



Université SAAD DAHLEB de Blida  
Faculté de technologie  
Département des énergies renouvelables



# Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

## Master

Option: Conversion Thermique

Thème :

# Réalisation d'un digesteur pour la production du biogaz.

Par :

**Melle BENAROUR SARA.**

Soutenu le 29/09/2016 devant le jury composé de :

A.BADIS	Pr	Président.
A.HAMID	Pr	Examineur.
N.TAOULIT	MAA	Examineur.
B.CHEKNANE	MCA	Promoteur.

2015/2016

ملخص :

الغرض من هذا العمل هو تصميم هاضم حيوي بسعة 12 لترا دفعة واحدة. هذا الهاضم يعمل بالطاقة عن طريق النفايات العضوية في المناطق الحضرية لولاية البليدة ( الحرم الجامعي بن بولعيد (1) ). النتائج المختلفة المرتبطة بإنتاج الميثان الحيوي تظهر بوضوح أن كمية و نوعية الغاز الحيوي المنتج يتأثر بشكل كبير من قبل : كتلة النفايات , درجة الحموضة , درجة الحرارة. سمحت دراسة علمية من الاستفادة من ظروف إنتاج الميثان الحيوي لنا بتحديد ظروف الإنتاج المثلى هي التالية : درجة الحموضة =6,24 , درجة الحرارة =31,3 درجة مئوية. إضافة روث البقر يحسن الغاز الحيوي المنتج.

### **Résumé :**

Le but du présent travail est la conception d'un bio digesteur d'une capacité de 12 L en mode discontinu. Ce digesteur est alimenté par un déchet organique urbain de la ville de blida (Cité Universitaire de Ben-Boulaide (1)). Les différents résultats liés à la production du bio méthane montrent clairement que la quantité aussi que la qualité du biogaz produit est fortement influencé par, la masse de déchet, le pH, la température. L'étude d'optimisation des conditions de production du bio méthane nous a permis de déterminer les conditions optimales de production qui sont les suivantes : pH= 6,24, T=31, 3C°. L'ajout de la bouse de vache améliore le rendement de production du biogaz.

### **Abstract :**

The purpose of this work is to design a bio digester with a capacity of 12 L batch. This digester its powered by an urban organic waste blida the area (University Campus of Ben-Boulaide (1)). The different results linked to the production of bio methane clearly show that the quantity as the quality of the biogas produced is heavily influenced by the mass of waste, pH, temperature. An optimization study of the operation of bio methane production conditions allowed us to determine the optimal production conditions are the following: pH = 6.24 , T = 31, 3 C °. The addition of cow dung improves the biogas production yield.

## ***Dédicaces***

*C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde, à savoir mes chers parents pour leurs amour, leur soutien et leur patience et que sans eux je n'aurai jamais pu atteindre mon objectif,*

*que*

*Dieu me les garde.*

*Je le dédie également à :*

*Mes frères: Elyes, Mehdi, Haroun Elrachid,*

*Badr Aldine.*

*Mes amies: Nadia, Mehdi, Asma, Nadia, Nedjat, Djahida ,Khadidja.*

*Toute la famille **Benarour** .*

*Enfin je dédie ce modeste travail à tous les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail et à tous ceux qui me connaissent.*

***Sarah.***

## **Remerciements**

*En achevant ce modeste travail, nous remercions Allah qui nous a permis d'arriver à ce jour, et nous tenons à présenter nos remerciements et notre profonde reconnaissance à notre promoteur Mr. Cheknane qui nous a guidés tout au long de ce travail.*

*Nous remercions également, l'ensemble des enseignants de département des Energies Renouvelables qui ont contribué à notre formation, auxquels nous exprimons notre plus grand respect et profonde reconnaissance.*

*Nous remercions également tous les membres du jury pour l'honneur qu'il nous feront en jugeant notre travail.*

*Nous terminons à remercier les personnes qui ont participés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

## Sommaire :

### Liste des figures .

### Liste des tableaux.

### Introduction générale .

<b>Chapitre I : Bibliographique</b> .....	1
I.1.Introduction .....	1
I.2.La biomasse .....	1
I.3.Les ressources de la biomasse .....	2
I.4.Procédés de conversion de la biomasse.....	2
I.4.1.Processus thermochimique.....	2
I.4.2.Processus biochimique.....	3
I.5 .Définition de la méthanisation .....	3
I.6.Historique de la méthanisation .....	4
I.7.Les différentes étapes de la méthanisation .....	5
I.7.1.L'hydrolyse .....	5
I.7.2.L'acidogénèse.....	5
I.7.3.Lacétogénèse.....	6
I.7.4.La méthanogénèse .....	6
I.8.Le biogaz .....	6
I.9.Les paramètres influencent sur la production du biogaz .....	7
I.9.1.La température .....	7
I.9.2.Le pH .....	8
I.9.3.L'absence de l'oxygène.....	8
I.9.4.Le rapport C/N.....	8
I.9.5.Le brassage .....	8
I.9.6.La pression partielle en hydrogène .....	9
I.9.7.L'humidité .....	9
I.10.Le digesteur .....	9
I.11.Les différentes formes des digesteurs .....	10
I.12.Les différents types de digesteur .....	11
I.12.1.Le mode d'alimentation .....	11
I.12.1.1.Le digesteur batch ou discontinu .....	11
I.12.1.2.Le digesteur continu .....	12

I.12.1.3.Le digesteur semi continu .....	12
I.12.2.Classification selon le type de substrat .....	12
I.12.2.1.Solide .....	12
I.12.2.2.Semi solide au pâteux .....	12
I.12.2.3.Liquide .....	13
I.12.3.Classification selon le nombre d'étapes.....	14
I.12.3.1.Le procédé en mono-étape .....	14
I.12.3.2.Le procédé en bi-étape .....	14
I.13.Le substrat .....	14
I.13.1.Les déchets d'élevages.....	15
I.13.2.Les eaux usées urbaines .....	15
I.13.3.Les déchets des industries agro-alimentaires et de type à papier.....	15
I.13.4.Les déchets ménagers .....	16
I.14.Quelques digesteur réalisé en Algérie .....	16
<b>Chapitre II :Etude expérimentale.....</b>	<b>18</b>
II.1.Description du digesteur réalisé et dispositif utilisé .....	18
II.2.Les étapes de réalisation .....	18
II.3.Les éléments de digesteur .....	22
II.3.1.L'agitateur .....	22
II.3.2.Le pH mètre .....	22
II.3.3.Plaque chauffante .....	23
II.3.4.L'installation complète de digesteur .....	23
II.4.Origine et caractérisation du substrat utilisé .....	24
II.5.Prétraitement du substrat .....	25
II.6.Conditions opératoires .....	25
II.7.Séchage du substrat (la matière sèche) .....	25
II.8.Production de biogaz .....	26
II.8.1.Première expérience .....	26
II.8.2.Deuxième expérience .....	28
II.9.Les paramètres suivis .....	29
II.10.Les paramètres du fonctionnement .....	29
II.10.1.Le pH .....	29
II.10.2.La température .....	30
II.10.3.La composition du biogaz produit .....	30

<b>Chapitre III :Résultats et discussions</b> .....	31
III.1.Production du biogaz .....	32
III.1.1.Effet de température .....	32-33
III.1.2.Effet de pH .....	33
III.2.Caractérisation du biogaz produit .....	35
III.3.Caractérisation du substrat .....	36
III.4.Application de digesteur pour chauffé une maison .....	37
<b>Conclusion générale .</b>	
<b>Références bibliographiques .</b>	

## Liste des figures :

### Chapitre I :

Figure I.1 : Schéma des ressources de la biomasse .....	2
Figure I.2 : Schéma des procédés de conversion de la biomasse .....	3
Figure I.3 : Une vue générale d'un type de digesteur chinois produisant du biogaz pour faire cuire et s'allumer .....	4
Figure I.4 : Schéma des étapes de la méthanisation .....	5
Figure I.5 : Schéma montre la nature de biogaz .....	6
Figure I.6 : Schéma d'un digesteur retenu (ARER.2003) .....	9
Figure I.7 : Schéma pour les différentes formes des digesteurs .....	10
Figure I.8 : Photo d'un digesteur cylindrique en biton .....	10
Figure I.9 : Photo d'un digesteur ovoïde construit en inox .....	11
Figure I.10 : Schéma de principe d'un digesteur alimenté en discontinu .....	12
Figure I.11 : Schéma de principe d'un digesteur alimenté en continu .....	12
Figure I.12 : Photo d'un digesteur voie pâteuse.....	13
Figure I.13 : Photo d'un digesteur alimenté en continu avec une teneur en MS<5%.....	13
Figure I.14 : Schéma d'un dispositif réalisé par I. Tou, al(2001).....	16
Figure I.15 : Photo d'un digesteur réalisé par S.Igoud,al(2002).....	17
Figure I.16 : Schéma d'un digesteur alimenté par un chauffe-eau solaire réalisé par A.Yttou,al(2007).....	17

