



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES  
N° d'ordre : M...../IP/2022



## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière :** Industries pétrochimiques

**Option:** Génie pétrochimique

**Thème**

**PRODUCTION DU BIOMETHANE**

Présenté par :

**Melle BENOULA IMENE BOUCHERA**

Soutenu le ..../06/ 2022 devant le jury composé de

<b>Présidente :</b> Mme DRIOUCHE .A	Grade : MCA	Université de Mostaganem
<b>Examinatrice :</b> Mme KHALADI .M	Grade : MAA	Université de Mostaganem
<b>Rapporteur :</b> MEKATRIA .D	Grade : MCB	Université de Mostaganem

**Année Universitaire 2021/2022**

### ***Remercîment***

Avant tout nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier, puis la force, le courage et la patience afin d'achever ce travail.

Nos remerciements s'adressent, en premier lieu, aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer et de juger ce travail et en particulier Mme Driouche qui nous a fait l'honneur de présider ce jury et Mme Khelladi pour l'honneur qu'elle nous a fait pour avoir accepté de faire partie de ce jury en examinant ce travail.

Ma gratitude va aussi à mon encadreur **M. Mekhatia Djilali** pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses orientations et ses conseils ce qui m'a permis de réaliser et de finaliser ce mémoire de fin d'étude.

Nous remercions également l'ensemble de nos enseignants depuis l'école primaire à ce jour pour nous avoir permis d'avoir le niveau que nous avons aujourd'hui.

Que nos parents trouvent en ces expressions le sentiment d'une reconnaissance profonde.

Que nos amis, camarades et que toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail trouvent en ces termes nos profonds remerciements

## **Dédicaces :**

*C'est accompagné d'un vent de tendresse et d'affection que je prends*

*Mille mercis aux deux êtres qui me sont les plus chers*

*"Mon père" et "Ma mère, que Dieu lui fasse miséricorde".*

*Merci de me donner la liberté de choisir, de posséder, et saches*

*Qu'il n'y a pas de dévouement et qu'aucun mot ne peut exprimer la profondeur*

*Mes sentiments pour vous.*

*Mes remerciements les plus chaleureux à :*

*Mes chers grands-parents*

*mon frère Mohamed Islame.*

*ma sœur Nesrine Youssa*

*Mes tantes et oncles.*

*Mon mari et sa famille*

*La famille Ben Aoula.*

*Tous mes amis et tous ceux que je connais qui m'ont souhaité*

*la réussite et à toute la promotion 2022 de génie des procédés, à*

*que je souhaite un bon parcours.*

## *Résumé*

Les énergies renouvelables sont des ressources naturelles qui ne s'épuisent pas et se renouvellent en permanence, telles que le vent, l'eau et le soleil qui sont disponibles dans la plupart des pays du monde. Elle peut également être produite à partir du mouvement des vagues et des marées ou à partir de l'énergie géothermique et diffèrent des énergies fossiles par le fait qu'elles ne génèrent pas de déchets nocifs pour l'environnement. De ces énergies il y a celle de la biomasse qui produit du biogaz ; cette biomasse, au départ, est un déchet naissant des rejets de l'homme.

Le biogaz, source d'énergie renouvelable, est produit par des déchets d'origine agricole ou industrielle en anaérobiose dans un digesteur après fermentation pendant un dizaine de jours c'est la méthanisation.

**Mots clés :** Énergie renouvelable, Énergies fossiles, biocarburants, biogaz méthanisation digesteur déchets agricole.

## ملخص

الطاقات المتجددة هي موارد طبيعية لا تنفذ ويتم تجديدها باستمرار ، مثل الرياح والمياه والشمس المتوفرة في معظم دول العالم. كما يمكن إنتاجه من حركة الأمواج والمد والجزر أو من الطاقة الحرارية الأرضية ويختلف عن الوقود الأحفوري من حيث أنه لا يولد نفايات ضارة بالبيئة. ومن بين هذه الطاقات توجد طاقة الكتلة الحيوية التي تنتج الغاز الحيوي؛ هذه الكتلة الحيوية ، في البداية ، هي نفايات ناتجة عن التصريفات البشرية.

يتم إنتاج الغاز الحيوي ، وهو مصدر للطاقة المتجددة ، بواسطة النفايات الزراعية أو الصناعية اللاهوائية في جهاز هضم بعد التخمير لمدة عشرين يوما تقريبا ، وهو الميثان.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة المتجددة، الوقود الأحفوري، الوقود الحيوي، هضم غاز الميثان الحيوي النفايات الزراعية.

## **Abstract**

Renewable energy is a natural resource that does not run out and is constantly renewed, such as wind, water and sunshine, which are available in most countries of the world. It can also be produced from wave and tidal movement or from geothermal energy and differs from fossil fuels in that it does not generate environmentally harmful waste. Among these energies is that of biomass, which produces biogas; this biomass is initially a waste product of human waste.

Biogas, a source of renewable energy, is produced by waste of agricultural or industrial origin in anaerobic conditions in a digester after fermentation for about ten days.

**Key words** : Renewable energy, Fossil energies, biofuels, biogas, digester, agricultural waste.

## Sommaire

Remerciements	II
Résumé	IV
ملخص	V
Abstract	VI
Liste des tableaux	X
Liste des figures	XI
Introduction générale	3

### Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1. Introduction	6
I.2. Energies renouvelables	8
I.3. Différents types d'énergies renouvelables.	10
I.3.1. Energie solaire	10
I.3.1.1. Energie solaire photovoltaïque	10
I.3.1.2. Energie solaire thermique	10
I.3.1.3. Energie solaire thermodynamique	11
I.3.2. Energie éolienne:	12
I.3.3. Energie hydraulique :	12
I.3.4. Energie marémotrice	13
I.3.5. Géothermie	13
I.3.6. Biogaz :	14
I.3.7. Biomass:	14
I.4. Le potentiel de la biomass	15

