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

## (Déchets agricoles et Boues séchés)

**Préparé par :**

**Mme FARADJI NAWAL**

**Mme HIDAOUI FATIMA ZOHRA**

**Membres de jury d'évaluation :**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| M. | HARROUZ Abdelkader | Président | Pr | Univ. Adrar |
| M. | TAHRI AHMED | Encadreur | MRA | URERMS.Adrar |
| M. | BOUFENYA Hamza | Examinateur | AR | URERMS.Adrar |

**Année Universitaire : 2021/2022**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021

جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبـــة المركـــزية

مصلحة البحث البيبليوغرافي

الرقم.....م .م/م.ب.ب /ج.أ/2021

# شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): طاهري أحمد

المشرف مذكرة الماستر.

الموسومة بـــ : Etude Comparative Entre le Rendement Energétique Des Différents Types Des Déchets organique Dans La Région D'ADRAR (Déchets agricoles et Boues sèches)

من إنجاز الطالب(ة): مراجي نوال

و الطالب(ة): حيدلوي فاطمة الزهراء

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : المحروقات والطاقة المتجددة

التخصص: هندسة كيميائية

تاريخ تقييم / مناقشة: 08/06/2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.

وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 14 جوان 2022

مساعد رئيس القسم:

د. خليفي عمر

رئيس قسم المحروقات والطاقات المتجددة

بكلية العلوم والتكنولوجيا

قسم المحروقات والطاقات المتجددة

ملاحظة :لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

# *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  Collège des sciences et de la technologie, en particulier le Département des le carbures et des Energies Renouvelables, et nous n'oublions pas non plus le personnel de la fondation URER-MS.

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.

**NAWAL.FATIMA ZOHRA**

Dévouement

Je dédie la conclusion de mon travail, le fruit de mes efforts, à la plus grande passion, à la joie du cœur, à la pureté de l'amour, à la perfection des roses, et au don du Seigneur, pour que les yeux peut trouver du réconfort en moi. Vision. C'est sa "mère bien-aimée" qui me donne sa satisfaction.

Pour ceux qui m'ont appris que la vie est un combat et m'ont appris à surmonter les difficultés, pour le propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée, car il avait la première vertu après Dieu Tout-Puissant.

Dans mes études supérieures, mon cher père.

Pour ceux dont le bonheur n'est pas complet sans la présence de mes sœurs et de ma famille.

Pour mon fiancé et le voyage de ma vie, que Dieu éclaire sa vie. A mes amis et collègues du collège.

À tous ceux qui m'ont aidé et m'ont aidé même avec un mot d'encouragement de mon superviseur (Ahmed Tahri)

Ils ont les meilleurs vœux et qu'Allah les récompense mille fois

**HIDAOUI FATIMA ZOHRA**

Dévouement

Je dédie la conclusion de mon travail, le fruit de mes efforts, à celle qui m'a mis

Sur le chemin de la vie, m'a calmé, et m'a nourri jusqu'à ce que je

Devienne vieux (ma chère mère), que Dieu bénisse son âme.

Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée,

car il a eu le premier crédit pour mon éducation supérieure

(mon père bien-aimé), que Dieu prolonge sa vie.

À ceux qui ont toujours été à mes côtés comme mon soutien dans la vie,

Mes frères et sœurs, et à mes amis et collègues les plus chers,

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 enseignants

Ils ont les meilleurs vœux et qu'Allah les récompense mille fois.

**FARADJI NAWAL**

**Sommaire**

Liste des abréviations ..... i
Liste des unités ..... ii
Liste des figures ..... iii
Liste des photos ..... iv
Liste des tableaux ..... v
Introduction……..... vi

Chapitre I : La gestion de déchets et digestion anaérobique

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 …… 5
I.2.1.2.1. Les déchets industriels banals (DIB)……..…….. 5
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 …… 6
I.2.2.3. Déchets ultimes ……..……..... 6
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 ……...……... 8
I.3.4.1. La mise en décharge …….……... 8
I.3.4.2. Le recyclage …… 9
I.3.4.3.Traitement thermique ……... 9
I.3.4.3.1. L'incinération ……. 9
I.3.4.3.2. Pyrolyse ……..……. 10
I.3.4.3.3.Gazéification ……. 10
I.3.4.4. Le traitement biologique …….…… 11
I.3.4.4.1. Aérobie (le compostage) ……..…… 11

I. 3.4.4.2. Anaérobie (la méthanisation) …….. 12
I.4 . Définition de la digestion anaérobique ….…….. 12
I.5. Historique de la méthanisation :……... 12
I.6. Mise en œuvre de la méthanisation ……. 13
I.7. Les Etapes de la méthanisation…….…… 13
I.7.1. L'hydrolyse ……..…. 13
I.7.2. L'acidogènes ……..……... 14
I.7.3. L'a cétogenèse …….. 15
I.7.4. La méthanogènes ……. 16
I .8. Les paramètres influençant la méthanisation …… 17
I.8.1. pH ……..……. 17
I.8.2. La température ……..……...… 17
I.8.3. L'absence d'oxygène ……... 18
I.8.4. Rapport C /N……...…… 18
I.8.5. Brassage ……. 19
I. 8.6. Pression partielle en hydrogène …… 19
I.8.7. L'absence des inhibiteurs ……... 19
I.8.8 .Temps de rétention hydraulique (TRH) ……..……... 20
I.9. le digesteur ……..……. 20
I.9.1. Définition …….. 21
I.9.2. Classifications des différents types de digesteurs ……. 21
I.9.2.1. Les digesteurs discontinus ……. 21
I.9.2.2. Les digesteurs continus …….. 21
I.9.2.3. Le digesteur semi-continu ……..... 21
I.10.Avantages de la digestion anaérobie……. 22
I.11. biogaz……... 22
I.11.1. Définition et Composition……. 22
I.11.2. Historique ……. 23
I.11.3. Ressources de biogaz …… 24
I.11.4. Valeur énergétique ……...……. 24
I.11.5. Purification du biogaz……...……. 25
I.11.6. Valorisation de biogaz …….. 26
I.11.6.1. Valorisation thermique en chaudière …… 26

I.11.6.2. Valorisation électrique du biogaz …….. 26
I.11.6.3. Valorisation en carburant automobile ……...……. 27
I.11.6.4. Valorisation par injection dans le réseau de gaz de ville ……... 27
I.12.Substra…… 27
1.12.1 Les effluents d'élevage……... 28
I.12.2. Les eaux usées urbains……... 28
I.12.3. Les déchets agro-alimentaires…….. 28
I.12.4. les ordures ménagerie…….. 29

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Le substrat utilisé ……..……. 30
II.2.Description de digesteur ……..……...……. 30
II.3. La détermination du pH……..…… 31
II.4 .Caractéristique de déchet…….....…. 31
II.4.1 Détermination de la matière sèche (MS) ……..... 31
II.4.2.Détermination de la matière organique (MO)…….…. 33
II.5. Détermination du volume du biogaz et $CH_4$ ……..…… 35
II.6.Détermination de la DCO ……..…….……. 36

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1.Caractéristiques du substrat ……..…… 39
III.1.1.Variation du pH de déchets (D.Ag) et (B.S)….. ……..…….…. 39
III.2.Volume de biogaz produit …….……...…….…… 41
III.2.1.Volume de biogaz produit de déchets (D.Ag) et (B.S) ……..... 41
III. 3. Volume de $CH_4$ (le potentiel biochimique méthanogène) …… 43
III. 3.1. Volume de $CH_4$ de déchets (D.Ag) et (B.S) ……...…… 43
III.4. Variation du DCO….. ……..……..……. 44
IV.5. Variation du DCO ……..…… 45
Conclusion …….……. liv

**Liste des abréviations :**

AGV : Acides Gras Volatiles.

BMP : Biochemical methane Potentiel (en Englais).

C/N : Rapport Carbone / Azote.

D.Ag: déchets agricoles.

B.S: boues séchés.

DCOT : La Demande Chimique en Oxygène Totale.

DIB: Les déchets industriels banals.

DID: Les déchets industriels dangereux.

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 des unités

% : pourcentage ;

°C : degré Celsius ;

J : jours ;

Cm : conté mètre ;

g : Gramme ;

g/l : gramme par litre ;

L : litre ;

kg : kilogramme ;

$m^3$: mètre cube ;

mg/l: milligramme par litre ;

ml : millilitre ;

kcal : kilogramme calories ;

## Liste des figures

Figure 01 : Les différentes étapes d'incinération …….....9
Figure 02 : Principe de la Pyrolyse……..10
Figure 03 : principe de l'hydrolyse ……...…14
Figure 04 : principe de l'acidogènes……15
Figure 05 : Etape biologique du procédé de méthanisation ……..……16
Figure 06 : Production de biogaz en fonction de la température……18
Figure 07 :Valorisation électrique du biogaz ……...……... 27
Figure 08: Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de $CH_4$ produit. (Test de potentiel méthanogène ou BMP)……...……36
Figure 09 : La variation de pH en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)……....40
Figure 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)……..44
Figure 11 : Le Volume de $CH_4$ en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)…….. …49
Figure 12 : Variation du MO……....45
Figure 13 : Variation du DCO ……45

## Liste des photos

Photo 1: Déchets organique ..……4
Photo 2 : Digesteur ……..……....30
Photo 3 : pH-métre ….……..…31
Photo 4 : Matériels utilisés pour Détermination la matière sèche ….……...32
Photo 5 : Substrats âpre dessiccateur ……...33
Photo 6 : Four à moufle ……...… 34
Photo 7 : Substrats âpre calcination …….……34
Photo 8 : Thermoréacteur …….37

## Liste des tableaux

Tableaux 01: Bactéries acétogènes de la digestion anaérobie ……15

Tableau 02: Différents exemples de TRH suivant le procédé de digestions ……20

Tableau 03: Composition moyenne du biogaz…… …….23

Tableau 04. Les composés et leurs techniques d′élimination ..……27

Tableau 05 : Les caractéristiques du substrat…… ……..39

Tableaux 06 : La variation de pH en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S) ….…….39

Tableaux 07 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)……...41

Tableaux 08 : Le Volume de $CH_4$ en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S) ..……43

Tableaux 09 : La variation du MO…….……..44

Tableaux 10 : La variation du DCO …….45

# 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 ($CH_4$) 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 modes de traitement et 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 .

- Le deuxième 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 clore par une conclusion générale.