### Chapitre II :

Figure II.1 : Photo de la cuve découpe de l'extérieur .....	18
Figure II.2 : Photo de la cuve découpe à l'intérieure .....	19
Figure II.3 : Photo de la cuve teinter de l'extérieur .....	19
Figure II.4 : Photo de la cuve teinter à l'intérieure .....	19
Figure II.5 : Photo pendant le soudage des joints .....	20
Figure II.6 : Photo des joints et les boulons lier a la cuve .....	20
Figure II.7 : Photo des trois trous munis a la cuve .....	21
Figure II.8 : Photo de la cuve isolé .....	21
Figure II.9 : Photo de digesteur réalisé vide .....	22
Figure II.10 : Photo de l'agitateur mécanique .....	22
Figure II.11:Photo des pH mètre utilisé .....	23
Figure II.12:Photo de la place chauffante utilisée .....	23

Figure II.13:Photo de l'installation complète de digesteur .....	24
Figure II.14 : Photo de substrat utilisé .....	24
Figure II.15 : Photo de substrat après découpage et séchage .....	25
Figure II.16 : Photo de l'étuve utilisée .....	26
Figure II.17 : Photo de la balance utilisée .....	26
Figure II.18 : Photo des éprouvettes utilisées .....	27
Figure II.19 : Photo de substrat +l'eau avant la fermentation .....	27
Figure II.20 : Photo de substrat après la fermentation .....	27
Figure II.21 : Photo de la bouse de vache séché.....	28
Figure II.22 : Photo de la solution avant la fermentation (2) .....	28
Figure II.23 : Photo de la solution après fermentation .....	28
Figure II.24:Photo d'un échantillon de la solution prête pour mesuré le pH.....	30
Figure II.25 : Photo pour la température mesurée .....	30
Figure II.26 : Photo de la seringue utilisé pour récupéré le biogaz .....	31
Figure II.27 : Photo de l'appareille de (C .P.G).....	31

### **Chapitre III :**

Figure III.1 : Variation de la température en fonction de temps .....	32-33
Figure III.2 : Variation de pH en fonction de temps .....	34
Figure III.3:L'analyse de biogaz avec (C.P.G).....	35-36
Figure III.4 : Photos de changement de substrat pendant la fermentation .....	36-37
Figure III.5 :Plan de la maison construit.....	38
Figure III.6 :Calcule des besoin avec le logiciel Pliedes .....	39

**Liste des tableaux :**

**Chapitre I :**

Tableau I.1 :composition du biogaz .....7

**Chapitre III :**

Tableau III.1 :Les besoin en chauffage .....40

*Introduction*

*générale*

## Introduction générale

La crise énergétique et ses conséquences sur l'économie mondiale révèle l'extrême dépendance des pays développés ou en voie de développement vis-à-vis des énergies fossiles. Cette nouvelle conjoncture suppose la mise au point ou le développement de procédés susceptibles de constituer de nouvelles sources d'énergie. [1]

L'utilisation de la biomasse apparaît comme une solution satisfaisante. En effet des déchets organique biologiques telles que les déchet ménagers ou animale, peuvent produire avantageusement de l'énergie. Il représentent actuellement une source d'énergie renouvelable peu couteuse ; mais le principe difficulté réside dans le transformation de la biomasse d'une manière rentable.

Divers moyens sont appliqués dans ce but ; ainsi la valorisation de la biomasse et sa transformation en énergie peut être assurée par divers processus comme la combustion , la pyrolyse ou par des procédés plus complexes , faisant intervenir des microorganismes conduisant à la production de gaz par fermentation anaérobie .

La fermentation anaérobie ,aussi appelé la méthanisation est un processus biologique de dégradation de la matière organique par une flore microbienne qui se déclenche en absence d'air . Différents micro-organismes transforment les substrat organiques complexes en molécules simples (monomères , acides , alcools ...), puis en biogaz , composé majoritairement de méthane et de dioxyde de carbone .

La fermentation anaérobie des matières organiques dans un récipient fermé à col étroit permet la production d'une quantité de gaz suffisante pour servir de combustible . Le lisier fermenté constitue un engrais de bonne qualité car lors de la fermentation les bactéries triplent la quantité d'azote . [6]

Pour optimiser la vitesse de dégradation de la matière organique , la méthanisation est conduite sans apport d'air dans des enceintes confinées appelées **digesteurs** . Les paramètres de la digestion sont ainsi maîtrisés .[2]

Le biogaz issu de méthanisation est un mélange inflammable composé principalement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) . Ce biogaz est une source d'énergie renouvelable dans la mesure où il est issu de matières organiques d'origine végétale ou animale ; dont les cycles de renouvellement sont courts . La méthanisation s'avère être un outil efficace de réduction des pollutions organiques et de production d'énergie .Les premières tentatives de production de biogaz en digesteur remontent aux années 1930 avec des procédés

rustiques mais fiables : digesteur batch , fosse méthanisation ... Ces procédés sont largement utilisés dans des pays en recherche de substitut énergétiques aux bois de combustion . Dans les années 1970 , suite aux deux crises énergétique pétrolières , de nombreuses études poussées sur cette technologie ont permis le développement de nombreuses unités . Au niveau industriel et agricole , dépolluer tout en produisant une énergie utilisable a été et reste séduisant. Le succès des bioréacteurs anaérobies d'épuration s'explique par le nombreux avantages par rapport aux procédés de traitement plus conventionnels : faible production des boues , faible coût d'investissement et de maintenance , espace d'installation minimum , production de biogaz valorisable et grande adaptabilité aux effluents chargés en pollution organique.[3]

Le digesteur, encore appelé fermenteur ou bioréacteur-anaérobie, est généralement constitué d'une cuve fermée, étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans laquelle les microorganismes se côtoient pour dégrader chimiquement et biologiquement les effluents organiques et produire du biogaz. Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application visée. On peut également classer les digesteurs selon le mode d'alimentation: batch, semi continu ou continu.[4 ;5]

L'objectif de notre étude est la conception d'un digesteur du type discontinu à l'échelle laboratoire d'une capacité de 12L pour la production du biogaz alimenté par des déchets organiques. Pour mener à bien notre travail, ce mémoire sera organisé de la manière suivante :

- Une partie bibliographique relative à la biométhanisation et les digesteurs.....
- Une deuxième partie expérimentale consacrée à la réalisation et la conception du digesteur. Cette conception est suivie par un bilan thermique ;

Et à la fin on clôturera par une conclusion générale .

# *Chapitre I :*

*Bibliographique*

# Chapitre I

## I.1. Introduction :

La présence des déchets solides organiques biodégradables tel que les déchets ménagers , augmentent d'une manière exponentielle qui devient de plus en plus difficile à gérer par les méthodes classiques tel que la mise en décharge ou l'incinération .Ceci a poussé les chercheurs à considérer un processus de traitement qui peut réduire les volumes de boues et de déchets ,et en même temps génère un sous produit valorisables tel que **le biogaz** (une digestion anaérobie).

La digestion anaérobie ou méthanisation des boues ou des déchets, est la plus intéressante parmi les différentes techniques des stabilisations. Cette filière de traitement accompagnée d'une valorisation agricole, la moins agressive vis-à-vis de l'environnement.

La méthanisation est la dégradation partielle de la matière organique en l'absence d'oxygène sous l'action combinée de plusieurs types de micro-organismes. Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de **biogaz** (composé majoritairement de méthane, de CO<sub>2</sub> avec des traces de l'hydrogène et de H<sub>2</sub>S) et d'un digestat .Cette réaction a lieu dans **un digesteur** fermé confiné, ce qui empêche tout contact du gaz produit avec l'air extérieur. La matière première utilisée pour la méthanisation est la matière organique .Elle se retrouve dans :

- Les boues d'épuration d'eaux urbaines.
- Les déchets d'industrie agro-alimentaires fruits et légumes.
- Les déjections animales.
- Les résidus agricoles et les déchets verts.

La digestion anaérobie est donc un microbiologique naturel qui peut être décomposé en 4 étapes, dans chacune de ces étapes, une catégorie bien précise de bactéries entre en jeu.

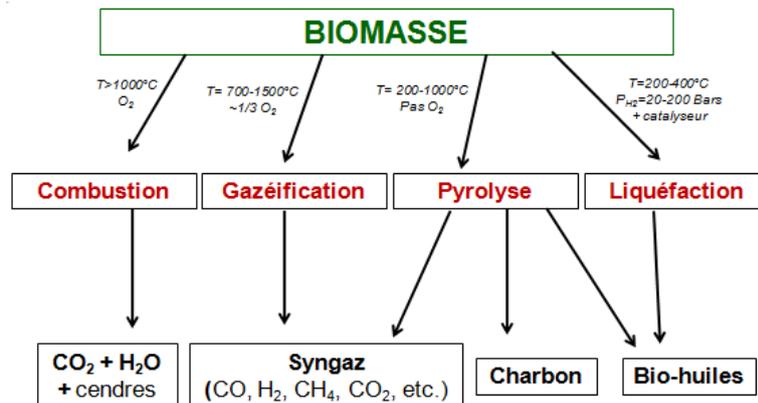
## I.2.La biomasse :

L'énergie issue de la biomasse est une source d'énergie renouvelable qui dépend du cycle de la matière vivante végétale et animale. L'énergie biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisé par l'homme depuis la découverte du feu à la préhistoire. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasses [7].