### Chapitre II:

#### La fermentation méthanique

II.1. Introduction	18
	7

II.2.Biomasse	18
II.3 Biogaz	19
II.3.1.Source de biogaz.....	19
II.4. Mécanisme de production de biogaz.....	20
II.4.1. Processus chimique de formation du biogaz: La méthanisation.....	20
II.4.2. Evolution de la composition gazeuse d'une décharge.....	21
II.4.3. Volume de biogaz selon le type de biomasse	22
II.5. Intérêts du biogaz des décharges	25
II.5.1 Impacts environnementaux	26
II.6 Capacité énergétique	27
<b>Chapitre III : Etude expérimentale biodigester et fermentation méthanique</b>	
III.1.Introduction :	29
III.2.Principe	29
III.3.Rapport entre le carbone et l'Azote (C/N)	31
III.4.Le degré de l'humidité	31
III.5.Température	32
III.6.Potentiel d'hydrogène	32
III.7.Broyage	32
III.8.Oxygénation	32
III.9.Charge du bioréacteur et Matières premières :	33
III.10. Réacteur (biodigester).	33
III.11.Résultats Expérimentaux.	35
III.11.1.Quantité de biomasse générée par famille et par jour ( <i>M1</i> ).	35
III.12.Conclusion :	37
Conclusion générale	39
Bibliographie	40
Annexe 1: Définition	42
Annexe 2	46



## Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Composition chimique du biogaz [16]	7
Tableau II.1 : Potentiel biogaz en fonction de la nature déchet	19
Tableau II.2: Rendement de gaz produit par tonne de biomasse [17]	22
Tableau 4 Composition du biogaz selon les sources de biomasse [18]	24
Tableau 5: Ratio C/N moyen	28

## Liste des figures

Figure I.1 les sources des énergies renouvelables.	
Figure I.2: Structure de la production d'électricité 2009. [02]	
Figure I.3 : Module photovoltaïque	
Figure I.4 : Chauffe eau solaire	
Figure I.5 : Tour solaire	
Figure I.6 : Energie éolienne	
Figure I.7: L'énergie hydraulique	
Figure I.8: Le principe de la marémotrice	
Figure I.9: Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande.	
Figure I.10: Principe biogaz	
Figure I.11 :Cycle de biomasse et photosynthèse	
Figure II.1 : Mécanisme de production du biogaz	1
Figure II.2 Potentiel biogaz en fonction de la nature déchet	
Figure II.3 : Rendement de gaz produit par tonne de biomasse ]	
Figure II.4 Composition du biogaz selon les sources de biomasse	
Figure II.5 : : Energie produite par 1m <sup>3</sup> de biogaz.	7
Figure III.1: Méthanisation de matières organiques	30
Figure III.2:Schéma du méthaniseur.....	34

## Liste des Abréviations

$CH_4$  : Gaz du méthane

$CO_2$  : Dioxyde de carbone

$CO$  : Monoxyde de carbone

$H_2S$  : Hydrogène sulfuré

$N_2$  : Azote

$H_2$  : Le dihydrogène

$H_2O$  : Eau

$H_2S_5$  : Pentasulfure

$O_2$  : Dioxygène

**ECS** : *Eau chaude sanitaire.*

**TEP/an** : *Tonne d'équivalent pétrole (Tep) par année.*

**Step** : *station d'épuration des eaux usées*

**TWh** : *tonne watt par heure d'électricité*

**PCS** ( $kWh/(n)m^3$ ) *pouvoir calorifique supérieur*



# **INTRODUCTION**

## **Générale**

## Introduction Générale

L'énergie, préoccupation de toutes les nations et signe de supériorité pour celle qui en possède la maîtrise, existe sous deux types ; les énergies fossiles, ou non renouvelables, et les énergies renouvelables. Elles se différencient par le fait que les énergies renouvelables se renouvellent avec une vitesse nettement supérieure à leur épuisement.

L'énergie fossile désigne l'énergie produite à partir de la fossilisation d'êtres vivants disparus il y a des milliers d'années. Cette fossilisation a abouti au pétrole, gaz naturel et houille. Elle a contribué pour une grande part à la révolution industrielle et au progrès technique dont on arrive plus à s'en passer et, aujourd'hui, elle arrive à son épuisement car elle a été utilisée parfois sans modération.

En plus du fait qu'elle arrive à sa disparition, s'ajoute le problème de la pollution qui est générée au moment de son extraction et lors de son utilisation avec les rejets de gazeux, liquides et solides de composés chimiques nocifs pour les êtres et l'environnement. Le constat aujourd'hui est que l'énergie fossile est responsable de l'effet de serre et de plusieurs maladies dues aux substances rejetées.

Les énergies renouvelables, désignées ainsi à cause de leur régénération perceptible par l'homme, sont des énergies inépuisables. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers et constants provoqués par les astres, principalement le Soleil et la Lune.

Aujourd'hui, ces énergies ont été domestiquées et servent à de nombreux usages comme les transports (biocarburants), le chauffage et la climatisation solaire, l'éclairage photovoltaïque etc.

Parmi les énergies renouvelables, nous nous sommes intéressés à la biomasse, au biocarburant et aux conditions de fermentation anaérobique de la biomasse pour produire du biogaz et du biométhane.

Le présent travail concerne la production de biométhane dans un réacteur digesteur. Il est réalisé par imitation de la méthanisation naturelle des déchets agricoles et alimentaires dans un digesteur que nous avons réalisé pour cette fin.

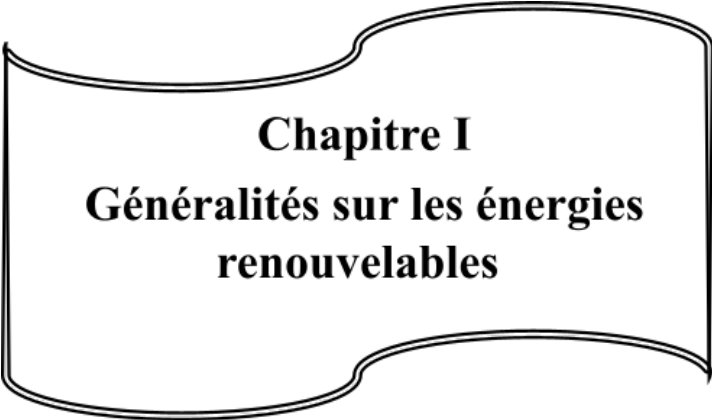
Ce travail vise deux objectifs essentiels: la maîtrise de la production de l'énergie à l'échelle du consommateur, c'est-à-dire produire son propre biométhane, et la valorisation des

déchets ménagers pour en faire de la biomasse et alléger les décharges. Ceci a abouti à l'émergence d'une préoccupation qui se résume en :

Peut-on imiter la méthanisation naturelle ?

Le réacteur réalisé est-il en mesure d'abriter la méthanisation ?

Pour répondre à ces questions, nous avons réalisé ce travail qui se divise en 03 chapitres.