# Chapitre I:

# La gestion de déchets et digestion anaérobique

**I.1Définition des déchets:**

On appelle déchet « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné que son destinataire destine à l'abandon» .[3]

Ainsi, selon un déchet (détritus, résidu, ordure,) est globalement une substance, un composé ou un sous-produit, issu ou non d'un processus de transformation, destinée à l'élimination, après avoir éventuellement subi une altération physique, chimique, biologique. C'est un résidu jugé inutile, dangereux ou encombrant par le système dans lequel il apparaît.[4]

**Photo 01: Déchets organique.**

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

**I.2.1. D'après leur origine :**

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

Ce sont tous les déchets issus des ménages , des activités industrielles , commerciales , artisanales et autres , qui sont assimilables aux déchets ménagers par leur nature et leur composition comme les déchets de cuisine.

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

Les déchets d'origine industrielle sont classés par secteur industriel comme suit :Sidérurgie, industrie agroalimentaire, extraction et façonnage de produits de carrière, Industriedu ciment, industrie du verre, industrie du céramique, industrie du textile, tapis et habillement, métallurgie et travail de l'acier, industrie chimique de base, Industrie pharmaceutique, industriedu caoutchouc et autres secteurs. Et Ils sont classés selon leur caractère polluant .[5]

**I.2.1.2.1.Le déchet industriel banal(DIB):**

Les (DIB) ou Déchets Industriels Banals, sont définis comme étant des déchets issusdes entreprises (commerce, artisanat, industrie, service) qui, par leur nature, peuvent être traités ou stockés dans les mêmes installations que les déchets ménagers ou (OM).

Ils contiennent les mêmes composantes mais dans des proportions différentes. Ils sontcomposés en grande partie d'emballage, mais également de chutes de production (Copeaux,loupés, … etc.) ainsi que de résidus de nettoyage et des déchets de bureau.

**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 dangereusesIls 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:**

Il s’agit de déchets qui, par leur nature, sont hautement polluants et susceptible de présenter un danger pour l’homme et/ou l’environnement. Ils nécessitent un traitement particulier et sécurisé, et répondent à la règlementation en vigueur, en raison de leur toxicitéet ils regroupent des déchets essentiellement d'origine industrielle, mais également produits par des petites entreprises ou structures, par les ménages ou par le monde agricole (produits phytosanitaires). Ils contiennent des substances toxiques ou dangereuses en concentration plus ou moins forte. ([7][3])

#### I.2.2.2. Déchets inertes :

Ce sont des déchets non biodégradables, bruts et qui n'ont pas été modifiés physiquement, chimiquement ou biologiquement. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brulent 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'entrainer une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. ([7], [8])

#### I.2.2.3. Déchets ultimes :

Sont les déchets résultants 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. [7]

## I.3. Déchets ménagers:

### I.3.1. Définition:

C'est l'ensemble des déchets produits par l'activité quotidienne des ménages. Ils comprennent les ordures ménagères, les encombrants, les déchets ménagers spéciaux, les déchets de l'assainissement individuel, qui sont collectés par les communes. ([7], [3])

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

La connaissance de la production d'ordures ménagères est essentielle dans 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 des 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 .[9]

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

La connaissance de la composition des déchets est indispensable pour leur gestion. Ellepermet de choisir et de dimensionner correctement les outils de collecte, de traitement etd'élimination, et aussi de connaitre la destination des:

- Parts appropriées au compostage.
- Types et quantités appropriés à une valorisation matérielle ou énergétique.
- Quantités de déchets ultimes destinées à l'incinération ou à la décharge [9].
- Parts pouvant être recyclées.

- **Composition physique :**

La composition physique des ordures ménagères est la répartition selon des catégories spécifiques comme les plastiques, papiers, cartons, textiles, verres, métaux, etc ….. [9] les variations de composition peuvent provenir de la méthode même d'évaluation de laproduction 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 [9].

- **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 . [10]

- **Composition en micro-organismes pathogènes :**

L'un des risques majeurs sur la santé humaine liés aux déchets est sans doute leurcontamination 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 fumugatus 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. [11]

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. [12]

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

Ce sont les vestiges de l'activité humaine dans sa vie quotidienne. On constate que son pourcentage est en augmentation dans les pays en voie de développement, notamment à la lumière de l'inflation démographique. En l'absence de prise de conscience sanitaire, ces

déchets peuvent entraîner de graves dommages. La raison de leur accumulation est due à plusieurs facteurs dont les plus importants sont:

- ☒ La croissance démographique où il y a une proportion directe, plus le nombre de personnes augmente, plus la quantité de déchets générés par chacun d'eux est importante L'évolution du niveau de vie, où le mode de consommation change, comme des habitudes malsaines telles que cuisiner ou acheter de grandes quantités de nourriture, et l'individu peut ne pas le consommer, et il prend son chemin vers le gaspillage, et l'achat de non- gobelets, cuillères et assiettes en plastique et en papier consignés qui ne peuvent plus être réutilisés .
- ☒ Le développement économique, où l'augmentation des usines a contribué à fournir des conserves, des gobelets, des cuillères et des assiettes en plastique et en papier qui ne sont plus utilisables, ce qui en fait une cause d'accumulation de déchets ménagers .

**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 [13] :

- La mise en décharge ( stockag).
- 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 :**

Cette technique se fait en réduisant le volume de déchets solides, puis en les enfouissant dans une fosse, c'est-à-dire en les enfouissant sous terre, et la taille de cette fosse est suffisante pour contenir la quantité de déchets qui seront enfouis, et loin des plans d'eau, dans en plus de placer une couche de ciment à son fond, et une autre couche de plastique dur. Empêcher la fuite de matériaux liquides formés en raison de la décomposition de déchets solides dans le sol et polluer les eaux souterraines.

### 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). [14]

### 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. Lesmatières résiduelles sont essentiellement minérales et doivent être gérées à l'issue del'incinération. Elle permet de réduire le volume et la masse de la matière à éliminer (figure 1).[15]

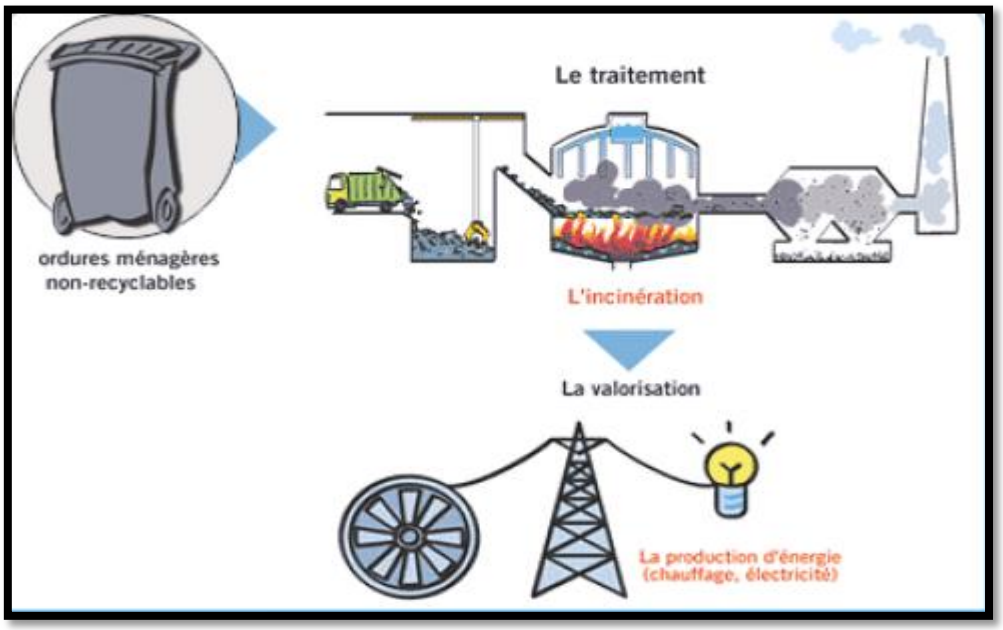



**Figure 01 : Les différentes étapes d'incinération. [16]**

**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 comburants.. C'est un ensemble de réarrangements chimiques de processus complexes définis 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. [16]

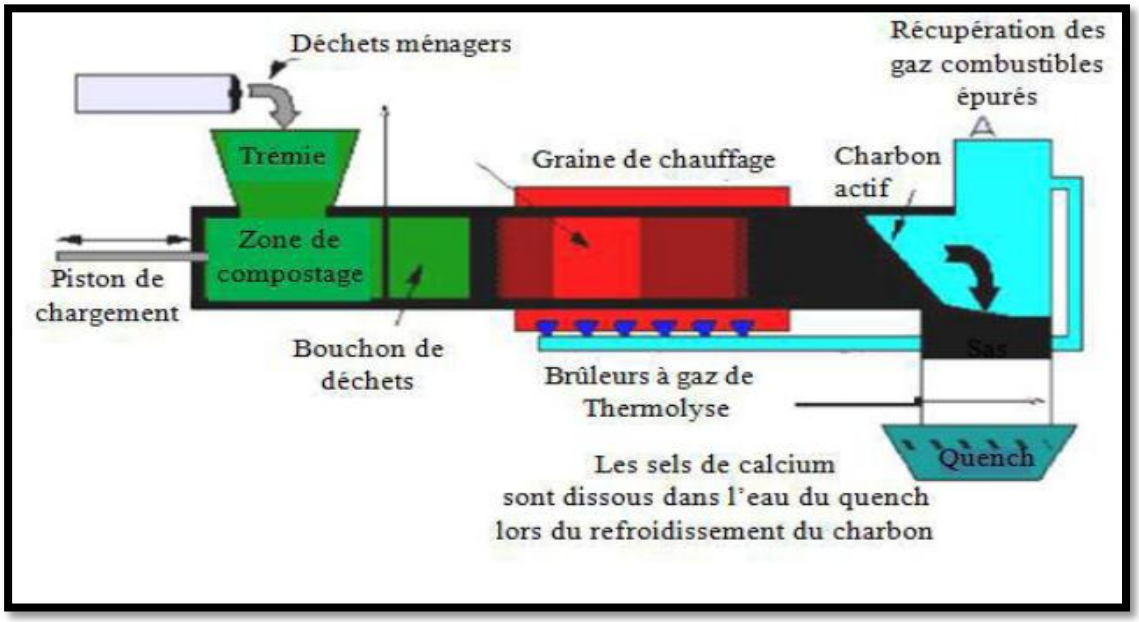



**Figure 02 : Principe de la Pyrolyse. [16]**

**I.3.4.3.3.Gazéification :**

La gazéification est un processus à la frontière entre la pyrolyse et la combustion.
Celui-ci permet de convertir des matières carbonées ou organiques en un gaz de synthèse combustible
(souvent appelé « syngas »), composé majoritairement de monoxyde de carbone (CO) et de dihydrogène ($H_2$), contrairement à la combustion dont les produits majoritaires sont le dioxyde de carbone ($CO_2$) et l'eau ($H_2O$).