La biomasse contribue environ 14% de l'approvisionnement en énergie primaire dans le monde après le pétrole et le gaz naturel.[5]

### I.3. Les ressources de la biomasse :

Les ressources de la biomasse sont variées la première ressource utilisée est le bois et ses déchets 64%, les déchets sont la deuxième source de bioénergie, ces déchets regroupent les déchets ménagers, les déchets urbains et industriels, déchets d'agriculture, ainsi que les déjections animales. De leur part D.P Chiniweth et A.Belkadi ont montré que la biomasse marine est aussi considérée comme une source potentielle d'énergie [5].



**Figure I.1** : Schéma des ressources de la biomasse.

### I.4. Procédés de conversion de la biomasse :

Il existe deux processus pour la conversion de la biomasse en produits énergétiques sous forme liquide, gaz ou solide qui sont :

\*Processus thermochimiques.

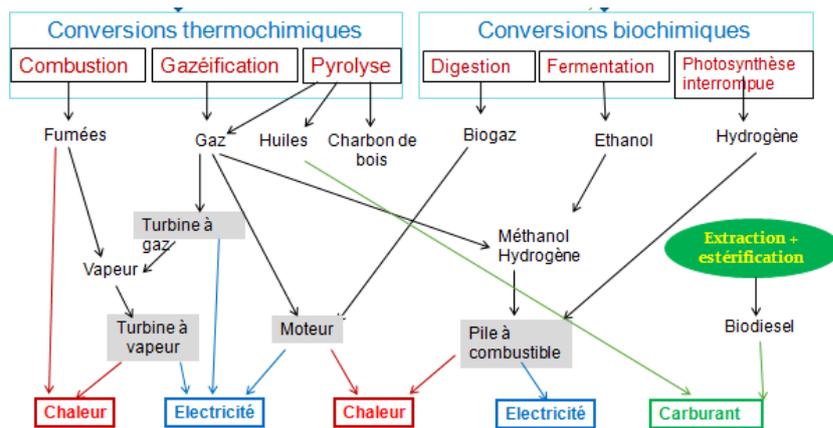
\*Processus biochimiques.

#### I.4.1. Processus thermochimique :

La conversion thermochimique est un processus de reformage à haute température qui coupe les liaisons de la matière organique et transforme ses intermédiaires en charbon gaz de synthèse ou bio-huile.

#### I.4.2. Processus biochimique :

Il existe plusieurs processus de conversion biochimique, tel que le processus étudié à l'échelle laboratoire qui utilise les microorganismes photosynthétiques, comme les algues et les processus fermentatifs pour la production du bio-hydrogène, il existe également la production biologique du méthanol à travers la conversion enzymatiques du gaz carbonique et du méthane, les deux sont produit par la digestion anaérobie. Le traitement des matières organique utilisant la technologie biologique est dominé par la digestion anaérobie ou bien la méthanisation avec une production a grand échelle du biogaz combustible.



**Figure I.2** : Schéma des procédés de conversion de la biomasse.

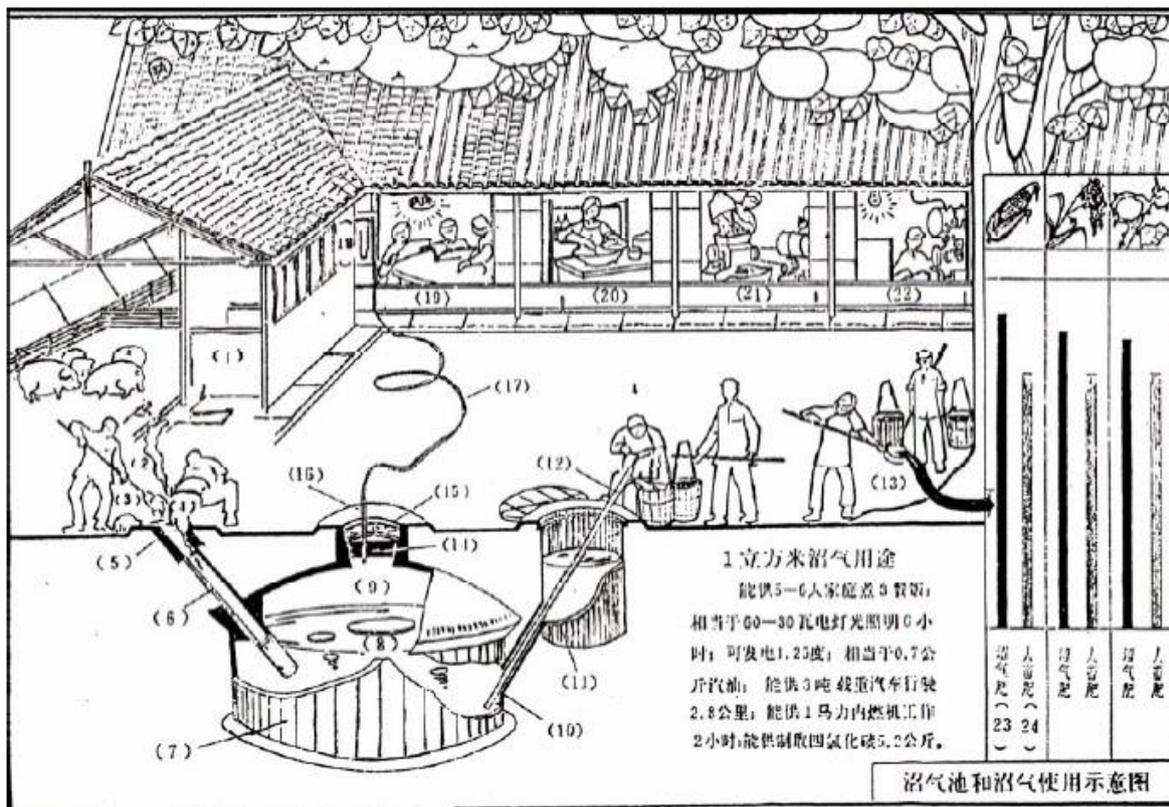
### I.5. Définition de la méthanisation :

Encore appelée digestion anaérobie des matières organiques, est un procédé biologique lent permettant une dégradation poussée du substrat par un consortium de bactéries (méthanogènes et autres), elle transforme essentiellement la matière organique en un gaz énergétique appelé **biogaz** composé de différents gaz issus des réactions biologiques, ou la matière organique va être dégradée jusqu'à 80% [9],[10],[11]. La réussite de la fermentation nécessite le respect de certaines conditions : la température, le pH, de concentration en matière sèche et d'équilibre physico-chimique du milieu de culture. La méthanisation est la transformation de la matière organique en biogaz composée principalement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) on trouve aussi sous forme de traces de l'azote  $\text{N}_2$ , de l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) et de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et ceci en absence d'oxygène par une communauté microbienne fonctionnant en anaérobiose. Cette transformation est répandue dans la nature et se retrouve dans les marais, les intestins d'animaux et de manière générale lors du stockage de la matière organique en absence d'oxygène [5].

### I.6. Historique de la méthanisation :

L'utilisation de la digestion anaérobie pour le traitement des eaux usées et la stabilisation des déchets solides ne sont pas nouvelles du tout; elles sont utilisées depuis le 19<sup>ème</sup> siècle. Dans les régions rurales de la Chine et de l'Inde. Des constructions simples de réacteur (voir figure) ont été longtemps employées pour faire cuire et allumer. La digestion anaérobie des boues des stations d'épuration, à grande échelle, employant une technologie de pointe a été présentée dans les années 1860 en France. Cependant, ce n'était qu'aux années 70 que le traitement anaérobie a attiré l'attention en termes de recherche et développement technologique. Cet intérêt a augmenté, à la suite de la prise de conscience environnementale accrue de la population. En

outre, à la fin des années 80, la Co-digestion traite un mélange de différents types de déchets, y compris les déchets d'animaux, les déchets alimentaires et les organiques ménagers, ont été présentés dans plusieurs pays. Aujourd'hui, un nombre important de systèmes technologiques de digestion anaérobie est en service pour le traitement de différents types de substrat et le développement est encore en marche [15].

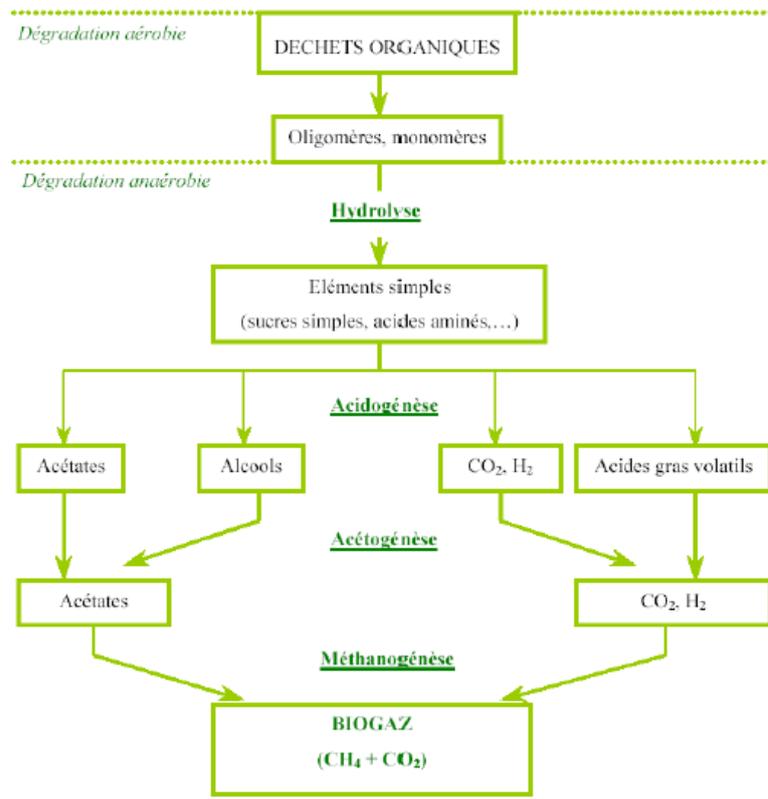


**Figure I.3:** Une vue générale d'un type de digesteur chinois produisant du biogaz pour faire cuire et s'allumer [15].

### I.8. Les différentes étapes de la méthanisation :

La digestion anaérobie est un procédé biologique, qui sert au traitement et valorisation des déchets organiques. Elle contient généralement quatre étapes selon les auteurs, qui sont l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène. Dans le cas de la co-digestion, des déchets solides biodégradables sont ajoutés en tête du procédé [15].