**Chapitre I**  
**Généralités sur les énergies**  
**renouvelables**

# CHAPITRE I : Généralités sur les énergies renouvelables

## I.1. Introduction

Les énergies renouvelables sont sources d'énergie vitales, obtenues à partir des gisements inépuisables telles que le soleil, le vent, la chaleur du centre de la terre, les voies d'eau (cascades, rivières, vagues marines etc.) ainsi que les marées (basses et hautes).

L'avancement scientifique et technologique, ces dernières années, a permis la production d'électricité par des procédés alternatifs très compétitifs aux combustibles fossiles (pétrole, gaz, et charbon) qui ont tendance à s'épuiser en plus de leurs impacts négatifs sur l'environnement.

Avec l'épuisement progressif des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, houille, etc.), les énergies renouvelables (éolienne, hydraulique, géothermique, solaire, biomasse...) se développent de plus en plus. Elles ont le double avantage de fournir des flux inépuisables d'énergie naturelle (soleil, vent, eau, bois, etc.) et de ne pas, ou peu, nuire à l'environnement. Ce type d'énergie ne couvre encore que 20% de la consommation mondiale d'électricité. L'hydroélectricité existe depuis près d'un siècle et constitue environ 16 % de la production mondiale d'électricité et représente 92,5% de l'électricité issue des énergies (Tableau 1). [01]

**Tableau I.1** : Type d'énergie et taux de participation [01]

<i>Type d'énergie renouvelable</i>	<i>Taux de participation</i>
Biomasse	5,50 %
Géothermie	1,50 %
Éolien	0,50 %
Solaire	0,05 %



## I.2. Les Energies renouvelables

Les énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse) sont inépuisables à l'échelle de la vie de l'être humain. Ce sont des sources qui se renouvellent rapidement, sont naturelles, sont amies de la nature et proviennent presque toutes du soleil.

Une source d'énergie est renouvelable si sa consommation ne limite pas son utilisation future. En plus de leur caractère illimité, ces ressources sont peu ou pas polluantes car elles génèrent quelques polluants en bien moindre quantité par rapport à celles fossiles (Figure 1)



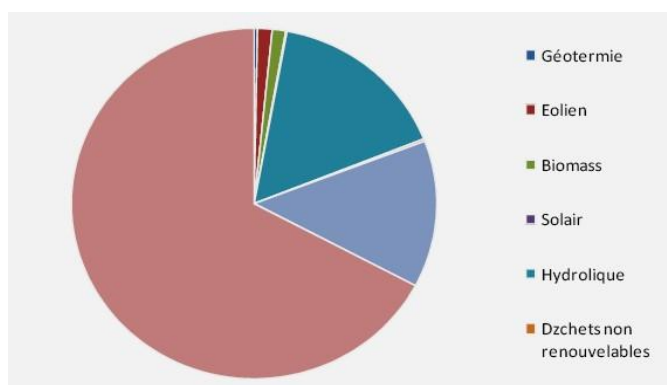
**Figure I.1** : les sources des énergies renouvelables.[1]

Les énergies renouvelables sont des sources à renouvellement rapide en se reconstituant sitôt épuisée.

Le choc pétrolier des années 70 a démontré les risques économiques et géopolitiques de la production d'énergie reposant sur l'exploitation des ressources fossiles, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles d'accès. C'est pourquoi les énergies renouvelables constituent une alternative aux énergies fossiles pour les raisons suivantes :

- Elles sont moins perturbatrices de l'environnement, n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets.
- Elles sont inépuisables.
- Elles permettent une production énergétique décentralisée, adaptée aux ressources et aux besoins locaux.
- Elles offrent l'indépendance énergétique.

A titre d'exemple, la production d'électricité renouvelable, en 2009, a atteint 3810,3 TWh. Cette quantité représente 19.1% de la production d'électricité mondiale. Pour les autres types d'énergie, la Figure 2 montre la part qui revient à chaque type de ressource.



**Figure I. 2:** Structure de la production d'électricité 2009. [02]

### **I.3. Les différents types d'énergies renouvelables.**

Elles sont nombreuses plusieurs et son énumérées ci-après :

#### **I.3.1. L'énergie solaire**

Cette énergie est transformée soit électricité, énergie photovoltaïque, soit en chaleur, photo thermique, à partir de panneaux ou de capteurs solaires.

Le soleil reste la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre. Elle existe en deux types.

##### **I.3.1.1. L'énergie solaire photovoltaïque**

C'est la conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des modules photovoltaïques (panneaux solaires) composés de cellules solaires (photopiles) pour réaliser cette transformation (Figure 3).

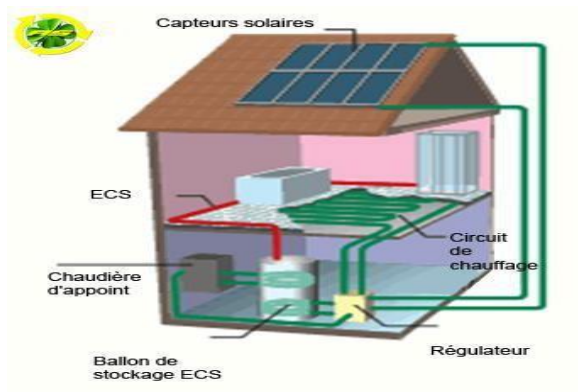


**Figure I.3 :** Module photovoltaïque

##### **I.3.1.2. L'énergie solaire thermique**

Elle est radicalement différente du solaire photovoltaïque, car elle produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge afin de chauffer de l'eau ou de l'air. On utilise dans ce cas des capteurs thermiques dotés d'échangeurs de chaleur.

Ces équipements sont connus pour être des "chauffes eau solaires" ou des "capteurs à air chaud" (Figure 4).



**Figure I.4 :** Chauffe-eau solaire

### I.3.1.3. L'énergie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique fonctionne sur le principe de la concentration des rayons solaires au moyen de miroirs galbés (Figure 5), en un foyer placé sur une tour qui emmagasine les calories pour les restituer ensuite sous forme mécanique à l'aide d'une turbine à vapeur par exemple.



**Figure I.5 :** Tour solaire

### I.3.2. L'énergie éolienne

C'est une énergie produite par le vent au moyen d'un dispositif comprenant un aérogénérateur ou un moulin à vent.



**Figure I. 6 :** Energie éolienne

### I.3.3 Energie hydraulique

Cette forme d'énergie utilise l'énergie de l'eau comme ressource pour la production de l'énergie mécanique susceptible de se transformer en énergie électrique.