La valorisation des déchets traités par gazéification a des avantages par rapport àl'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. [17]

**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. [18]

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. [19]

Le compostage est une pratique consistant à fabriquer du compost à partir de divers déchets végétaux. [20]

**b. Objectifs et principe:**

Le compostage est un traitement biologique de déchets organiques permettant depoursuivre 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. [21]

**I. 3.4.4.3. 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 :

$$C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow[\text{pH =7}]{T^\circ = 35°C} 3nCO_2 + 3nCH_4$$

Le méthane ($CH_4$) 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 $m^3$ 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. [22]

**I.4. Définition de la digestion anaérobique**

La méthanisation, ou encore appelée « digestion anaérobie », est un processus naturel, Elle est l'une des voies de dégradation des matières organique, qu'elles soient d'origine animale ou végétale. Le principe de la méthanisation repose sur la dégradation de la matière organique par des micro-organismes en absence d'oxygène et de lumière dans des cuves hermétiques (digesteurs) en milieu sec ou liquide. ([23], [24], [25])

Pour que la matière organique se transforme en biogaz composé principalement de méthane (CH4) et de gaz carbonique ($CO_2$) [26], et un sous-produit solide appelé digestat pouvant être valorisé comme fertilisant [27].

**I.5. 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 ; elle 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 animales et agricoles dans le but principal de récupérer l'énergie pour faire cuire et allumer [ 28 ] . 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 [ 29 ] .

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 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 présentées dans plusieurs pays. [ 30]

**I.6. Mise en œuvre de la méthanisation:**

La mise en œuvre de la méthanisation dans un réacteur a pour but de convertir cette matière, qu'elle soit sous forme soluble ou particulièrement solide en biogaz. A l'entrée du procédé, cette matière est un des composants d'une matrice, qu'elle soit liquide (effluent) ou solide (déchet). Les autres composants de la matrice sont l'eau et les matières minérales.[31]

**I.7. Les Etapes de la méthanisation :**

Elle continent généralement quater étapes, qui sont **l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène** et **la méthanogène**.

où une matière organique telle que le glucose est digérée biochimiquement en dioxyde de carbone ($CO_2$) et en méthane ($CH_4$) par les micro-organismes anaérobies

$$\mathbf{C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4}$$

**I.7.1. L'hydrolys :**

La phase d'hydrolyse est la première étape de la digestion anaérobie. Les réactions d'hydrolyse consistent à transformer les molécules complexes et de haut poids moléculaire composant la matière organique solide (protéines, lipides, polysaccharides) en intermédiaires monomériques solubles. Ainsi, les protéinés sont dégradées en acides aminés, les lipides sont hydrolyses en acides gras, et les sucres en monosaccharides, notamment en glucose.

Par exemple, l'hydrolyse des protéines consiste à rompre les liaisons peptidiques entre les acides aminés la composant (organises en peptides) tout en libérant de l'énergie [23, 32].

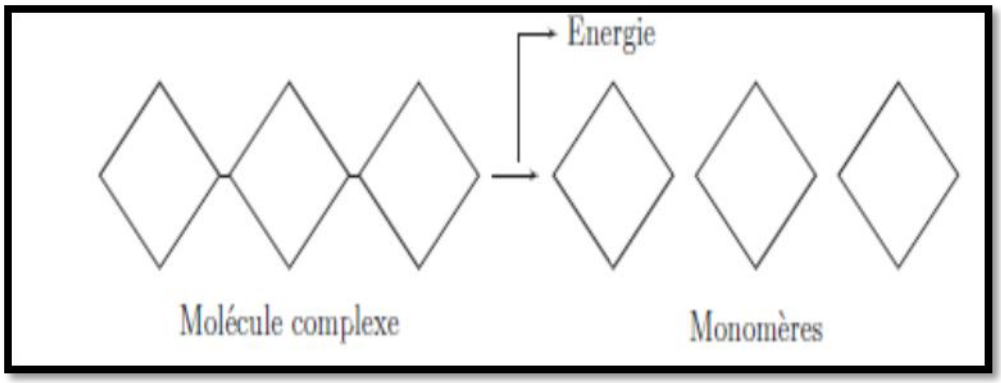



**Figure 03 :Principe de l'hydrolyse[32].**

**I.7.2. L'acidogènes :**

Deuxième étape est l'acidogènes, également appelée phase fermentative, transforme les différents monomères issus de l'hydrolyse en acides organiques à courte chaîne (2 à 6 carbones) .Les bactéries fermentatives réalisent l'acidogènes ou fermentation des substances monomères organiques en hydrogène ou formate, dioxyde de carbone, pyruvate, AGV : les principaux acides produits sont l'acide acétique, l'acide propénoïque et l'acide butyrique, et autres produits organiques (éthanol, cétones ou acides lactique, succinique, etc.) L'acidogènes est généralement déterminante pour l'équilibre de l'ensemble du processus de digestion anaérobie, en raison des molécules intermédiaires d'hydrogène et d'AGV produites simultanément lors de cette étape.[24, 25, 33]

En effet, l'accumulation d'hydrogène peut inhiber l'acétogenèse et la méthanisation acétoclaste, conduisant ainsi à une accumulation des AGV. L'accumulation d'AGV conduit à une baisse de pH et inhibe par conséquent l'ensemble du processus de digestion anaérobie [24].

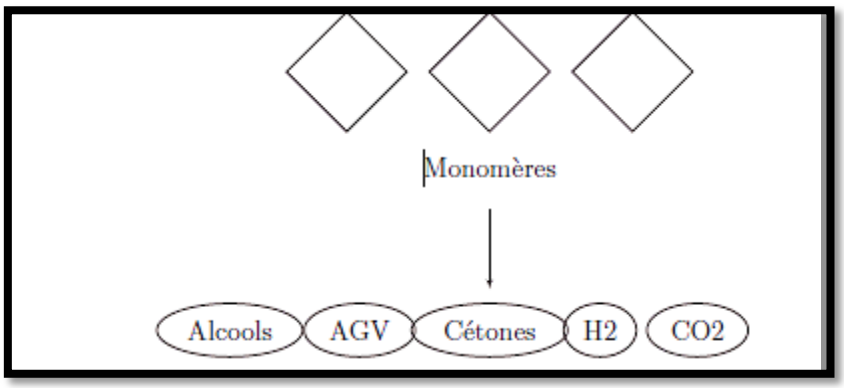



**Figure 04: Principe de l'acidogènes[32].**

### I.7.3. L'a cétogenèse :

Lors de la troisième étape. L'acétogenèse, qui transforme les produits de l'acidogenèse (sauf l'acétate) en acétate. Elle se déroule suivant deux métabolismes : les acétogènes transforment les acides organiques en acétate, $CO_2$ et $H_2$ ; les homoacétogènes combinent l'hydrogène et le $CO_2$ en acétate. [34]

Les bactéries qui réalisent cette étape sont désignées comme les bactéries productrices obligées d'hydrogène (OHPA, Obligate Hydrogen Producing Bacteria) et les bactéries mono ou homoacétogènes). Cependant, l'accumulation d'hydrogène bloque leur développement des OHPA. L'élimination est réalisée soit par les bactéries méthanogènes consommant l'hydrogène, soit par les bactéries sulfato-réductrices (réduction des sulfates en sulfures). [32]

**Tableau01: Bactéries acétogènes de la digestion anaérobie. [35]**

| Groupe | | Espèce |
|---|---|---|
| Syntrophes | | Syntrophomonas spp.<br>Syntrophobacter spp.<br>Syntrophus sp.<br>Syntrotrophococus spp. |
| Acétogene non syntrophes | sous-groupe 1 :<br>fermentation du substrat → acétate | Butyribacterium spp.<br>Peptococcus glycinophilus |
| | sous-groupe 2 :<br>$H_2 + CO_2$ → acétate | Acetoanaerobiunoterae<br>Acetobaterium spp.<br>Clostridium spp.<br>Eubacterium limosum<br>Sporomusa spp. |

### I.7.4. La méthanogènes :

Au cours de la méthanogenèse, dernière étape du processus, les molécules à 1 ou 2 atomes de carbone sont converties en méthane [36].Elle est considérée comme l'étape limitant dans le processus de dégradation des composés dissous. [37]

La méthanogénèse est mise en oeuvre par des bactéries appelées Archaebactéries dans la communauté des bactéries méthanogènes qui peuvent utiliser divers substrats comme l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène, ou encore, pour certaines espèces, le méthanol, les méthylamines ou le formate on peut distinguer:[38, 37]

1. Les hydrogénophiles, spécialisées dans la réduction du $CO_2$ par l'$H_2$, et productrices de méthane à partir d'acide formique :
2. Les acétoclastes, producteurs de méthane à partir d'acide acétique, de méthanol et de méthylamines :
3. La méthanisation complète donc les réactions précédentes et les favorise : les trois phases décrites sont donc indissociables, formant un tout dynamique appelé fermentation méthanique.[39]

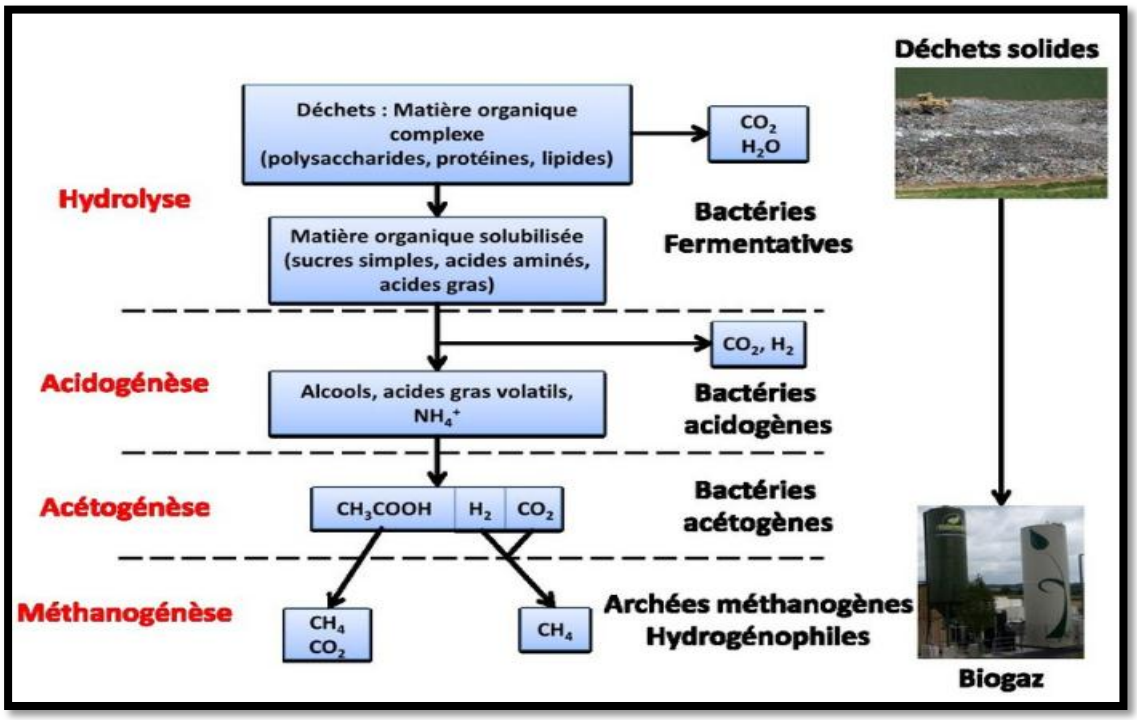



**Figure 05 : Etapes biologiques du procédé de méthanisation .**

## I .8. Les paramètres influençant la méthanisation:

### I.8.1. PH:

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Comme pour la température, les groupes de bactéries ont des domaines de pH de croissance optimum différents. Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogénèse et à la méthanogénèse. La chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces organismes et même des valeurs proches de 6,0 causent souvent un arrêt du procédé.