Les bactéries de la méthanisation se distinguent en quatre groupe selon la réaction qu'elles entraînent .ces réactions se succèdent dans le temps pour une molécule, mais à l'échelle d'un méthaniseur, elles ont lieu au même moment [10].



**Figure I.4 :** Schéma des étapes de la méthanisation [23] .

**I.7.1.L'hydrolyse :** la dégradation des molécules complexes (polymères ) en monomères.

**I.7.2.L'acidogénèse :** la transformation des monomères de l'hydrolyse en acides gras volatiles, alcool, acides organiques, hydrogène et dioxyde de carbone.

**I.7.3.L'acétogénèse :** la formation de l'acétate, l'hydrogène et le gaz carbonique, précurseurs directs du méthane, à partir des composés issus de l'acidogénèse .

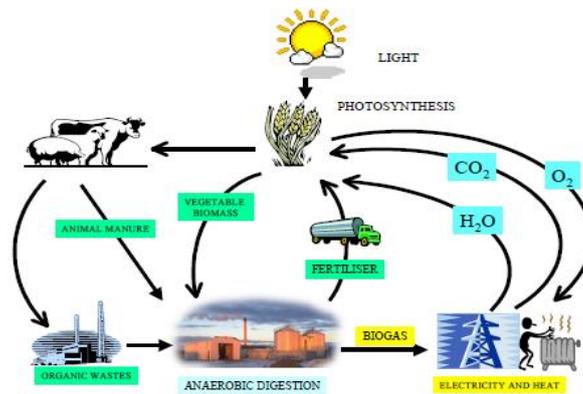
**1.7.4.La méthanogénèse :** la transformation des produit de l'acétogénèse en méthane

La production du méthane est donc issue d'un ensemble complexe de réactions [11]. Pour plus d'information, il est possible de consulter le livre La méthanisation René Moletta [Moletta 2008] .

## **I.8.Le biogaz :**

le biogaz est une source d'énergie renouvelable produit par méthanisation de déchets et sous-produits organiques issus de l'agriculture, de l'industrie ou des ménages. La fermentation

discontinue on par voie sèche permet de traiter des substrats à forte teneur en matière sèche [14].



**Figure I.5:** Schéma montre la nature de biogaz [21].

La formation du biogaz est un phénomène biologique naturel résultant de la fermentation bactérienne anaérobie (la bio-méthanisation) des produits organiques [5].

Le biogaz « gaz naturel renouvelable » produit est composé principalement du méthane CH<sub>4</sub>, du gaz carbonique CO<sub>2</sub>, et généralement saturé en vapeur d'eau (des quantités variables) [12],[15]. Il contient également d'autres gaz issus de la fermentation présents en traces, (H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>...) ou les composés qui se trouvent dans les déchets [5]. Le gaz peut servir à la cuisson et à l'éclairage ainsi qu'à la production d'énergie aux fins de pompage des eaux d'irrigation, de mouture des céréales, etc tandis que les résidus peuvent être employés comme engrais [13].

- Méthane (CH<sub>4</sub>) – c'est un gaz inodore et incolore, plus léger que l'air .Il est inflammable : entre 5% et 15% de concentration volumique.
- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) - c'est un gaz inodore et incolore, plus lourd que l'air .Il n'est ni inflammable ni toxique .En revanche, il diminue la teneur en oxygène ce qui peut provoquer l'asphyxie.
- Hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) - c'est un gaz avec une odeur caractéristique dite « d'œuf pourri ».plus lourd que l'air .Il est inflammable et très toxique.

**Tableau I.1 :** Composition du biogaz [22].

Méthane (CH <sub>4</sub> )	45 à 65 %
Gaz carbonique (CO <sub>2</sub> )	25 à 45 %

Eau (H <sub>2</sub> O)	6%
Oxygène (O <sub>2</sub> )	Traces
Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S),(H <sub>2</sub> ),(NH <sub>3</sub> ),(N <sub>2</sub> )	Traces
Organo-halogénés (chlore ,fluor)	Traces

D'après L. Bensmail, A. Touzi : le biogaz apparaît par conséquent comme une solution économique, décentralisée et écologique à ces problèmes de pollution, à travers l'autonomie énergétique que cela procure et un développement durable des régions isolées et enclavées. Le biogaz reste malheureusement encore, une source d'énergie méconnue en Algérie. Donc le développement du biogaz permettra d'assainir et de préserver l'environnement pour une meilleure [16].

### **I.9. Les paramètres influencent sur la production du biogaz :**

Comme tout micro-organisme, la population bactérienne qui constitue le consortium méthanogène exige des conditions particulières pour sa croissance. Les principaux paramètres influencent sur la production du biogaz sont le pH, la température, l'absence de l'oxygène, le rapport C/N, le brassage, la pression partielle en hydrogène et l'humidité [5].

#### **I.9.1. La température :**

Deux plages de températures optimales peuvent être définies: la zone mésophile (autour de 35°C) et la zone thermophile (entre 55-60°C) avec une décroissance de l'activité de part et d'autre de ces températures. Ces températures de fonctionnement dépendent surtout du réacteur (le digesteur) qui est prévu pour fonctionner dans une de ces gammes de températures.

#### **I.9.2. Le pH :**

Pour une digestion anaérobie des boues d'épuration le pH est autorégulé dans le digesteur avec des valeurs optimales comprises entre 6,8 et 7,4 car l'alcalinité produite par les méthanogènes sous forme de CO<sub>2</sub>, d'ammonium et de bicarbonate, permet de maintenir le pH dans la gamme de neutralité, mais un ajout de bicarbonate de soude peut être nécessaire pour le maintenir.

#### **I.9.3. L'absence de l'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,

certaines groupes de bactéries , appelées anaérobies facultatives , peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries strictes ). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes , qui sont anaérobies strictes.

#### **I.9.4.Le rapport C/N :**

Le carbone et l'azote sont des éléments essentiels à la nutrition des microorganismes , ainsi que le phosphore et le soufre .Le carbone est primordial pour les bactéries en tant que source d'énergie et l'azote autant qu'élément de structure cellulaire. Les rapports C/N supérieurs à 23/1 ont été identifiés comme inadaptés pour une digestion optimale ;et des rapports inférieurs à 10/1 se sont révélés inhibiteurs selon des études portant sur la digestion anaérobie thermophile des déchets de volailles et d'autres substrats celluloses.Pour un fonctionnement optimum d'un réacteur à chargement continu ,les bactéries ont besoin d'un rapport C/N convenable pour leur métabolisme le rapport C/N idéal est de 30.

#### **I.9.5.Le 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 court 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 . 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.

#### **I.9.6.La pression partielle en hydrogène :**

L'hydrolyse est une molécule clé dans le processus de la digestion anaérobie , c'est un substrat indispensable et énergétique pour les bactéries méthanogènes .Il est produit lors de l'acétogénèse à partir des produits de l'acidogénèse (AGV) , cette faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogénèse et hydrogénophiles qui consomment H<sub>2</sub> au fur et à mesure de sa production .

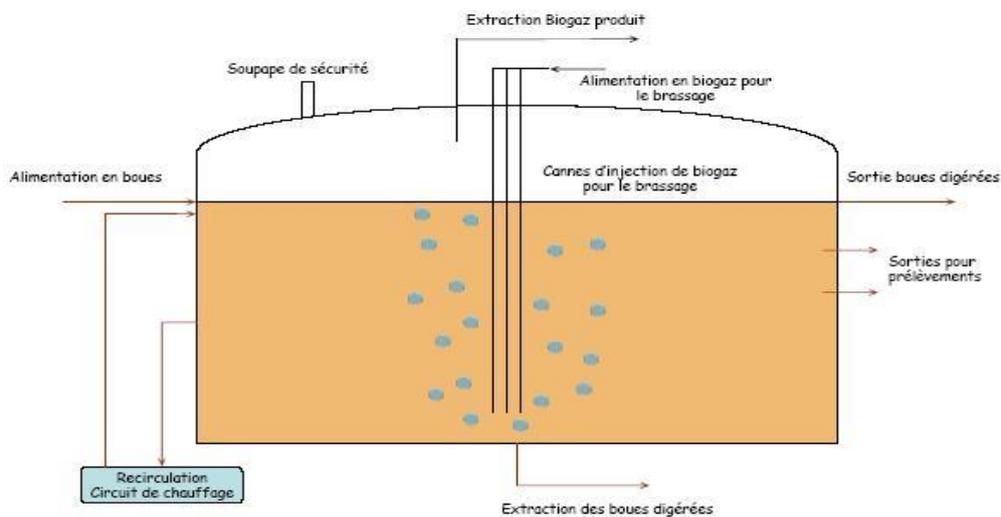
#### **I.9.7.L'humidité :**

Pour toute activité biologique ,la présence d'eau est indispensable surtout à la multiplication des microorganismes , d'après Laurent Marache , une humidité minimale de 60 à70 %est nécessaire à la méthanisation.