Elle nécessite des cours d'eau pour produire l'électricité au moyen de turbo générateur ou des cascades (figure I.7)



**Figure I.7:** L'énergie hydraulique

### I.3.5.énergie marémotrice :

L'énergie marémotrice est l'énergie des vagues lors de la marée haute marée basse qui provoque un déplacement de la masse d'eau ce qui transforme cette énergie en électricité (figure I.8).



Figure I.8: Le principe de la marée motrice

### I.3.6. Géothermie :

Cette forme d'énergie consiste à extraire l'énergie contenue dans le centre de la terre (géothermie) ou contenue dans le sol. La plus grande partie de la chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre (figure I.9)

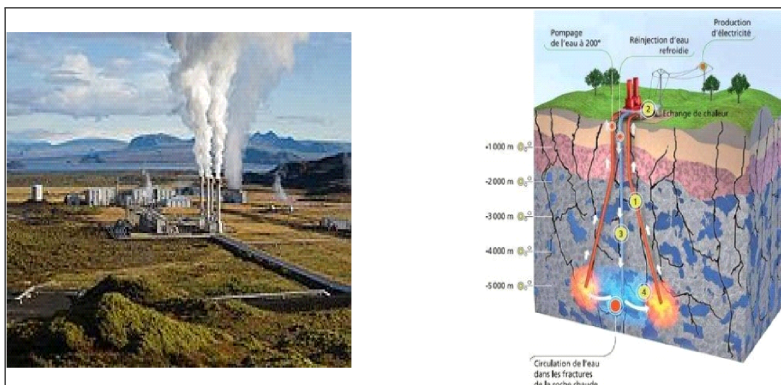


Figure I. 9: Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande.

### **I.3.7. Biogaz**

Le biogaz est un gaz naturel obtenu par fermentation anaérobie de matières organiques d'origine végétale ou animale (**Figure 10**). Il est constitué, essentiellement, de méthane, hydrocarbure à un atome de carbone ( $C_1$ ).

Lors de la combustion du biogaz en présence d'oxygène, l'énergie générée est aussi importante que celle de la combustion du méthane fossile, ce qui permet de l'utiliser comme combustible.

Le biogaz est produit par les déchets organiques, les déchets provenant de l'agriculture et ceux des décharges industrielles (boues des STEP etc).

### **I.3.8 .Biomasse**

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. Les matières organiques sont d'origines végétales (résidus alimentaires, bois, feuilles) et animales (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol etc.)

La biomasse est une autre forme d'énergie solaire stockée sous forme de masse organique grâce à la photosynthèse (Figure I.10). Elle est exploitée comme combustible (bois et autre biocarburants) et considérée comme renouvelable si on admet que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites.

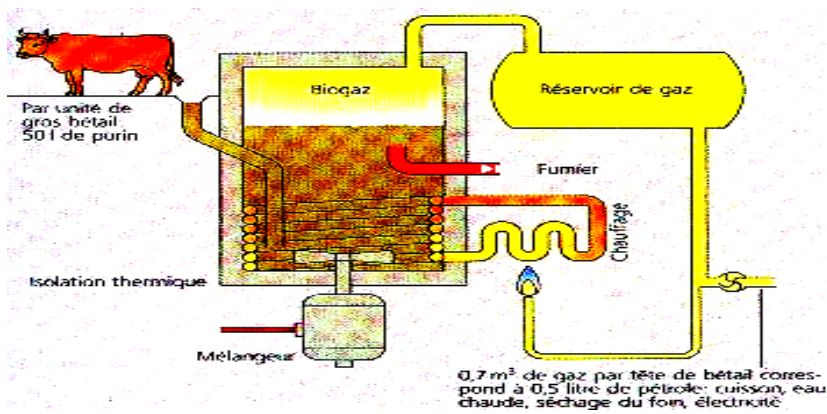


Figure I. 10: Principe opératoire d'obtention de biogaz

La biomasse est définie, comme toute forme d'énergie, par le potentiel de biomasse.

#### I.4. Potentiel de la Biomasse :

Le potentiel de la biomasse est l'aptitude de la matière organique à se transformer en plusieurs formes d'énergie ; chaleur, électricité, biogaz ou combustibles liquides. Cette énergie est stockable pour être utilisée.

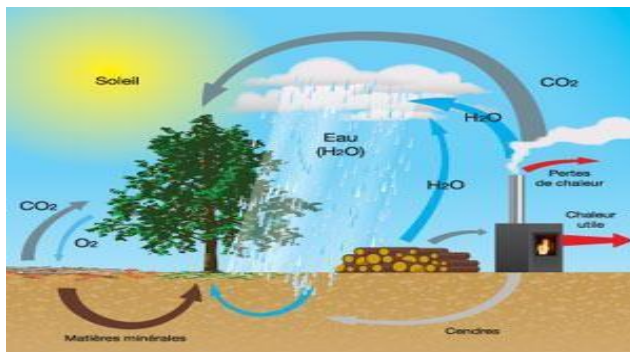


Figure I.11 : Cycle de biomasse et photosynthèse



Le potentiel biomasse c'est aussi de l'énergie, en provenance, principalement, des décharges ainsi que des boues d'épuration et des déchets urbains et agricoles

Il englobe :

- a) Potentiel de la forêt.
- b)** Potentiel énergétique des déchets urbains et agricoles.

Actuellement, cinq millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Cette quantité représente le potentiel des déchets urbains et agricole qui est équivalent à un gisement de l'ordre de 1,33 millions

## **Chapitre II**

### **La Fermentation Méthanique**

## **Chapitre II : La Fermentation Méthanique**

### **II.1. Introduction :**

Le terme de bio désigne une action naturelle sans intervention de l'homme. Dans le contexte de l'énergie renouvelable, la biodégradation c'est dégradation naturelle, par fermentation, des produits d'origine organique, des déchets et résidus de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre, de la mer et des industries connexes (agroalimentaires).

Pour simplifier la compréhension de la fermentation, quelques définitions sont citées ci-après :

### **II.2. Biomasse**

Ensemble de matières organiques pouvant se transformer en énergie. La matière organique désigne aussi les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) et animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol).

Il existe trois formes de biomasse dont les caractéristiques physiques sont très variées :

Les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;

Les liquides (ex : huiles végétales, bioalcools) ;

Les gaz (ex : biogaz).

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique et sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant.