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 méthanogénèse. 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'acidogénès.[25]

### I.8.2. 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. Il existe trois gammes opératoires de températures pour les procédés de digestion anaérobie où les microorganismes ont des vitesses de croissance et de dégradation maximales:

- **Psychrophile pour des températures de 5 à 20°C,**
- **Mésophile de 25 à 45°C (optimum à 35°C),**
- **Thermophile de 45 à 65°C (optimum à 55°C).**

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 .[40]

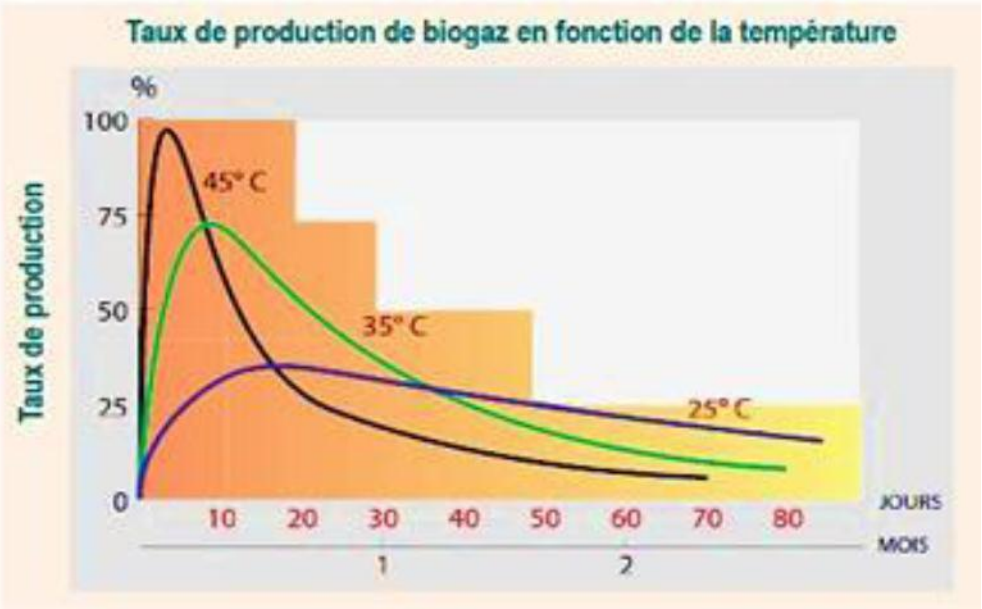



**Figure 06 : Production de biogaz en fonction de la température [25]**

### I.8.3. 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 facultatifs, 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 anaérobie strictes.[23, 24]

### I.8.4. 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 [41]. 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. [42]

**I.8.5. 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. [43] 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. [44]

**I.8.6. Pression partielle en hydrogène:**

La vitesse de production du biogaz décroît très rapidement en dehors d'une zone de pH située entre 6 et 8. Comme pour la température, les groupes de bactéries ont des domaines de pH de croissance optimum Différents. Le pH dans le digesteur se situe entre 7 et 7,5 ce qui correspond aux plages favorables à l'acétogénèse et à la méthanogénèse. La chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces organismes et même des valeurs proches de 6,0 causent souvent un arrêt du procédé.

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 méthanogénèse. 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'acidogénès [25]

**I.8.7. 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,… [45]

**I.8.8 .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**.** [46]

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

**Tableau 02: Différents exemples de TRH suivant le procédé de digestions. [46]**

| **Procédé** | **TRH** |
|---|---|
| **Réacteurs homogènes conventionnels** | **10 à 40 j minimum** |
| **Digesteurs infiniment mélanges** | **10à 20 j** |
| **Réacteurs de seconde génération : contact anaérobie** | **6 à 8 j** |
| **Réacteurs à cellules fixée** | **1 à 4 j suivant le substrat** |

## I.9. le digesteur:

### I.9.1. Définition:

Le digesteur, coeur ou se réalise la méthanisation, et aussi appelé fermenteur ou

bioréacteur anaérobie. Il est une simple cuve fermée, étanche et isolé thermiquement, dans la quelle 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. [47]

### I.9.2. Classifications des différents types de digesteurs :

On peut classer les digesteurs selon :

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

#### I.9.2.1. Les digesteurs discontinus:

Lors du mode discontinu, le réacteur hermétiquement fermé est initialement rempli avec de la matière organique à traiter. La réaction se déroule sans échange de matière avec l'extérieur et se poursuivit jusqu'à l'épuisement du substrat à dégrader.

À la fin de la digestion, le réacteur est vidangé et un nouveau cycle peut alors débuter. Ce mode est généralement utilisé pour la détermination du potentiel méthanogène des déchets.[36]

#### I.9.2. 2. Les digesteurs continus :

Le fonctionnement en mode continu est le plus courant à l'échelle industrielle [36] .l'alimentation et la vidange du digesteur se font en permanence avec une quantité entrante équivalente à celle sortante. Ce mode de fonctionnement est simple et adapté généralement au traitement des effluents fortement chargés en matières organiques (déchets agricoles, boues urbaines, …).[33, 36]

Ce procédé réclame des conditions de fonctionnement plus précis que pour les réacteurs discontinus. Il faut une alimentation régulière, un contrôle de pH, de la température et un brassage, si nécessaire. [23]

#### I.9.2. 3. Le digesteur semi-continu:

Ce mode de fonctionnement appelé également fed-batch ou mode discontinu séquentiel (SBR, Sequencing Batch Reactor) est un mode hybride entre le continu et le discontinu. le digesteur est progressivement rempli par des charges successives convenablement réparties dans le temps. La vidange est réalisée lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante. [33, 36, 42]

### I.10.Avantages de la digestion anaérobie:

Selon plusieurs études, la méthanisation de déchets organiques présente de nombreux avantages:

- Un traitement possible des déchets organiques graisseux ou très humides, non composables,
- Une double valorisation de la matière organique et de l'énergie (intérêt spécifique à la méthanisation par rapport aux autres filières), [48]
- La production du biogaz peut être utilisée comme sources d'énergies renouvelables pour générer trois types d'énergie : chaleur, électricité ou biocarburant ,
- Une diminution de la quantité de déchets organiques à traiter par d'autres filières ,
- Une diminution des émissions de gaz à effet de serre par substitution à l'usage d'énergies fossils,
- Une faible emprise au sol des unités de traitement et l'existence d'une offre d'installations compactes .

## I.11. biogaz

### I.11.1. Définition et Composition

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en absence d'oxygène (conditions anaérobies). Cette fermentation appelée aussi"méthanisation" ou encore "digestion anaérobie" peut se produire naturellement ou être provoquée .

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 $CO_2$. Les gaz présents en faibles concentrations sont le $H_2S$, le $NH_3$ 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 [41] [49]. Le tableau 04 indique la composition moyenne du biogaz.

**Tableau 03. Composition moyenne du biogaz. [49]**

| **Gaz** | **$CH_4$** | **$CO_2$** | **$H_2S$** | **$NH_3$** | **$H_2O$** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Concentration** | **55-88 %** | **20-45%** | **0-1.5%** | **0-0.5%** | **Saturé** |

**I.11.2. 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'à 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 utilise 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'a 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 pore. 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.[16]

**I.11.3. 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 industriel ou agricoles (des industries ou agroalimentaires) ; [50]

•**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 procèdes mixtes qui permettent de produire à la foi de l'amendement organique et le biogaz ; [50]

•**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 récupère entre 5 ou 10 ans. Sans installation particulière, autre que le captage des gaz dans les alvéoles. On peut récupérer 60 $m^3$ de méthane par tonne enfouie. [50]

**I.11.4. 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, l $m^3$ 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 $m^3$ de biogaz, contenant 70% de méthane et de 30% de gaz carbonique, libère par combustion environ 6000 Kcal. [51]

La variabilité de la quantité du gaz suivant le substrat fermenté est important : De 55% à 75% de $CH_4$. Sur une installation donnée, en l'absence d'accident de fermentation, la composition du biogaz est stable. [52]

**I.11.5. Purification du biogaz :**

On distingue dans l'étape de purification du biogaz, le traitement qui consiste à éliminer les composés toxiques et corrosifs ($H_2O$, $H_2S$, $CO_2$). [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 $H_2S$

Le procédé le plus efficace pour éliminer l‘‘$H_2S$ 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 $CO_2$, il faut faire barboter le biogaz dans une solution de chaux qui fixera le gaz carbonique. [53]

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 …). [54] Le tableau 04. regroupe les différents composés toxiques et leurs techniques d'élimination.