#### **I.10.Le digesteur :**

Le digesteur cœur ou se réalise la méthanisation, appelé aussi fermenteur ou bioréacteur anaérobie. Nom donné au réacteur chimique où se déroule la fermentation des déchets à forte teneur en matière organique.

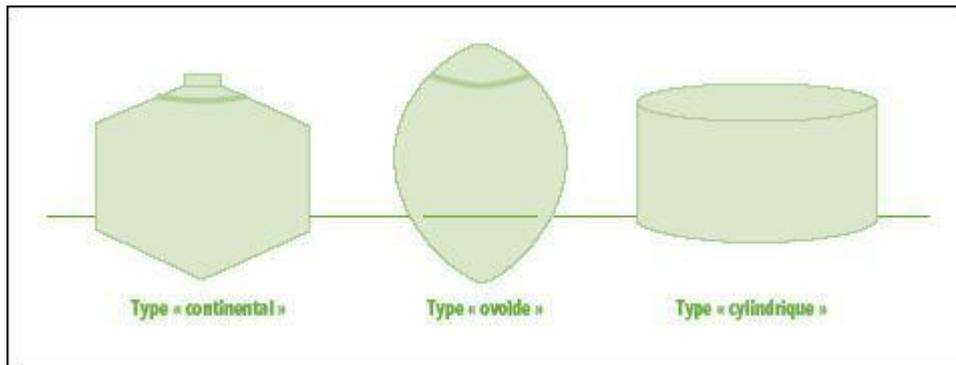
Ce réacteur est composé d'une cuve fermé cylindrique étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans la quelle les microorganismes se côtoyant pour dégrader chimiquement et biologiquement les effluents organiques. Il peut être équipé d'un système de chauffage, d'un système d'agitation, d'un système de prélèvement et d'un système de mesure de teneur en gaz de dispositifs permettant le contrôle de différents paramètres tels que le pH, la température, la pression... [5].



**Figure I.6 :** Schéma du digesteur retenu [ARER.2003].

### **I.11. Les différents formes des digesteurs :**

Il existe plusieurs formes de digesteur (ovoïde, cylindrique, ou bien continental), généralement construit en béton avec une protection interne en résine époxy mais pour les digesteurs de grande taille, l'acier vitrifié s'avère souvent plus compétitif .



**Figure I.7:** Schéma des différentes formes des digesteurs.

La plus répandue en Europe continentale elle est caractérisée par un rapport hauteur sur diamètre environ égal à 1, un fond conique (pour faciliter l'évacuation des sédiments) et un dôme conique ou bombé (pour résister à la pression). En Allemagne, les formes ovoïdes se sont développées pour les digesteurs de grande taille. Au Royaume-Uni et en Scandinavie, on trouve des digesteurs « cylindriques » avec toit et fond plat.



**Figure I.8:** Un digesteur cylindrique en béton .



**Figure I.9:** Un digesteur ovoïde construit en inox.

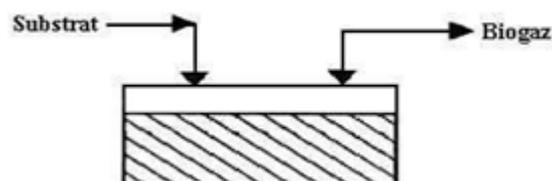
## **I.12. Les différents types de digesteur :**

Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter, et de l'application projetée, on peut classer digesteurs selon leur mode d'alimentation, le type de substrat, et le nombre d'étapes.

### **I.12.1. Le mode l'alimentation :**

#### **I.12.1.1. Le digesteur batch ou discontinu :**

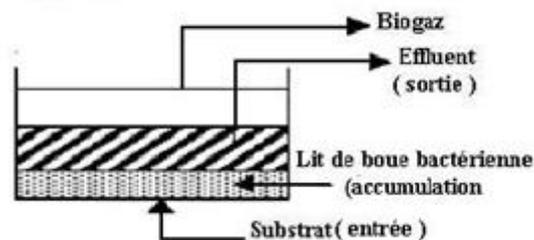
Ce type de digesteur a l'avantage d'une construction simple, le mode opératoire consiste à remplir le digesteur avec les substances organiques et laisse digérer, à la fin de la digestion, le digestat est évacué et le processus peut recommencer. Ces systèmes rustiques est d'une grande simplicité technique, sont avantageux pour traiter les déchets solides comme les fumiers, les résidus agricoles, ou les ordures ménagères. La production de biogaz n'est pas régulière : au début de cycle, la production de biogaz est lente puis elle s'accélère, et atteint un taux maximal au milieu du processus de dégradation et chute enfin de cycle lorsque seuls les éléments difficilement digestibles restent dans le digesteur [5].



**Figure I.10:** Schéma de principe d'un digesteur alimenté en discontinu.

### **I.12.1.2.Le digesteur continu :**

Dans le digesteur du type continu, le substrat introduit de manière continue est digéré et déplacé soit mécaniquement soit sous la pression de nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement en continu, est bien adapté aux installations de grande taille.



**Figure I.11:** Schéma de principe d'un digesteur alimenté en continu.

### **I.12.1.3.Le digesteur semi continu :**

Ce type de digesteur fonctionne avec une combinaison des propriétés des deux précédents, afin de tirer profit des avantages des deux modes de digesteur (batch et continu).

Le digesteur est rempli progressivement par petites charges successives réparties dans le temps. Le vidange est réalisé lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante.

## **I.12.2.Classification selon le type de substrat :**

### **I.12.2.1.Solide :**

La teneur en matière sèche est supérieure à 15%.

### **I.12.2.2.Semi solide ou pâteux :**

La teneur en matière sèche entre 5 et 15 %.



**Figure I.12:** Un digesteur par voie pâteuse.

La figure présente un digesteur par voie pâteuse ou digesteur piston, plus rare, ce digesteur traitera les mélanges avec un taux de matières sèche intermédiaire 6 à 15% voire au-delà.

### **I.12.2.3.Liquide :**

La teneur de la matière sèche est inférieure à 5 %.



**Figure I.13:** Un digesteur alimenté en continu avec une teneur en MS <5%.

La figure présente un digesteur t alimenté en continu par pompe (lisier, graisses, eaux chargées...) et trémie (céréales, herbes, déchets agro-alimentaires...) .Avec un taux de matières sèches du mélange < 5 ou 6%.

### **I.12.3. Classification selon le nombre d'étapes :**

Selon les phases méthanogènes et l'acidogène se déroulent dans le même réacteur ou dans 2 cuves.

#### **I.12.3.1. Le procédé en mono-étape :**

Toutes les étapes de la digestion ont lieu dans la même enceinte, ils sont exploitables en continu ou en batch et principalement appliqués pour des substrats allant jusqu'à 40% de la matière sèche.

#### **I.12.3.2. Le procédé en bi-étape :**

Ce type de digesteur sépare la phase d'hydrolyse et l'acidogène dans une première étape, et la méthanogénèse dans une seconde étape. La recirculation de la phase liquide présente l'avantage de ne pas nécessiter constamment l'ajout d'eau réchauffée. L'avantage des procédés bi-étape réside dans le fait que la décomposition de la matière solide est de l'ordre de quelques jours. Cette séparation des phases, réduit le risque d'intoxication des cellules méthanogènes liée à la présence des acides gras volatils lorsque l'étape d'acidogénèse n'est pas complètement terminée.

### **I.13. Le substrat :**

D'après certains auteurs, en particulier [R. Molette et al, 2003] ; plusieurs critères de la matière méthanisée sont à considérer :

- Le potentiel méthanogène comme important critère le volume maximal de méthane produit par une tonne de matière fraîche, plus le taux de matière organique est élevé, plus le volume de biogaz produit sera important, les graisses sont plus méthanogènes que les protéines ou les hydrates de carbone ;
- La facilité de dégradation par les enzymes de la molécule ;
- Son accessibilité (solubilisation, hydrolyse ..... ) ;
- Sa toxicité pour le vivant.

Donc les substrats qui peuvent faire l'objet d'un traitement par digestion anaérobie sont essentiellement :

- 1) Les effluents d'élevage ;
- 2) Les eaux usées urbaines ;
- 3) Les déchets agro-alimentaires ;
- 4) La fraction organique des ordures ménagères.

Les interdits qui ne peuvent pas être destinés à la méthanisation :

- Les ligneux (bois, branchage).
- Les inertes tels que les sables, les matières plastiques (non biodégradables) ils peuvent perturber le fonctionnement du digesteur.
- Les métaux lourds et les composés des produits organiques (pesticides, antibiotiques ....) ils perturbent le métabolisme des bactéries.