### **II.3. Biogaz :**

Le biogaz est du gaz naturel obtenu par fermentation anaérobie des matières organiques d'origine végétale ou animale. Cette fermentation et une dégradation des substances organiques qui se déroule en plusieurs étapes sous l'action de bactéries. Le biogaz est un mélange gazeux riche en méthane. Sa composition chimique est présentée au Tableau 2

**Tableau II.1** : Composition chimique du biogaz [16]

Eléments	Pourcentage (%)	
	Limite inférieure	Limite supérieur
CH <sub>4</sub>	50	70
CO <sub>2</sub>	25	30
H <sub>2</sub> S	0,5	5
N <sub>2</sub>	0,5	3
H <sub>2</sub>	0,1	1
CO	< 0,1	
Organo-halogénés (chlore, fluor)	Traces	

### II.3.1. Sources du biogaz :

Les ressources les plus importante pouvant servir de matière première pour la production de biogaz sont issues de trois secteurs principaux

L'agriculture : résidus de récolte, effluents d'élevage (fumier, fiente etc ).

Les collectes (urbaines) : ordures ménagères, déchets verts, boues de STEP etc.

L'industrie Agroalimentaire : déchets de procédés de transformation, résidus d'élevage, eaux de lavage industriel etc.

### II.4. Mécanisme de production du biogaz :

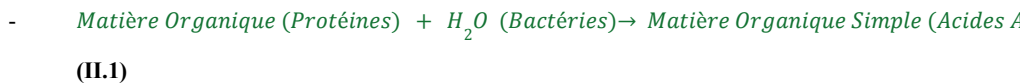
La production du biogaz, en décharge, se passe selon un processus chimique complexe composé de plusieurs étapes. C'est la méthanisation

#### II.4.1. Processus chimique de formation du biogaz : la méthanisation.

La production du biogaz est un phénomène naturel. Il provient de la fermentation anaérobie de la matière organique et se déroule en 4 étapes : hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse et la méthanogénèse.

Chacune de ces étapes fait intervenir un nombre important de transformations biologiques ou biochimiques due à des microorganismes, acteurs de ces transformations. Ces transformations se passent en quatre phases :

- **Phase 1** : fermentation aérobique. Cette phase se déroule selon :



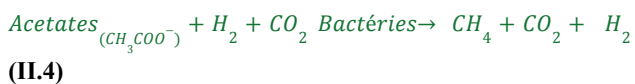
- **Phase 2** : Fermentation acido-aérobie : la réaction de cette phase est symbolisée par



- **Phase 3** : Méthanisation instable anaérobie. La méthanisation est schématisée ci-après



- **Phase 4** : Méthanisation stable anaérobie. La méthanisation finale est schématisée ci-après



Ces phases sont représentées sur la Figure 12.

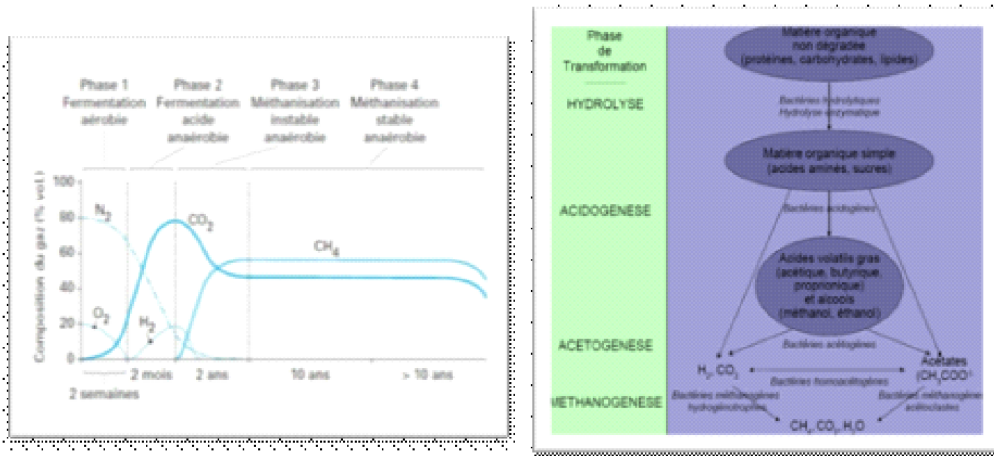


Figure II.1 : Mécanisme de production du biogaz

#### II.4.2. Evolution de la composition gazeuse d'une décharge :

La production du biogaz, dans une décharge, atteint un maximum puis décroît et dure un certain temps. Dès que la production devient très faible, l'air pénètre à nouveau dans le "réacteur" pour produire du gaz carbonique avec le reste de matériaux biodégradables en fermentations.

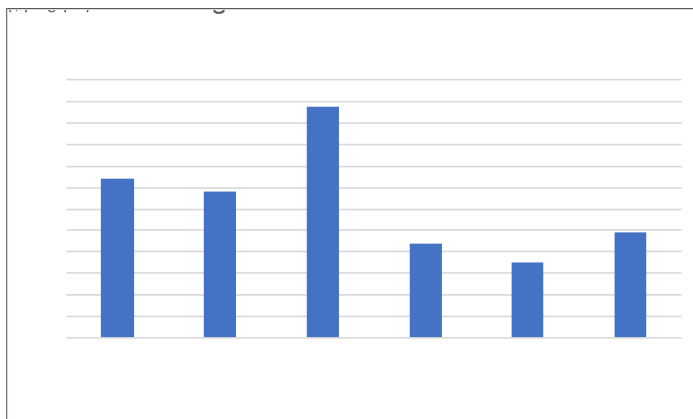
#### II.4.3. Volume de biogaz selon le type de biomasse.

Le potentiel méthanogène, la quantité de biogaz obtenue après fermentation et sa composition sont fonction de la qualité, de la nature et du type de déchet mis en fermentation. Les tableaux et graphes suivants montrent cette dépendance sous forme de rendement.

