchet ménager et déchet d'abattoir) pour produire le biogaz.

Le processus de digestion anaérobie est contrôlé en suivant l'évolution de pH, la demande chimique en oxygène (DCO), ainsi que le titre alcalimétrique complet en plus de suivre la production quotidienne et la production totale en biogaz. Les résultats ont montré que la digestion anaérobie des déchets d'abattoirs donne les meilleurs rendements en biogaz et effectivement en méthane.

**Mots clés :** Déchets ménagers, Déchets d'abattoirs, Digestion anaérobie, Biogaz, Potentielle de méthane ou BMP.

## Summary

summary This thesis deals with the subject of waste exploitation for the production of renewable energy represented by biogas using the technique of anaerobic digestion. The study looked at a comparison between two types of waste (household waste and slaughterhouse waste) to produce biogas. The anaerobic digestion process is controlled by monitoring the evolution of pH, the chemical oxygen demand (COD), as well as the complete alkali metric strength in addition to monitoring the daily production and the total production of biogas. The results showed that the anaerobic digestion of slaughterhouse wastes gives better biogas and indeed methane yields.

**Keywords:** household waste, slaughterhouse waste, anaerobic digestion, Biogas, Methane potential or BMP.

## ملخص

تتناول هذه المذكرة موضوع استغلال النفايات لإنتاج الطاقة المتجددة المتمثلة في الغاز الحيوي باستخدام تقنية الهضم اللاهوائي. نظرت الدراسة في مقارنة بين نوعين من النفايات (النفايات المنزلية ومخلفات المسالخ) لإنتاج الغاز الحيوي. يتم التحكم في عملية الهضم اللاهوائي من خلال مراقبة تطور الأس الهيدروجيني، والطلب الكيميائي للأكسجين (COD)، بالإضافة إلى القوة القلوية الكاملة بالإضافة إلى مراقبة الإنتاج اليومي والإنتاج الكلي للغاز الحيوي. أظهرت النتائج أن الهضم اللاهوائي لمخلفات المسالخ يعطي غازًا حيويًا أفضل وعائدات الميثان بالفعل.

**الكلمات المفتاحية:** النفايات المنزلية، نفايات المسالخ، الهضم اللاهوائي، الغاز الحيوي، إمكانات الميثان.