Dans les paragraphes qui se suivent, nous intéressons à détailler les différents substrats les plus utilisés dans le procédé de la méthanisation, basant sur les déchets ménagers puisque c'est l'objectif de notre étude.

### **I.13.1.Les déchets d'élevages :**

Les déchets d'animaux d'élevage comme les bovins, la volaille et les ovins, représentent une production importante de la matière organique digestible ce qui a été démontré S.Igoud et al, et d'autres études .Ces déchets ont un potentiel méthanogène relativement faible mais elles apportent des bactéries fraîches.

### **I.13.2.Les eaux usées urbaines :**

Les différents systèmes d'épuration des eaux usées urbaines par voie aérobie produisent des boues récupérées au niveau des décanteurs, qui alimentent très fréquemment des digesteurs anaérobies.

### **I.13.3.Les déchets des industries agro-alimentaires et de la pâte à papier :**

La charge organique des eaux résiduaires de l'industrie agro-alimentaire et certains autres types d'industries rend ces effluents polluants et impose un traitement, avant leur évacuation, conformément aux normes de rejet .La digestion anaérobie peut beaucoup à contribuer la réduction de la charge organique de ces effluents.

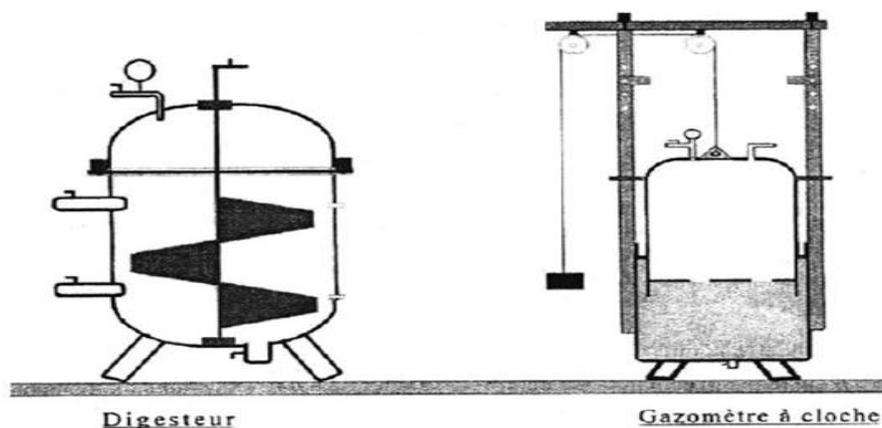
### **I.13.4.Les déchets ménagers :**

Un résidu de la vie urbaine devient déchet à partir du moment où il a perdu une valeur d'usage pour la production .Les ménagers constituent une source intéressante de substrat de fermentation anaérobie .D'après Samira Ben Ammar ,contrairement aux pays industrialisés où les déchets sont homogènes à l'intérieur d'un même pays et d'une même ville ,les quantités et les qualités des déchets produits dans les pays en développement connaissent d'extrêmes variations selon la mode et le niveau de vie ,le tissu urbain et la structure économique et industrielle .

La réalité algérienne est marquée par un accroissement des flux de déchets conjugué à une poussée démographique et une saturation des infrastructures urbaines d'élimination des déchets .D'après l'étude faite par Youcef Kehila et al, les déchets solides en Algérie sont essentiellement composés par des ordures ménagères avec un tonnage supérieur à 5,2 million T/an , et la densité des déchets entrants évaluée (sur plusieurs sites)se situe entre 0,31 et 0,35 T/m<sup>3</sup>.

#### I.14. Quelques digesteur réalisé en Algérie :

1) I.Tou, al en (2001) ,en réalisé un digesteur d'une capacité de 800 litres ,d'une hauteur de 16,5mètre sur un diamètre de 850 cm et une section à 1,25 m [19].



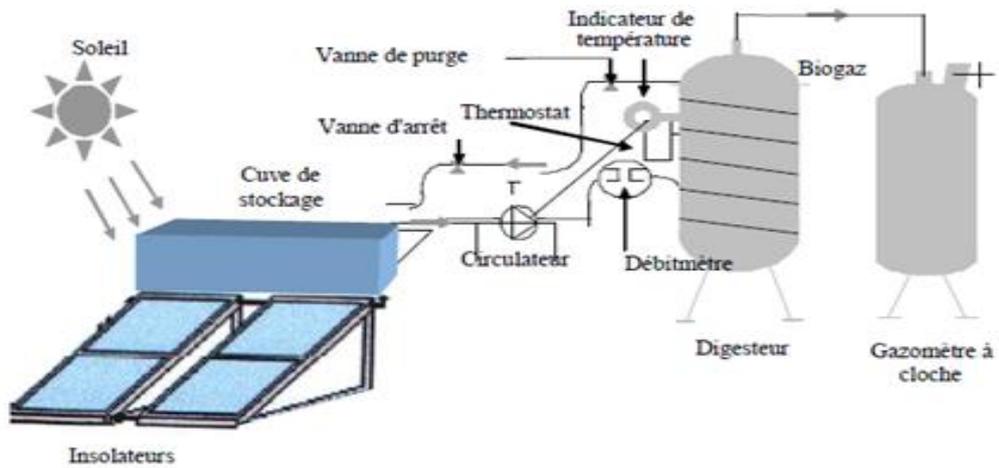
**Figure I.14:** Schéma d'un dispositif réalisé par [I. Tou ,al 2001].

2) S.Igoud ,al en(2002) ,en réaliser un digesteur cylindrique d'une capacité de 800 litres ,d'une hauteur de 1,65 mètre et d'un diamètre de 1,25mètre , relie avec un gazomètre à cloche d'une hauteur de 1,25 mètre pour le stockage de biogaz[20] .



**Figure I.15 :** Le digesteur réalisé par [S.Igoud ,al 2002].

3) A.Yttou ,al en(2007) en réalisé un digesteur du type discontinu d'une capacité de 2800 litre , 1,65mètre d'hauteur ,et 0,85 de diamètre [18].



**Figure I.16:** Schéma d'un digesteur alimenté par un chauffe-eau solaire réalisé par [A.Yttou ,al 2007].

# *Chapitre II:*

*ETUDE EXPERIMENTALE*

## Chapitre II

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble des dispositifs expérimentaux, tous les capteurs de mesures, les méthodes d'analyses utilisées, ainsi que l'origine du substrat utilisé pour l'alimentation de digesteur.

### II.1.Description du digesteur réalisé et dispositif utilisé :

Le digesteur réalisé est un réacteur de type discontinu. Ce réacteur est de modèle de laboratoire avec une capacité totale de 12 L, en métal, très simple, permettant d'assurer l'anaérobie de milieu de culture. Dans la partie suivante nous allons démontrer toute les étapes de réalisation de ce digesteur.

### II.2.Les étapes de réalisation :

- 1- La cuve utilisée est une bouteille du gaz de climatiser d'une capacité de 12 L. Cette cuve est découpée en deux parties comme montre la photo de la figure suivante et ce pour pouvoir alimenter le digesteur en substrat.



**Figure II.1** : La cuve découpé de l'extérieure .



**Figure II.2:** La cuve découpé à l'intérieure.

- 2- Après découpage de la cuve nous avons procédé à la peinture de l'intérieure et l'extérieure de la cuve pour éviter la corrosion du métal par le substrat.



**Figure II.3:** La cuve teinter de l'extérieure



**Figure II.4 :** La cuve teinter à l'intérieure

- 3- Pour la discontinuité de la cuve et pour lier les deux parties, on a soudé un joint en métal sur les parois de la cuve comme montre la photo de la figure suivante.



**Figure II.5:**Photo pendant le soudage de joint.

- 4- Pour pouvoir changé le substrat, assuré l'ouverture et la fermeture de la cuve, on a ajouté des boulons pour le joint en métal, et un autre joint en caoutchouc entre les parties afin d'évité les pertes.



**Figure II.6 :** Les joints et les boulons lier a la cuve.

- 5- Le réacteur est muni de trois trous, le premier pour le prélèvement de pH et de température, le deuxième pour assurer l'échappement du méthane produit. La troisième sortie est munie pour l'agitateur mécanique (homogénéiser le substrat à l'intérieur de digesteur).



**Figure II.7:** Les trois trous muni a la cuve.

- 6- Afin de diminuer les pertes et le transfert thermiques, on a utilisé un système d'isolation du système en utilisant l'aluminium et le polystyrène, comme montre la photo de la figure suivante.



**Figure II.8:** La cuve isolée.

- 7- Il est important de signaler que le volume total du réacteur est de 12L. Nous avons laissé un volume de 3l au-dessus du niveau du liquide pour protéger la sortie de gaz, et maintenir l'anaérobiose. Le digesteur utilisé est alimenté avec les déchets, la concentration est de l'ordre de 50 g MS (matière solide).



**Figure II.9:** Le digesteur réalisé vide.

### **II.3.Eléments de digesteur :**

#### **II.3.1.L'agitateur :**

C'est un dispositif mécanique avec une tige de 40 cm incluse dans le digesteur et branché à l'électricité. Le rôle principal de l'agitateur est pour assuré l'homogénéité de substrat avec l'eau pendant la digestion anaérobie dans le digesteur.