Tableau 3 : Potentiel biogaz en fonction de la nature déchet et Tableau 4 : Rendement de gaz produit par tonne de biomasse [17]

**Tableau II.2 : Potentiel biogaz en fonction de la nature déchet**

<i>Déchets</i>	<i>Potentiel Méthanogène m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg MV</i>	<i>Référence</i>
Papier bureau	0,37	Owens et Chynoweth, 1993
Carton	0,34	Owens et Chynoweth, 1993
Déchets de cuisine	0,54	Chynoweth et coll., 1993
Ordures ménagères brutes	0,2 – 0,24	Chynoweth et coll., 1993
Ordures ménagères résiduelles	0,15 – 0,2	Buffière et coll., 2007
Bio-déchets (tri mécanique)	0,23 – 0,26	Macé et coll., 2003

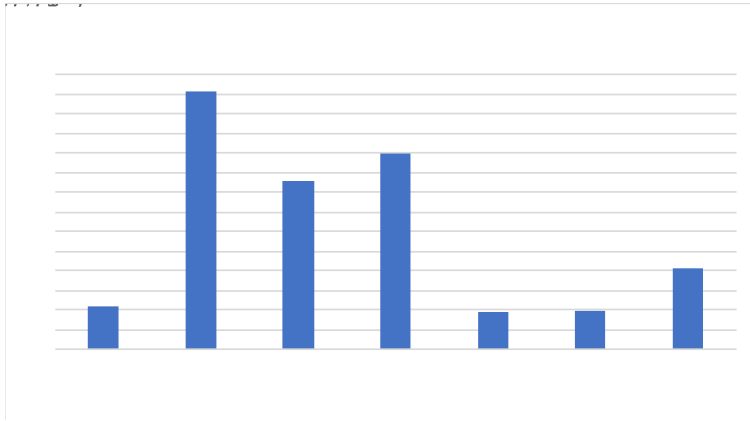


**Figure II.2 : Potentiel biogaz en fonction de la nature déchet**

**Tableau II.3** : Rendement de gaz produit par tonne de biomasse [17]

Culture	Rendement		
	Brut (tonne/hectare)	Gaz (m <sup>3</sup> /tonne)	Gaz (m <sup>3</sup> /hectare)
Pommes de terre	45	110	4 950
Grain de blé	8	660	5 280
Epis de maïs	15	430	6 450
Blé, plante entière	13	500	6 500
Herbe	80	95	7 600
Betterave fourragère	100	100	10 000
Ensilage de maïs	50	205	10 250





**Figure II.3 :** Rendement de gaz produit par tonne de biomasse

**Tableau II. 4 :** Composition du biogaz selon les sources de biomasse [18]

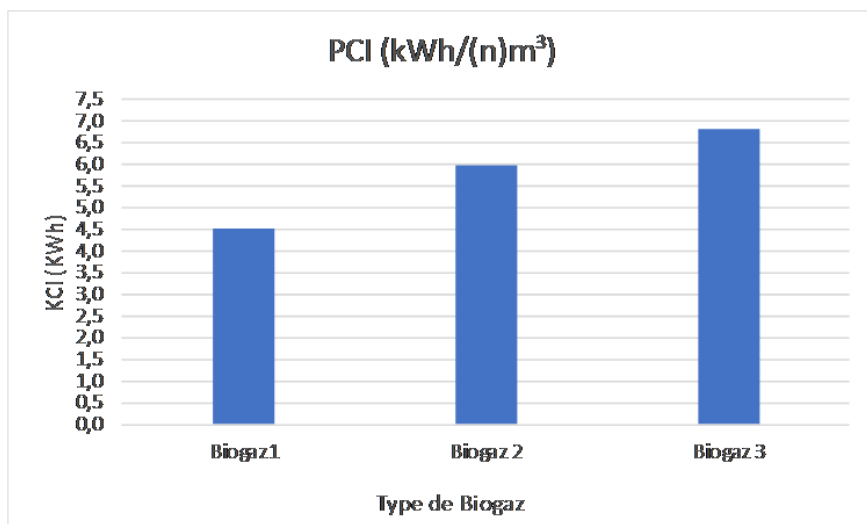
Composition	Biogaz1	Biogaz 2	Biogaz 3
$CH_4$	45%	60%	68%
$CO_2$	32%	33%	26%
$N_2$	17%	1%	01%
$O_2$	02%	0%	0%
$H_2O$	4%	6%	05%
$H_2S_5$	20 mg/m3	100-900 mg/m3	400 mg/m3
AROMATIQUES	1mg/m3	0-200 mg/m3	0
Organo- Halogénés	0-100 mg/m3	100-800 mg/m3	0
PCI (kWh/(n)m <sup>3</sup> )	4,5	6,0	6,8

La fermentation spontanée au sein d'une décharge équipée d'une aspiration du

biogaz (Biogaz 1),

Une installation de méthanisation d'ordures ménagères brutes, (Biogaz 2).

Une installation de méthanisation d'effluents industriels, (Biogaz 3).



**Figure II.4 :** Composition du biogaz selon les sources de biomasse

**Remarque :** Comme le tableau le montre, ce biogaz est du méthane impur qui est dans le même état de pureté que le gaz naturel non traité extrait des gisements. Ce dernier doit être traité avant d'être injecté dans les gazoducs.

## **II.5. Intérêts du biogaz des décharges**

Le biogaz des décharges est naturel et ne demande aucune installation ni conditions particulières pour se former. C'est aussi une ressource énergétique non négligeable qui présente certains avantages. Parmi eux :

### **II.5.1. Impacts environnementaux.**

L'impact sur l'environnement se résume en :

Difficulté de la gestion de la sûreté du site d'enfouissement.

Le méthane, est un gaz à effet de serre très important, son effet thermique est 13 à 21 fois plus élevé que celui du dioxyde de carbone. Pour une même quantité, le méthane contribuera 13 à 21 fois plus à l'effet de serre que le CO<sub>2</sub>.

Le méthane, gaz hautement explosif sous conditions, est responsable d'explosions et d'incendies dans les décharges.

Pour la sécurité publique, la possibilité que le biogaz de décharge se déplace vers les zones avoisinantes est le risque le plus important. Sa densité est de 0,55.

Le CO<sub>2</sub>, second composé du biogaz, entraîne un risque d'asphyxie (d= 1,52).

Le CO<sub>2</sub>, étant plus dense que l'air, s'accumule dans les parties basses des milieux clos. Dans ces conditions, des concentrations en CO<sub>2</sub> de 1,5% en volume peuvent affecter la respiration humaine et être létales.