**Tableau 04 : Les composés et leurs techniques d′élimination. [51]**

| 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** |
| **$CO_2$** | **barbotage du biogaz dans une solution de chaux** |

### I.11.6. Valorisation de biogaz:

#### I.11.6.1. 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%. [55]

#### I.11.6.2. 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%. [55]

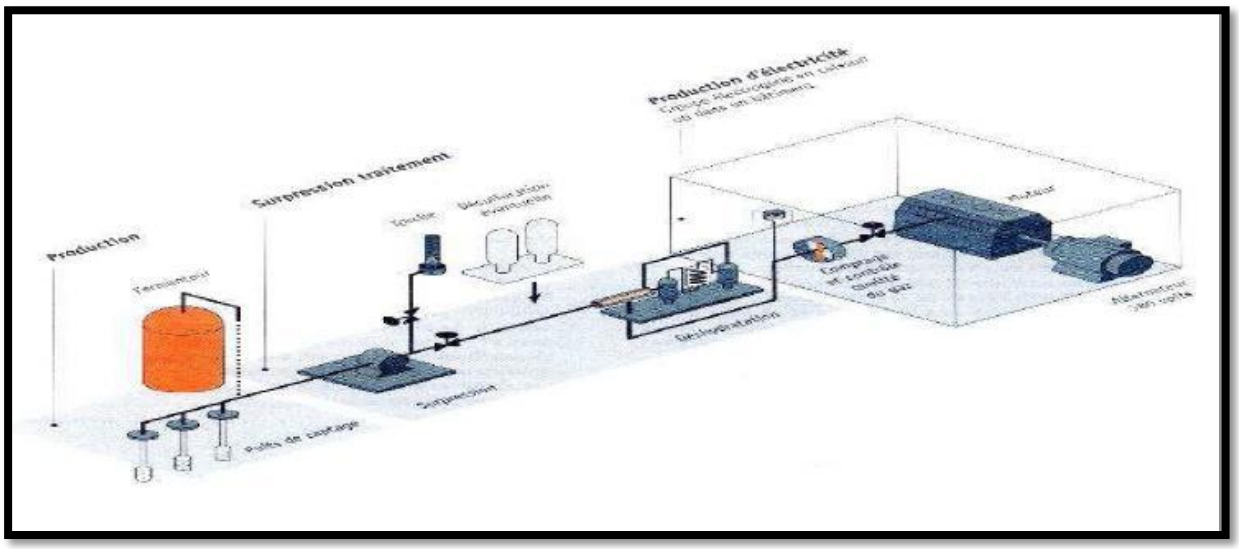



**Figure 07 : Valorisation électrique du biogaz [55]**

### I.11.6.3. 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, …). [56]

### I.11.6.4. 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. [56]

## I.12. Substrat:

Le type et la composition du substrat influencent directement sur le rendement et la composition de biogaz. Un produit organique ne pourra donc fournir plus que sa composition ne le permette. La biodégradabilité diffère d'un substrat à un autre, et influence directement le potentiel de production de gaz [51]

**I.12.1. Les effluents d'élevage:**

est une activité réglementée et qui se réfléchit en fonction de nombreux paramètres (nombre d'animaux, climat, distances d'épandages ….. ,)

L'épandage des effluents d'élevage, un atout environnemental agronomique et économique ;

• à la base de la fertilisation pour la croissance des végétaux.

• qui apporte des éléments minéraux, limitant l'utilisation d'engrais minéraux de synthèse (au coût d'achat élevé et à la production énergivore ).

• qui apporte de la matière organique : stimulation de l'activité biologique du sol et amélioration de sa structure (diminution de l'érosion, du ruissellement).

**I.12.2. Les eaux usées urbains:**

Ces eaux résiduaires sont collectés et acheminées, engénéral, vers les station d'épuration affectés à chaque communautéurbains pour les traiter avant leur rejet et final.de nos jours , lois et décrets définissent des seuils de pollutions des eaux , de flux de pollution après épuration , etc,afin de prévenir tout contamination du milieu en aval du rejet.

**Ces eaux usées ont trois origines, essentiellement**:

- Eaux météoriques ,
- Eaux d'usage industriels ,
- Eaux d'usage domestiques ,

**Elles constituent un effluent brut dont la composition varie suivant :**

- La taille de la communauté urbaine d'origine ,
- Les habitudes alimentaire et d'hygiène des individus ,
- Le lieu géographique étudie ,

**I.12.3. Les déchets agro-alimentaires:**

Les déchets agricoles sont généralement définis comme tout ce qui est produit accidentellement ou secondairement lors des processus de production des cultures sur le terrain, que ce soit lors de la récolte ou lors de la préparation pour la commercialisation ou la

fabrication de ces cultures et les déchets animaux et avicoles avant abattage ou lors des opérations d'abattage et lors des processus de fabrication et conservation des produits de ces animaux et volailles

**I.12.4. les ordures menagerie:**

Les ordures ménagères sont définies comme les restes des activités ménagères et peuvent inclure des matières dangereuses ; Tels que les piles, les nettoyants ménagers et autres, qui doivent être manipulés de manière sûre et éliminés correctement pour éviter tout danger pouvant en résulter, et certains d'entre eux ne sont pas dangereux ; Tels que les déchets alimentaires, le papier, le verre et autres qui peuvent être recyclés ou compostés.

# Chapitre II:

# Matériels et Méthode

**II.1.Le substrat utilisé:**

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

**LesDéchets agricoles:** Déchet agricole désigne un déchet qui provient de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage, constitué de déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales) et de déchets dangereux (produits phytosanitaires non utilisés, emballages vides ayant contenus des produits phytosanitaires …..).

**Les Boues séchés :** 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 .

**II.2.Description de digesteur;**

**Dispositif expérimental:**

Le digesteur continu est un tube de plastique avec un diamètre de 20 cm et unelongueur 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 avant installé un ballon pour stocké le biogaz produit. La température de la fermentation est fixée à 37℃ dans un bain marie thermostat. [7]

**Photo 02 : Digesteur.**

**II.3. La détermination du pH;**

**a) Matériels utilises :**

- pH-métre
- bécher

**Photo 03 : 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.

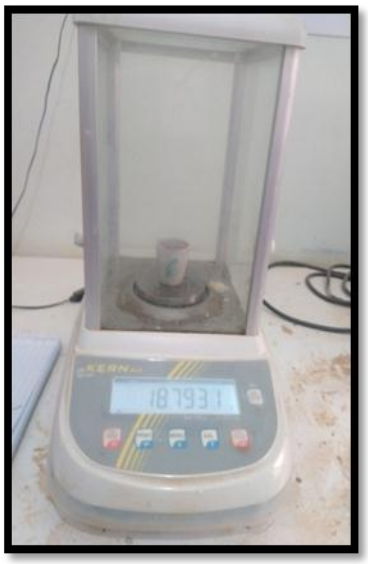
**II.4 .Caractéristique de déchet:**

**II.4.1 Détermination de la matière sèche (MS) :**

a) Matériels utilisés:

- Creusé.

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



Balane+ Creusé Etuve réglée à 105 Dessiccateur

**Photo 04 : Matériels utilisés pour Détermination la matière sèche.**

**b) Méthode :**

la détermination de la matiére séche (MS) et de la matière organique (MO) nous permet de connaitre le bilan de matière de la digestion anaérobie,cela nous renseigne également sur les performances de la dégradation du substrat au cours de la digestion des matières organiques ,ainsi que sur les performances liées à la transformation de la matière organique en énergie.

Une prise d'essai M1 de chaque échantillon a été placée dans une étuve à 105°C. Chaque 2heures l'échantillon est refroidi dans un dessiccateur avant d'être pesée, jusqu'à l'obtention d'un poids constant soit M2. Le pouecentage en matiére sèche (MS) est obtenu au début de la digestion selon la méthode décrite par Michaud.

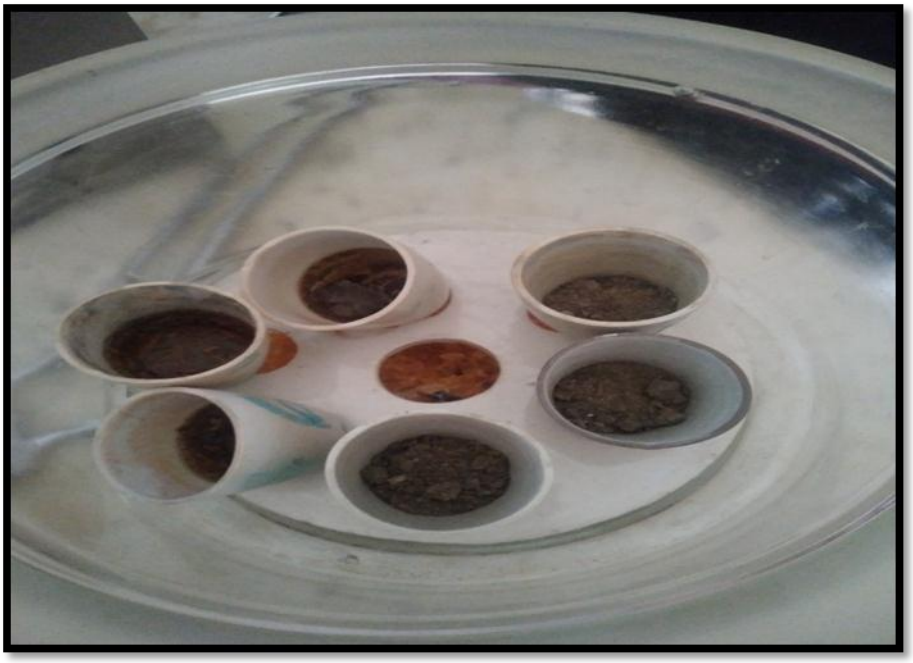


**Photo 05:Substrats âpre dessiccateur .**

La matière sèche s'obtient selon la méthode de Michaud [57]:

$$\mathbf{MS\% = (\frac{M2}{M1}) \times 100}$$

Avec :

M : masse de la creusé ;

M1 : masse de l'échantillon avant dessiccation ;

M2 : masse de l'échantillon après dessiccation.

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

**% d'humidité =100-%MS**

**II.4.2.Détermination de la matière organique (MO) ;**

**a) Matériels utilisés :**

- Creusé.
- Balance de précision.
- Dessiccateur.

- Four à moufle.

**Photo 06: Four à moufle .**

**b)Méthode utilise :**

pour déterminer la teneur en matière organique (MO), la masse (M2) 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. [58]

**Photo 07 : substrat âpre calcination .**

**c) Les calcule:**

Le calcul de matière organique MO s'obtinent selon la relation suivant [59] :

$$MO\% = \frac{M2 - M3}{M2} \times 100$$

M2 : la masse après la dessiccation.

M3 : la masse après calcination .