**Figure II.10:** L'agitateur mécanique.

#### **II.3.2.Le pH mètre :**

C'est un appareil utilisé pour mesure et suivre le changement de pH de milieu dans le digesteur. Dans la photo de la figure suivante on donne le pH mètre utilisé durant nos essais expérimentales



**Figure II.11:** Les pH mètre utilisé.

### **II.3.3.Plaque chauffante :**

Pour augmenter la température de la solution de digesteur, et pour assurer un milieu mésophile aux bactéries, on a utilisé une plaque chauffante électrique (voir photo de la figure suivante).



**Figure II.12:** La plaque chauffante utilisée.

### **II.3.4.L'installation complète de digesteur :**

Dans la figure on donne la figure de l'installation du digesteur avec tous les éléments liés à cette installation.



**Figure II.13:** L'installation complète de digesteur.

#### **II.4.Origine et caractérisation du substrat utilisé :**

Le substrat utilisé dans cette étude pour l'alimentation de digesteur, est d'origine urbain. Il est constitué des déchets ménagers qui sont principalement composés des déchets de cuisine, tels que les épluchures d'oignons, des pommes de terre, des carottes, d'oranges, de bananes, des petits pois, des salades...etc, et la bouse de vache. Les déchets de cuisine provenant de la cité universitaire de Ben-Boulaide (1) de la ville de blida (voir la photo de figure suivante).



**Figure II.14:** Le substrat utilisé.

#### **II.5.Prétraitement du substrat :**

Afin d'optimiser les cinétiques de production du biogaz et de réduire le temps de séjour et pour assurer une homogénéisation de l'échantillon, les déchets sont découpés en petits morceaux et séché comme montre la figure suivante.



**Figure II.15 :** Le substrat après découpage et séchage.

## **II.6. Conditions opératoires :**

Le réacteur est maintenu en condition mésophile ( $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) chauffé et régulé avec la plaque chauffante manuellement en l'agitant une fois par jour avec l'agitateur mécanique. Durant nos essais, nous avons suivi l'évolution de pH ainsi que la température.

## **II.7. Séchage du substrat (la matière sèche) :**

Une prise de masse du substrat quelconque, est placée dans l'étuve à une température de  $60^{\circ}\text{C}$  jusqu'à ce que le poids de l'échantillon devienne léger. La différence du poids correspond à la perte d'humidité.



**Figure II.16:** L'étuve utilisé .



**Figure II.17:** Balance utilisé.

## **II.8. Production de biogaz :**

### **II.8.1. Première expérience :**

Pour la première expérience on a utilisé que les déchets ménager de la cuisine (les éplucheurs), qui sont principalement composés des épluchures d'oignons ,des pommes de terre , des carottes ,d'oranges , de bananes ,des petits pois ,des salades...etc avec une concentration de 50g/l pour chaque compose. Puis on ajouté de l'eau avec les éprouvettes avec un volume de 8L, et on a laissé de vide au-dessus de niveau d'eau pour pouvoir récupérer le biogaz avec une température initiale de  $T=13^{\circ}\text{C}$  et de  $\text{pH}=5,6$ .



**Figure II.18:** Les éprouvettes utilisées.



**Figure II.19:** Le substrat + l'eau avant la fermentation .



**Figure II.20:** Le substrat après la fermentation .

### **II.8.2.Dexieme experience :**

Pour la dexieme experience on a utilisé les déchets de la cuisine de même concentration que la premier experience, de l'eau ,et on a ajouté 50 g de la bouse de vache avec une température intialle de  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$  et de  $\text{pH}=6$ .



**Figure II.21:**La bouse de vache séché .



**Figure II.22:** La solution avant la fermentation.



**Figure II.23:** La solution après fermentation.

## **II.9.Les paramètres suivis :**

Le contrôle de digesteur anaérobie est nécessaire pour assurer la réussite de l'opération . A cause de la complexité du processus de la digestion anaérobie due à la sensibilité des groupes micro-organismes à plusieurs facteurs, il est important de pouvoir détecter le déséquilibre de processus au début et donc l'action peut être prise à temps pour empêcher l'échec du processus. Pour cela pendant la durée de la digestion , nous avons suivi les paramètres du fonctionnement, qui sont les suivants :

- Le pH ,
- la température , et
- la production du biogaz .

## II.10. Les paramètres du fonctionnement :

Dans cette étude on a suivi les paramètres qui nous renseignent sur le fonctionnement du réacteur réalisé ainsi que sur l'état de la solution (la digestion anaérobie) tels que le pH, la température, et le volume du biogaz produit.

### II.10.1. Le pH :

Le pH est un facteur facile à mesurer, le changement du pH peut être un indicateur, et la cause du déséquilibre du processus, puisque les micro-organismes peuvent fonctionner seulement dans une plage spécifique de pH. Dans notre cas il est selon la bibliographie on doit travailler à une plage de pH allant de 6 jusqu'à 8. Durant nos essais expérimentaux nous avons suivi le changement de pH chaque jour durant la méthanisation en utilisant un pH mètre de type HANNA.



**Figure II.24:** Un échantillon de la solution prête pour mesurer le pH.

### II.10.2. La température :

Comme nous avons mentionné dans la partie théorique, la température a un effet très important sur la production de biogaz. Un simple changement peut provoquer le mouvement des bactéries et le transfert de chaleur dans le digesteur. Dans notre travail nous avons suivi l'évolution de la température à l'intérieur du digesteur en utilisant une sonde liée à un enregistreur de température.



**Figure II.25:** La température mesurée.

### **II.10.3. La composition du biogaz produit :**

Dans le domaine de la bio méthanisation, la méthode de caractérisation par Chromatographie en phase gazeuse est la plus simple et la plus efficace pour caractériser le méthane produit. Dans notre travail, et pour but de caractériser le méthane produit dans notre digesteur, nous avons utilisé une CPG de type GC-17A.

Les conditions d'injection sont les suivantes :

- Colonne (SE<sub>30</sub>).
- T<sub>colonne</sub> = 25 °C.
- T<sub>injecteur</sub> = 200 °C.
- T<sub>détecteur</sub> = 220 °C.
- Débit = 12 ml / min.
- P = 54 mPa.



**Figure II.26 :** La seringue utilisé pour récupérer le biogaz .



**Figure II.27:** L'appareil de (CPG) .

# *Chapitre III:*

*RESULTATS ET DISCUSSION*

## Chapitre III

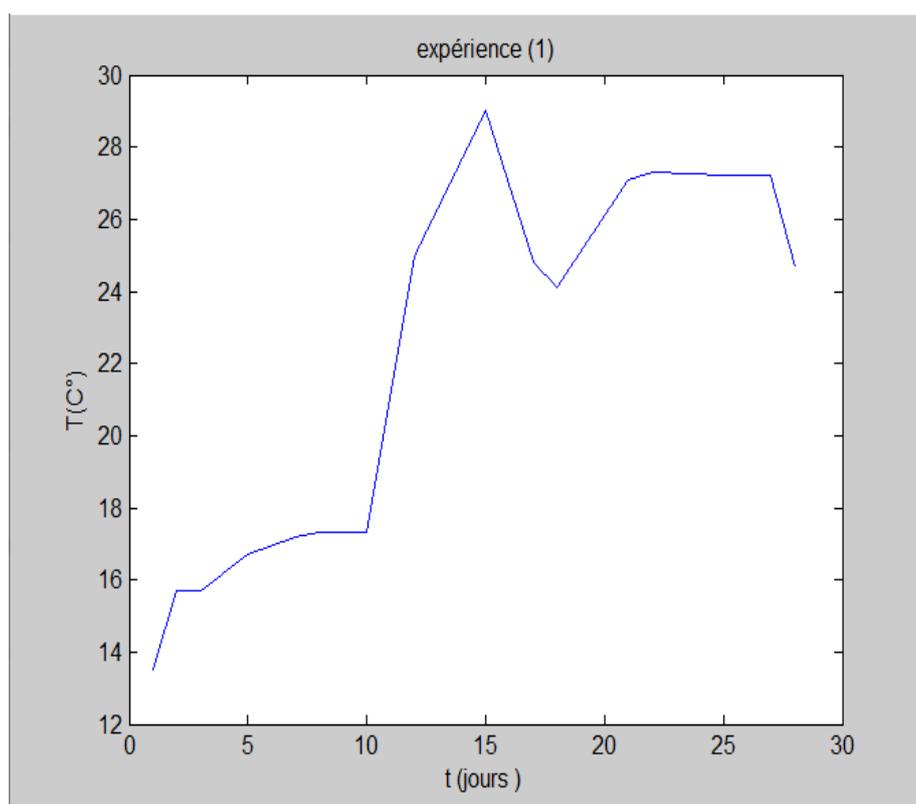
Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats relatifs à la production de biogaz, ainsi que l'effet de différents paramètres liés à la méthanisation de déchet solide.