## II.6. Capacité énergétique

Du fait de sa forte concentration en méthane, le biogaz est un bon fournisseur d'énergie :

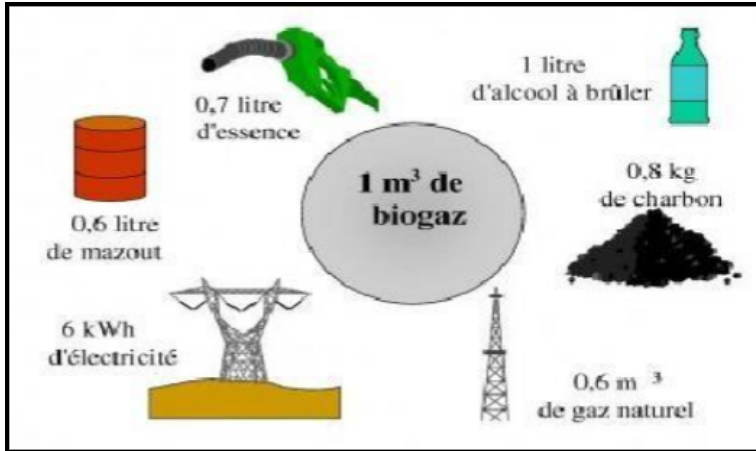
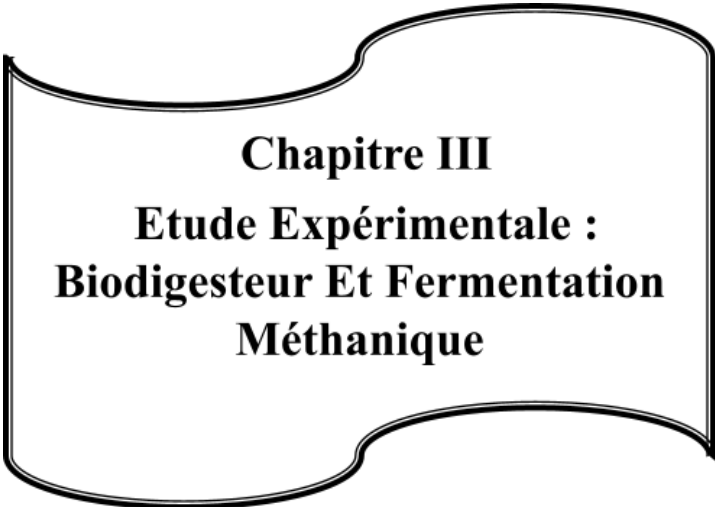


Figure II 5 : Energie produite par 1m³ de biogaz. [19]



**Chapitre III**  
**Etude Expérimentale :**  
**Biodigesteur Et Fermentation**  
**Méthanique**

## Chapitre3 : Étude expérimentale du Biodigesteur et fermentation méthanique

### III.1.Introduction :

Le biogaz est ~~est~~ un mélange de gaz produit par dégradation ~~anaérobicaérobie~~ de la matière organique. Il est mis en combustion pour produire pour générer de la chaleur et de l'électricité. La combustion est la manière la plus simple de convertir le biogaz en énergie. Lorsqu'elle produit simultanément de la chaleur et de l'électricité, elle est appelée cogénération.

La cogénération permet d'économiser entre 15 et 20 % d'énergie par rapport à la production séparée de ces mêmes quantités de chaleur et d'électricité. Cette technologie permet d'éliminer une forme de pollution et de répondre aux besoins des applications industrielles, l'électrification rurale, le chauffage urbain et la production d'électricité à grande échelle.[24]

Ce chapitre traite le côté pratique de la méthanisation. On y propose de fabriquer du biogaz à l'échelle du laboratoire avec réalisation d'un biodigesteur. Malheureusement, quelques difficultés, du type ~~sécuritaire,sécuritaires~~, ont été rencontrées, ont rendu la production du ~~biométhane~~ impossible, pour le moment, à cause de l'absence de dispositif anti incendies et anti explosions pour prévenir contre ce genre de risques. Pour ces raisons il ne nous était pas possible de produire du biogaz dans les laboratoires de la FST encore moins chez nous.

Pour les besoins du projet nous nous sommes proposés décrire les étapes qui allaient nous conduire à la production de biogaz.

### III.2. Principe

La méthanisation est un procédé microbiologique de transformation et de décomposition des matières organiques en méthane (biogaz) en milieu anaérobique sous

l'action des micro-organismes (bactéries). Elle se déroule en plusieurs phases, avec des bactéries adaptées à chaque phase selon le schéma de la Figure 17

Les bactéries méthanogènes produisent du  $CH_4$  pendant la dernière étape du processus, selon les réactions suivantes :



Le biogaz produit a la composition moyenne suivante (16) :

- $CH_4$  (50 – 70%)
- $CO_2$  (50 – 30%)
- $H_2S$  (traces)