**II.5. Détermination du volume du biogaz et $CH_4$ :**

La production du biogaz est le but principal de la digestion anaérobie. Durant ledéroulement du processus de digestion anaérobie le volume du biogaz et le méthaneproduit sont mesurésde façon régulière par la méthode de Test de Potentiel Méthanogène(BMP). [7]

**a) Matériels**

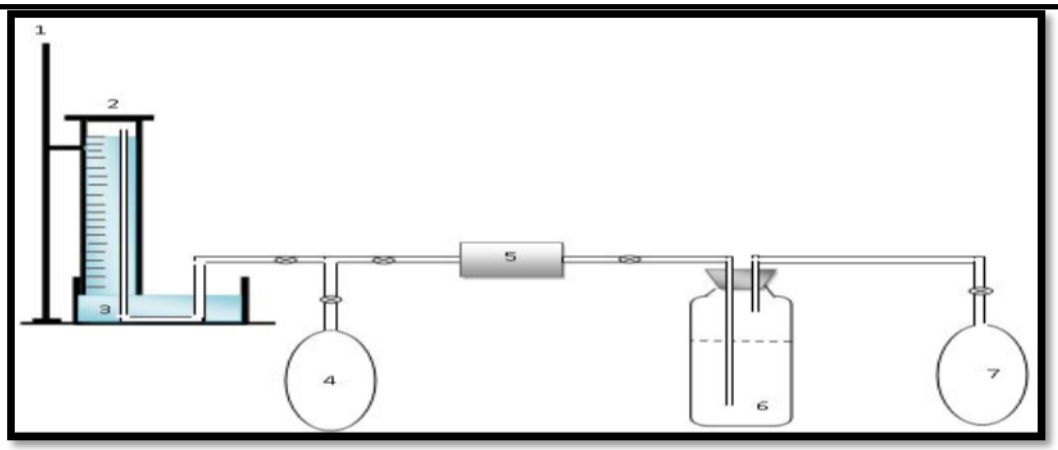
- Éprouvette graduée;
- Flacon ;
- Support ;
- Des tuyaux;
- Pompe à vide;
- deux ballons

**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 réduireau maximum la dissolution de CO2; après la quantification le biogaz est pomper(5) dansune solution de NaOH (3M/l) (6) pour l'élimination de CO2, en fin en obtenons un méthanepure(7), en le quantifier par la même méthode.[60]




1)Statif - (2) Éprouvette graduée inversé - (3) Solution saturé (NaCl 10g/l pH=2) - (4) Biogaz non filtré (5) Pompe à vide - (6) Filtration de $CO_2$ (solution de NaOH (3M/l)) (7) Biogaz filtré.

**Figure 07 : Schéma représentatif de système de mesure du volume du biogaz et de$CH_4$ produit. (Test de potentiel méthanogène ou BMP).** [7]

**II.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. [57]

**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 . [57]

Les matières organiques contenues dans l'échantillon sont oxydées, en milieu acide ($H_2SO_4$), en présence de sulfate d'argent ($Ag_2\ SO_4$) comme catalyseur, et de sulfate de mercure ($HgSO_4$) pour éviter l'interférence des chlorures, par le bichromate de potassium ($K_2\ Cr_2\ O_7$), introduit en excès, sous le chauffage à 150°C, pendant 2 heures dans un thermoréacteur.

**Photo 7 : 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 Fe $(NH_4)_2$ $(SO_4)$ $H_2$ 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 :

$$DCO=\frac{V_T-V_E\times 8000\times T\times d}{V_e} \qquad \text{(en mg } o_2\text{ /L)}$$

**Avec :**

$\boldsymbol{V_T}$: Volume de sel de Mohr pour le témoin.

$\boldsymbol{V_E}$: Volume de sel de Mohr pour l'échantillon.

**T** : titre de sel de Mohr.

**d:** facteur de dilution.

$\boldsymbol{V_e}$ **:** Volume d'échantillon prélèves après la dilution.

# Chapitre III:

# Résultats et discussions

### III.1.Caractéristiques du substrat:

La digestion des substrats à durée 28jours, Pour une production maximale de biogaz et de méthane et les caractéristiques initiales sont reportées dans le tableau05

**Tableaux 05 : Les caractéristiques du substrat.**

| Paramètre | Unités | Déchetsagricoles ((D.Ag) | | Boues séchés ((B.S) | |
|---|---|---|---|---|---|
| pH | | substrat | Digestat | substrat | Digestat |
| | | 6.28 | 7.45 | 6.6 | 7.43 |
| Taux de Matière organique | % | 79.22 | 56.66 | 56.89 | 50.22 |
| Demande chimique en oxygène Totale ($DCO_T$) | Mg/l | 16000 | 29333 | 42666.66 | 7666 |

### III.1.1.Variation du pH de déchets (D.Ag) et (B.S):

Le tableau suivant représente les valeurs de pH pour les déux digesteurs:

**Tableaux 06 : La variation de pH en fonction de temps de déchets(D.Ag) et (B.S).**

| Les jours | pH (D.Ag) | pH (B.S) |
|---|---|---|
| 1 | 6.28 | 6.66 |
| 2 | 6.33 | 6.69 |
| 3 | 6.55 | 6.13 |
| 4 | 6.74 | 6.22 |
| 5 | 6.79 | 6.27 |
| 6 | 6.81 | 6.49 |
| 7 | 6.89 | 6.87 |
| 8 | 7.21 | 7.18 |
| 9 | 7.48 | 7.46 |
| 10 | 7.53 | 7.51 |

| | | |
|---|---|---|
| **11** | **7.57** | **7.55** |
| **12** | **7.3** | **7.32** |
| **13** | **7.58** | **7.56** |
| **14** | **7.73** | **7.71** |
| **15** | **7.48** | **7.46** |
| **16** | **7.58** | **7.56** |
| **17** | **7.77** | **7.75** |
| **18** | **7.82** | **7.8** |
| **19** | **7.67** | **7.65** |
| **20** | **7.76** | **7.74** |
| **21** | **7.64** | **7.61** |
| **22** | **7.54** | **7.52** |
| **23** | **7.44** | **7.42** |
| **24** | **7.58** | **7.56** |
| **25** | **7.54** | **7.52** |
| **26** | **7.5** | **7.48** |
| **27** | **7.41** | **7.42** |
| **28** | **7.45** | **7.43** |

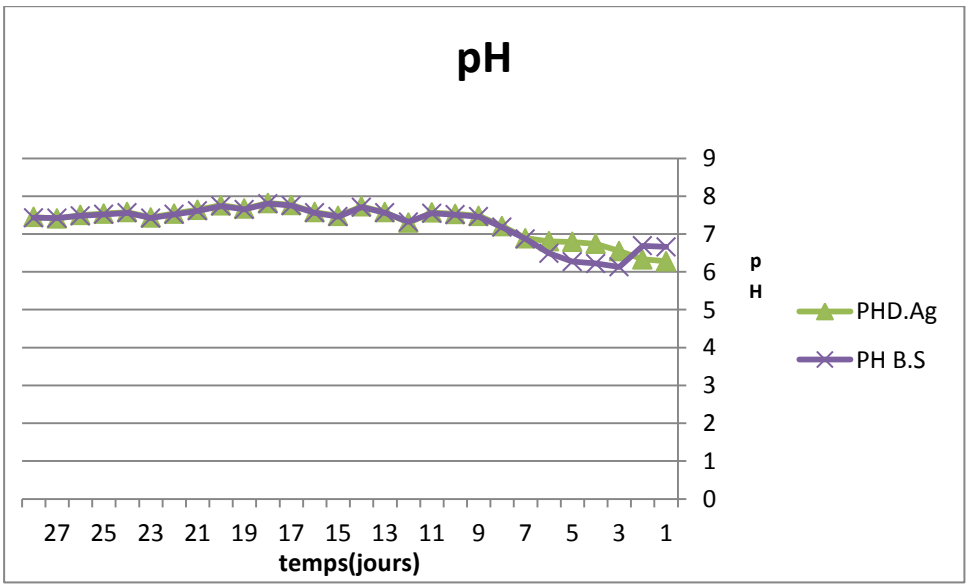



**Figure 09: La variation de pH en fonction de temps de déchets (D. Ag) et (B.S).**

À partir de la figure 09, on peut voir que le niveau de pH varie entre 6,28 et 6.89 pendant une période de 7 jours pour digérer les deux.

Le niveau de pH le premier jour était de 6,28 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 7,45 .explique par consommation de acétate. [61]

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

**III.2.1.Volume de biogaz produitde déche (D.Ag) et (B.S):**

Le tableau suivant représente les Volume de biogaz produit de déche (D.Ag )et (B.S) pour les deux digesteurs et le moyenne entre eux:

**Tableaux 07 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)**

| MOYEN | $V_{B.S}$(ml) | $V_{B.S}$(ml) | MOYEN | $V_{D.Ag}$(ml) | $V_{D.Ag}$(ml) | JOUR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 25 | 25 | 23 | 23 | 23 | 1 |
| 52.5 | 65 | 40 | 51.5 | 63 | 40 | 2 |
| 70.5 | 103 | 38 | 102.5 | 134 | 71 | 3 |
| 97.5 | 149 | 46 | 119 | 186 | 52 | 4 |
| 108.5 | 183 | 34 | 186 | 279 | 93 | 5 |
| 110.5 | 202 | 19 | 197.5 | 337 | 58 | 6 |
| 130 | 231 | 29 | 246.5 | 415 | 78 | 7 |
| 141.5 | 257 | 26 | 275.5 | 483 | 68 | 8 |
| 149.5 | 278 | 21 | 314.5 | 556 | 73 | 9 |
| 150 | 289 | 11 | 315 | 593 | 37 | 10 |
| 154.5 | 299 | 10 | 343.5 | 640 | 47 | 11 |
| 157.5 | 307 | 8 | 344 | 664 | 24 | 12 |
| 165.5 | 319 | 12 | 355 | 687 | 23 | 13 |
| 169.5 | 329 | 10 | 369.5 | 713 | 26 | 14 |
| 172.5 | 337 | 8 | 372.5 | 729 | 16 | 15 |
| 178.5 | 347 | 10 | 379.5 | 744 | 15 | 16 |
| 181.5 | 355 | 8 | 391 | 763 | 19 | 17 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 185.5 | 363 | 8 | 397.5 | 779 | 16 | 18 |
| 191.5 | 373 | 10 | 407.5 | 797 | 18 | 19 |
| 194.5 | 381 | 8 | 410.5 | 809 | 12 | 20 |
| 200.5 | 391 | 10 | 414.5 | 819 | 10 | 21 |
| 203.5 | 399 | 8 | 417.5 | 827 | 8 | 22 |
| 209.5 | 409 | 10 | 421.5 | 835 | 8 | 23 |
| 216.5 | 421 | 12 | 425.5 | 843 | 8 | 24 |
| 223.5 | 434 | 13 | 421.5 | 843 | 0 | 25 |
| 225 | 442 | 8 | 421.5 | 843 | 0 | 26 |
| 221 | 442 | 0 | 421.5 | 843 | 0 | 27 |
| 221 | 442 | 0 | 426.5 | 848 | 5 | 28 |