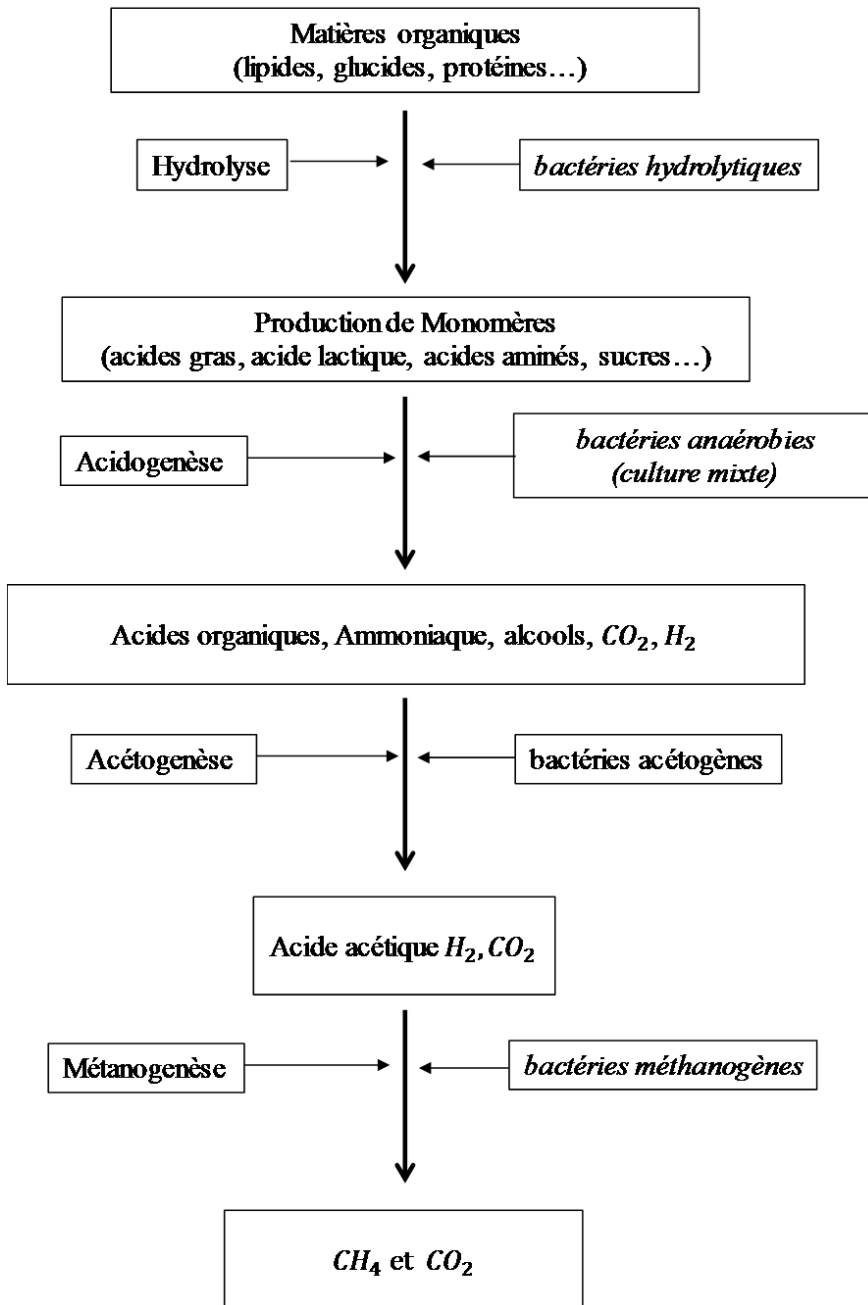


Figure III.1 : Méthanisation de matières organiques



Pour la production du biométhane, objet du présent travail, certains paramètres opératoires ont été définis. Parmi eux la pression et le rapport rapport entre le carbone et l'Azote C/N.

### III.3. Rapport entre le carbone et l'Azote ( C/N)

Pour la biodigestion, 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. Idéalement ce rapport est de 25. Une augmentation de l'apport en azote peut mener à la production d'ammoniac, ce qui peut nuire aux microorganismes et inactiver la méthanisation.

**Tableau III.1:** Ratio C/N moyen

<i>Biomasse</i>	<i>Rapport C/N</i>
Excréments humains	8
Excréments porcins	18
Excréments ovins	19
Excréments bovins	24

### III.4. Le Degré d'humidité

Des études montrent que des taux d'humidité supérieurs à 60 % augmentent la production de gaz, qui atteint un maximum environnant 80 %. Au-delà de ce taux, la production se stabilise dans le plateau supérieur. Ce principe est utilisé dans quelques lieux d'enfouissement par la recirculation du lixiviat pour accélérer la méthanisation des matières putrescibles et augmenter la production de biogaz.

### **III.5. Température**

Le chauffage dans un four à 165°C facilite la putréfaction de la biomasse en cassant la matrice organique pour réaliser une hydrolyse thermique.

### **III.6. Potentiel hydrogène (pH)**

Le pH basique est utilisé pour la saponification des matériaux ligno cellulosiques. Des études montrent qu'un traitement avec le NaOH à 20 °C augmente de 35 % la conversion de la matière organique des déchets ménagers en acides volatils. De plus, l'utilisation de cette base à 175 °C pendant une heure accroît de 310 % la production de méthane à partir d'un digestat déjà traité par méthanisation [22]

### **III.7. Le Broyage**

Le broyage est utilisé sur les substrats n'ayant pas une forte biodégradabilité. Ainsi, la diminution de la taille des particules augmente la superficie disponible pour les réactions, ce qui rend la méthanisation plus efficace[ 22]

### **III.8. L'Oxygénation :**

L'utilisation de l'oxygène (O<sub>2</sub>) en pression et température élevées sert à oxyder la matière organique ce qui augmente le taux de production de méthane. Cette élévation est plus accentuée pour les déchets verts, riches en lignine et donc peu biodégradables, et pour le digestat déjà digéré soumis à une nouvelle méthanisation.

Certains paramètres inhibent la méthanisation. Parmi eux :

Ammoniac (NH<sub>3</sub>) : l'ammoniac en concentrations au-delà de quelques grammes par litre peut inhiber la phase méthanogène de la digestion anaérobie. La présence d'ammoniac peut être causé par un apport élevé de matières riches en protéines, comme les restes d'élevage et les déchets agroalimentaires

Le H<sub>2</sub>S : son augmentation est causée par des substrats riches en protéines soufrées et en sulfates. Il est également toxique pour les microorganismes méthanogènes, en plus d'être corrosif pour les matériaux. La précipitation de certains cations avec les sulfures dissouts peut causer une carence d'éléments essentiels tels le nickel et le

cobalt.

Substances toxiques : les hydrocarbures aliphatiques chlorés et les acides gras à longue chaîne sont les substances organiques les plus toxiques pour la digestion anaérobie. Pour les éléments inorganiques, les plus toxiques sont les cations comme le sodium ( $Na^+$ ), le potassium ( $K^+$ ) et les métaux lourds comme le cuivre, le nickel, le zinc et le plomb, en plus du  $NH_3$  et du  $H_2S$ . [23]

### III.9. Charge du bioréacteur et Matières premières :

La biomasse utilisée pour la méthanisation est un mélange de déchets constitué de :

Les sous-produits de l'élevage d'animaux :

Il s'agit de fumiers de vaches et de volaille (fiente) récupérés d'écuries et d'étables de quelques fermes dans le périmètre de Mostaganem. Cette masse est mélangée avec des eaux de lavage de boucherie et d'abattoirs.

Les déchets végétaux.

Ce sont des épiluchures de fruits et légumes de saison, de fruits et légumes en putréfaction et de quelques espèces d'herbes sélectionnées.

### III.10. Réacteur (biodigesteur).

Il est réalisé à partir d'un fût en plastique d'une contenance de 20 litres avec couvercle. Il est doté de bras pour le brassage, un manomètre de pression et d'un thermomètre. Un échangeur de chaleur a été incorporé pour le chauffage.

La biomasse y séjourne pendant une vingtaine de jours. Elle est régulièrement brassée manuellement par la force des bras pour limiter les effets de décantation et la formation de croûte en surface.

Le chauffage de la biomasse est réalisé par l'échangeur de chaleur formé par un tube en cuivre en serpentín. Le dispositif est présenté à la Figure 18.