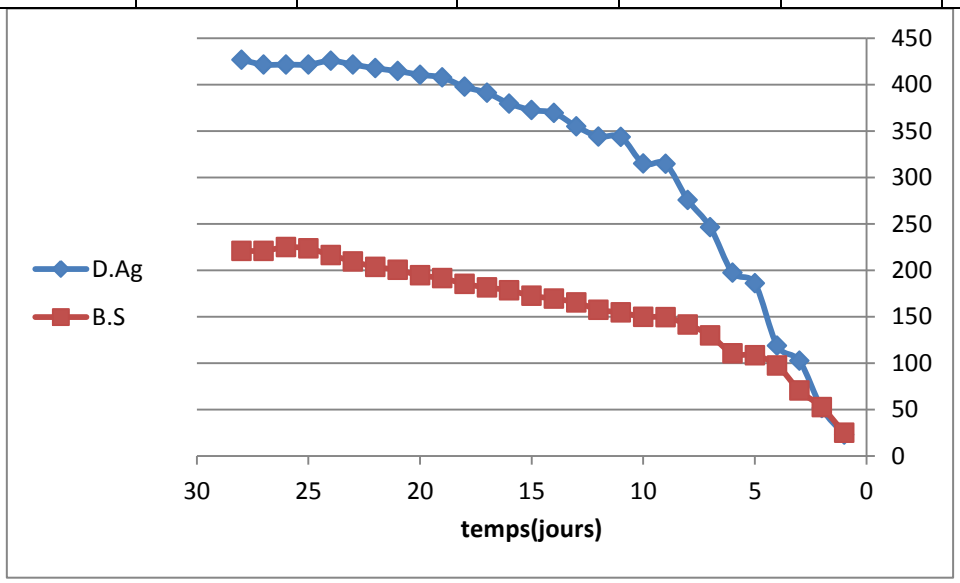



**Figure 10 : Le Volume de biogaz en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S).**

A partir de la figure10, on remarque que le volume de biogaz pour(D.A.g) augmente beaucoup par rapport au volume de biogaz(B.S), où le volume de biogaz était de 23 ml le premier jour pour augmenter au quatrième jour à 100 ml puis légèrement augmenté à le cinquième jour puis une augmentation continue de la production de gaz jusqu'à 320 ml,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'aurla dernier jour,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.

### III. 3. Volume de $CH_4$ (le potentiel biochimique méthanogène:

### III. 3.1. Volume de $CH_4$ de déche (D.Ag) et (B.S) :

Le tableau suivant représente les Volume
de CH4 produitde déche (D.Ag) et (B.S) pour les trois digesteurs et le moyenne entre eux:

**Tableaux 08: Le Volume de CH4 en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S)**

| MOYEN | $V_{B.S}$(ml) | $V_{B.S}$(ml) | MOYEN | $V_{D.Ag}$(ml) | $V_{D.Ag}$(ml) | JOUR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 12 | 12 | 11 | 11 | 11 | 1 |
| 26 | 32 | 20 | 25.5 | 31 | 20 | 2 |
| 31 | 47 | 15 | 60.5 | 76 | 45 | 3 |
| 43.5 | 67 | 20 | 68 | 106 | 30 | 4 |
| 48.5 | 82 | 15 | 98 | 151 | 45 | 5 |
| 51 | 92 | 10 | 105.5 | 181 | 30 | 6 |
| 66 | 112 | 20 | 134.5 | 225 | 44 | 7 |
| 71 | 127 | 15 | 152.5 | 265 | 40 | 8 |
| 78.5 | 142 | 15 | 182.5 | 315 | 50 | 9 |
| 81 | 152 | 10 | 187.5 | 345 | 30 | 10 |
| 81 | 157 | 5 | 211.5 | 384 | 39 | 11 |
| 82.5 | 161 | 4 | 204 | 396 | 12 | 12 |
| 86.5 | 167 | 6 | 209 | 407 | 11 | 13 |
| 88.5 | 172 | 5 | 215.5 | 419 | 12 | 14 |
| 91 | 177 | 5 | 217.5 | 427 | 8 | 15 |
| 93.5 | 182 | 5 | 223.5 | 437 | 10 | 16 |
| 96 | 187 | 5 | 229.5 | 448 | 11 | 17 |
| 98.5 | 192 | 5 | 235 | 459 | 11 | 18 |
| 101 | 197 | 5 | 240.5 | 470 | 11 | 19 |
| 103.5 | 202 | 5 | 245 | 480 | 10 | 20 |
| 106 | 207 | 5 | 247 | 487 | 7 | 21 |
| 108.5 | 212 | 5 | 247.5 | 491 | 4 | 22 |
| 111 | 217 | 5 | 249.5 | 495 | 4 | 23 |
| 113.5 | 222 | 5 | 251.5 | 499 | 4 | 24 |
| 116 | 227 | 5 | 249.5 | 499 | 0 | 25 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **118.5** | **232** | **5** | **249.5** | **499** | **0** | **26** |
| **116** | **232** | **0** | **249.5** | **499** | **0** | **27** |
| **116** | **232** | **0** | **249.5** | **499** | **0** | **28** |

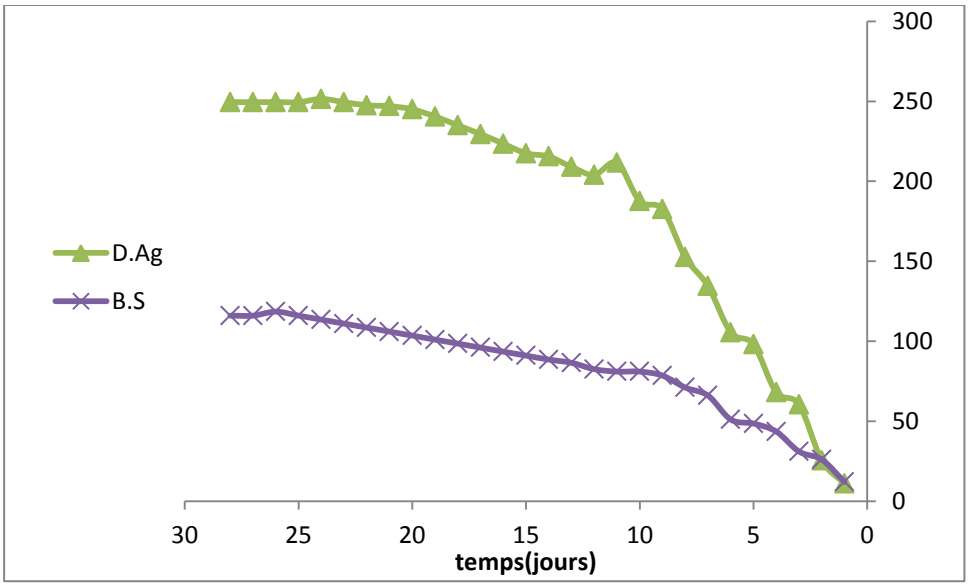



**Figure 11 : Le Volume de $CH_4$ en fonction de temps de déchets (D.Ag) et (B.S).**

D'après la figure11, on remarque que le volume de gaz méthane par rapport à (D.A.g) augmente beaucoup et avec une quantité fluctuante jusqu'au 20e jour, la quantité de production est fixée à 250 ml jusqu'au dernier jour, comme pour le volume de gaz pour (B.S) il est aussi en constante augmentation, mais avec un volume inférieur (D.A.g).

**IV. 4.Variation du MO:**

**Tableaux 09 : La variation du MO**

| | **Déchets agricoles** | **Boues séchées** |
|---|---|---|
| **Substrate** | **79.22** | **56.89** |
| **Digestate** | **56.66** | **50.22** |

**Figure 12 : variation de MO**

D'après la figure12 ,on remarque que le taux de matiére organique dans D.Ag est supérieur à celu de B.S et à partir de là ,nous pouvons dire que D.Ag nous produit du biogaz en bonne quantité .

**IV. 5. Variation du DCO:**

**Tableaux 07 : Lavariation du DCO**

| | Déchets agricoles | Boues séchées |
|---|---|---|
| **Substrate** | **16000** | **42666.66** |
| **Digestate** | **29333** | **7666** |

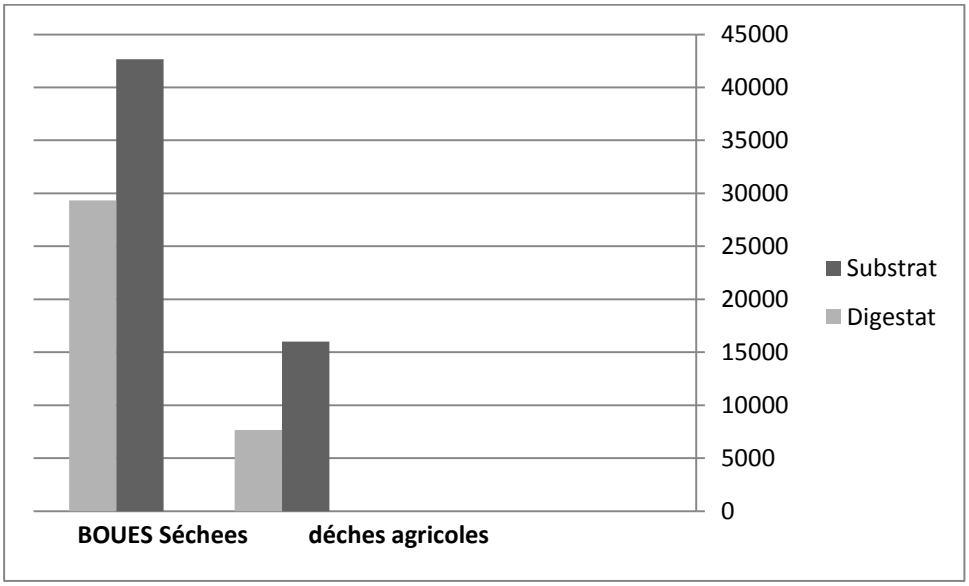



**Figure 19 : variation de DCO**

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 DCO5 [62] [63] (production de biogaz).

# CONCLUSION

À travers l'étude théorique de différentes méthodes de traitement des déchets, dans ce travaille 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.

Dans ce travaille on a comparer la production de biogaz et de méthane de deux types de déchets organiques : Déchets agricoles et Boues séchés

Il existe des différences de pH enregistrées lors de la digestion des déchets agricoles et Boues dans la phase du développement des bactéries méthaniques, où les valeurs de pH séchés obtenues varient de 6.13 à 7,80 pour des Boues séchés et 6.28 à 7.82 pour des déchets agricoles 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 agricoles par rapport ou digesteur qui contient le déchet Boues séchés.

Les résultats obtenus dans ce travail ont clairement montré que la quantité de méthane produite est élevée dans les déchets agricoles par rapport ou boues séchés.

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 agricoles produisent plus de méthane que les Boues séchés. Par conséquent, afin d'obtenir un plus grand rendement en méthane, nous recommandons d'utiliser les déchets agricoles.

## 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] Nawel, M.B., Valorisation des résidus agro-industriels. 2015, Uinversité de Béjaia, polycopie .

[4] Boukria, A. and G. Ouahrani, Valorisation des déchets ménagers et des grignons d'olive par dégradation anaérobie et production de compost et de biogaz. 2018, université de constantine.

[5] N. LOUAI, « Evaluation Energétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique », mémoire de magistère, 2009.

[6] Mellak, A., et al., Contribution à la production du biogaz à partir d'effluents d'élevage animaliers en Algérie. Algerian Journal of Environmental Science Technology, 2019. 5(1).

[7] Ahmed, T., Valorisation Energétique par la Production d'Electricités à Partir de la Digestion Anaérobie de Déchet Organique dans le Milieu Saharien. 2019, thèse de Doctorat, université de Ghardaia ; .

[8] Boukria, A. and G. Ouahrani, Valorisation des déchets ménagers et des grignons d'olive par dégradation anaérobie et production de compost et de biogaz. 2018, université de Constantine .

[9] MEZOUARI. SANDJAKDINE.; 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 2011. avec l'université de Limoges F, P 45-49-57.

[10] ZEDAM et LARABA., Etude comparative des caractéristiques de lixiviat : source de pollution et de contamination dans quatre charges. 2019 , Université de M'sila (Algérie). P 26

[11] ESRI-1, ; Utilisation d'Arc Map, ArcGIS 9, ESRI 380 New York Street Red Lands, CA92373-8100 USA. www.esri.com ; 2004 Imprimé en France ESRI France 21, rue des Capucins92190 Meudon www.esrifrance.fr P 646.

[12] Guy MATEJKA, ; Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers a Nouakchott (Mauritanie) : 2006 contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Limoges discipline : chimie et microbiologie de l'eau. P 41.

[13] *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 .

[14] 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,2006 université BADJI MOKHTARANNABA, p11.

[15] *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.

[16] *Ferdjellah K , Omari O.,* Effet du traitement chimique et aérobie sur le rendement de PBM (Potentiel Biochimique Méthanogène) des déchets organiques du restaurant 2017 universitaire, mémoire de master, ,p4-32.

[17] *SengaKiesses.,* Valorisation énergétique des déchets de bois traités par voies thermochimiques (pyrolyse et hydroliquifaction), thèse de doctorat, université Nantes Angers la Mans, 2013.

[18] *DAMIEN A.,* Guide du traitement des déchets. 4ème édition, Dunod, Paris, 2006, P 3-16.

[19] *LEBOZEC. A.,* Le service d'élimination des ordures ménagères : organisation, coûts, gestion, Edition l'Harmattan, 1994, p460.

[20] *DUPRIEZ N, LEENER P.,* Jardin et verger d'Afrique. Edition, Terre et vie, Belgique, 1987, P354. l'ingénieur, 2007, P 1-23.

[21] *BAYARD. R, GOURDON.R.,* Traitement biologique des déchets. Edition : Techniques de

[22] *FAURIE .C, FERRA .C, MEDORI .P, DEREAUX. J, HEMPTINNE. J.*, Ecologie : Approche scientifique et pratique. 5ème édition, 2006, P 343-356.

[23] Ahmed, T., *Valorisation Energétique par la Production d\'Electricités à Partir de la Digestion Anaérobie de Déchet Organique dans le Milieu Saharien*. 2019,univ Ghardaia .

[24] Lamir, A. and S. KALLOUM, *Production du biogaz à partir des folioles et pétioles des palmiers dattiers (phoenix dactylifera L) variété H'mira*. 2020, universite Ahmed Draia-ADRAR.

[25] BENDJERAD, F.Z., R. BENKHEIRA, and A. BOULAL, *Production de biogaz à partir des tourteaux des noyaux des dattes dans la région d'Adrar*. 2020, universite Ahmed Draia-ADRAR.

[26] Moletta, R., *Méthanisation de la biomasse.* Techniques de l'ingénieur Bioprocédés dans les domaines de l'énergie et de l'environnement, 2008.

[27] LEVET, R.P.A., *ETAT DE L'ART DE LA MICRO-METHANISATION*. 2020.

[28] Couturier,C,et Galtier,L.,2004,Etat des connaissances sur le devenir des germes pathogènes et des micros- polluants au cours de la méthanisation des déchets et sous-produits organiques .Programme ADEME .santé-Déchets ,solagro ,Avril 2004.

[29]Ministère de l'agriculture libanaise, Statistique agriculture courante rapport annule; 1998,Beyrouth –Lebanon.

[30] Leger,C.L.;Co- produits de l'huilerie d'olive:les composés phénoliques et leurs propriétés biologiques.OCL,Oléagineux,Corps gras et Lipides,1999.

[31] *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.

[32] Tatangelo, P., La méthanisation: principe et inhibition par les antibiotiques. 2016, Université de Lorraine.

[33] ADEOSSI, F.G.F., CARACTERISATION DU BIOGAZ PRODUIT A PARTIR DES SUBSTRATS BOVINS ET PORCINS DANS LA REGION DU CENTRE DU BURKINA FASO. 2013, MEMOIRE DU MASTER D'INGENIERIE

[34] Bollon, J., *Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche: essais expérimentaux et modélisation*. 2012, INSA de Lyon.

[35] *Uwe G.*, La Production de Biogaz, Edition Eugen Ulmer, 2008, p21.

[36] El Achkar, J., *Méthanisation de marc de raisin. Caractérisation et optimisation du procédé et des prétraitements*. 2017, Lorient.

[37] Houari, M., *Etude de la valorisation par méthanisation des déchets des abattoirs de volailles.* 2018, MEMOIRE DU MASTER, UNIVERSITE de TLEMCEN. p. 26,40,41.

[39] Poulleau, J., *Caractérisation des biogaz-Bibliographie-Mesures sur sites.* J Rapport final INERIS,DRC, 2002(,-02-27158-AIRE-n316b-JPo).

[40] *Oechsner H, Khanal S.K, Taherzadeh M.,* Advances in Biogas Research and Application,

Bioresour Technol , vol. 178,2005, p177–191.

[41] *Ostrem K.,* Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. Memoir de maîtrise, 2004 Columbia University, New York, .

[42] *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.

[43] *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.

[44] *Dahou A.,* la production de biogaz à partir de lagunage de la wilaya d'Adrar, mémoire de magistère, 2010. université KasdiMerbah, Ouargla,

[45] *SATESE R.,* Schéma départemental de gestion des boues d'épuration de la Réunion, Conseil Général, (2001).

[46] *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.

[47] *Chen Y, Rößler B, Zielonka S, Lemmer A, Wonneberger A, Jungbluth A.,* The pressure

[48] Guillaume, B., *Service Prévention et Gestion des Déchets Direction Consommation Durable et Déchets ,ADEME Angers.* 2015 Février.

[49] *Truong L.V.,* Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc, Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec ,2004.

[50] *Solagro A.,* La digestion anaérobie des boues urbaines en île de France, Solagro, 2001.

[51] *Boutouta I.,* valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville de Blida, mémoire master, université Saad Dahleb de Blida, 2011-2012.

[52] *Bertan de la farge.,* le biogaz procédés de fermentation méthaniques, Masson, 1995. Paris,

[53] *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.

[54] *Moletta R.,* la méthanisation ,2edédition, France, avril 2011.

[55] *CHASLERIE T.,* Techniques de bioconversion : La biométhanisation, IUT Génie Thermique et énergie, Projet tuteuré de première année, 2002.

[56] *ADEME ANGERS* ., méthanisation , document explique ,2015.

[51] BENDJERAD, F.Z., R. BENKHEIRA, and A. BOULAL, *Production de biogaz à partir des tourteaux des noyaux des dattes dans la région d'Adrar*. 2020, universite Ahmed Draia-ADRAR.

[57] *Lamir A.,* Production du biogaz à partir des folioles et pétioles des palmiers dattiers(phoenix dactylifera L) variété H'mira : Etude comparative, mémoire de Master, Université Ahmed Draïa Adrar, 2019/2020,pp26,31-32.

[58] *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.

[59] *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 Appliques de Toulouse, 2001.

[60] *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.

[61] *Djaafri M et al.,* Amélioration de la digestion anaérobie des déchets ménagers (déchets de restaurant) en utilisant un prétraitement physique, Unité de Recherche en Energie Renouvelable en Milieu Saharien, URER_MS, ADRAR, 2014.

[62] *Takdastan A, Movahedian H, Jafarzadeh N, Bina B.,* The Efficiency of Anaerobic Digesters on Microbial Quality of Sludge in Isfahan and Shahinshahr Waterwaste Treatment Plant, Iranian J Env Health Sci Eng , 2005,p 56-59.

[63] *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**

La méthanisation repose sur la dégradation de la matière organique par des micro-organismes en absence d'oxygène, se transforme en biogaz composé principalement de méthane (CH4), dans ce travaille on a comparé la production de biogaz et de méthane de deux types de déchets organiques : Déchets agricoles et Boues séchés

Les résultats obtenus dans ce travail ont clairement montré que la quantité de méthane produite est élevée dans les déchets agricoles par rapport ou boues séchés.

**Mots clés**: Digestion anaérobique; Biométhan; Potentielle de méthane ou BMP;

Déchets agricoles ; Boues séchés

**Summary**

Methanization is based on the degradation of organic matter by microorganisms in the absence of oxygen, is transformed into biogas composed mainly of methane (CH4), in this work we compared the production of biogas and methane from two types of organic waste: agricultural waste and dried sludge

The results obtained in this work have clearly shown that the amount of methane produced is high in relative agricultural waste or dried sludge.

**Keywords:** Anaerobic digestion; Bio methane; Methane potential or BMP; Agricultural waste; Dried sludge.

**ملخص**

يعتمد الميثان على تحلل المواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة في غياب الأكسجين ، ويتحول إلى غاز حيوي يتكون أساسًا من الميثان (CH4) ، في هذا العمل قمنا بمقارنة إنتاج الغاز الحيوي والميثان من نوعين من النفايات العضوية: النفايات الزراعية و الحمأة المجففة

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل بوضوح أن كمية الميثان الناتجة عالية في النفايات الزراعية النسبية أو الحمأة الجافة.

الكلمات الرئيسية: الهضم اللاهوائية; الميثان الحيوي ;إمكانات الميثان أو BMP.

النفايات الزراعية ; الحمأة المجففة .