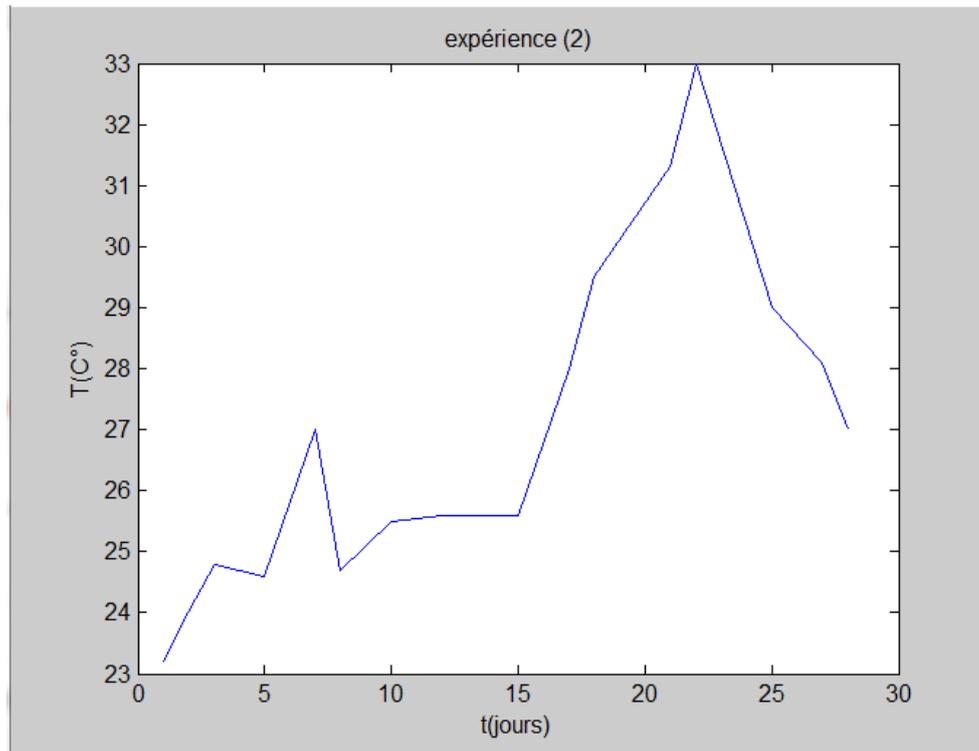
### III.1. Production du biogaz :

Dans cette partie de notre travail nous allons discuter l'influence des principaux paramètres qui peuvent affecter la biométhanisation à savoir :

#### III.1.1. Evaluation de la température durant la production :

La température est un indicateur très intéressant dans la stabilité et le bon déroulement de la digestion anaérobie. Les procédés anaérobies sont fortement influencés par la température. Durant nos expériences nous avons suivi les températures à l'intérieur du digesteur et les résultats obtenus sont schématisés dans la figure suivante :





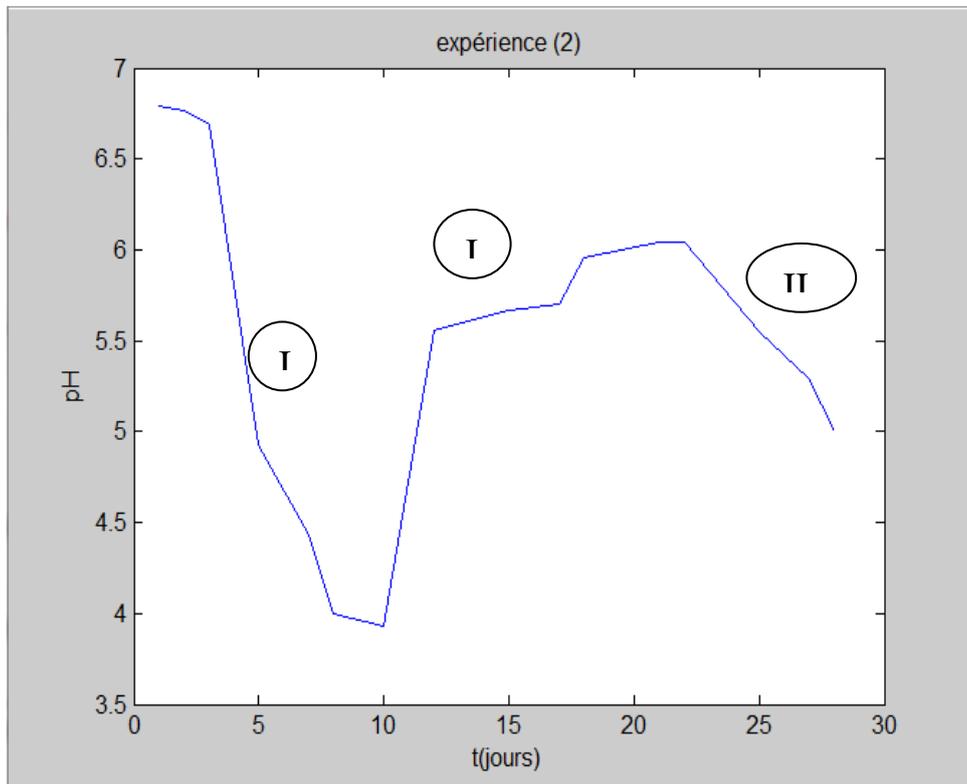
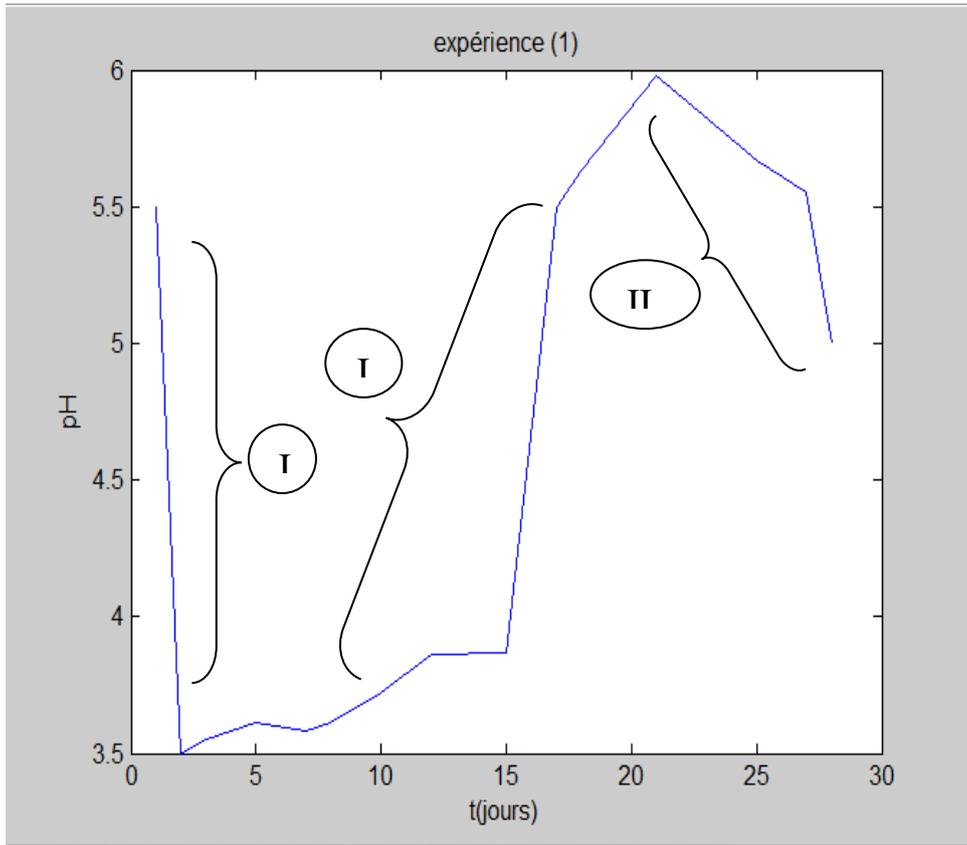
**Figure III.1:** Variation de la température en fonction de temps expérience (1) et (2).

D'après les résultats obtenus dans l'expérience 1 (sans la bouse de vache), de 1<sup>er</sup> jusqu'à 8<sup>ème</sup> jour on peut observer que la température varie légèrement entre 13,53 et 17 °C, pour atteindre un max de 29 °C dans le 15 jour. Cette étape est suivie par une chute de température jusqu'à une température de 25 °C. Par contre dans le cas où nous avons ajouté la bouse de vache comme stimulant nous avons pu observer le même comportement avec une température maximale de 33 °C et une chute de température évaluée à 27 °C.

Ces résultats montrent de façon claire que l'augmentation de température est due aux activités des bactéries, ce qui mène à la production de biogaz, la température maximale indique une activité maximale, ainsi qu'une production maximale de biogaz. La comparaison entre les deux types de production, montre que l'ajout de la bouse de vache améliore davantage la production du bio méthane.

### III.1.2. Evaluation de pH durant la production :

Le pH est un paramètre très important sur la méthanisation et peut influencer la quantité ainsi que la qualité de bio méthane produit à l'intérieur de bio digesteur. Dans notre la variation de pH pendant la fermentation est représentés sur la figure suivante :



**Figure III.2:** Variation de pH en fonction de temps experience (1) et (2).

D'après cette figure, nous remarquons que le pH varie au cours de la méthanisation. L'évolution du pH est peut être divisée en trois grandes parties qui peuvent être de la manière suivante;

➤ **La première partie :**

Dans cette première partie, on remarque une chute rapide de pH dès le 1<sup>er</sup> jour, de 6,5 jusqu'à une valeur minimale proche de 4, donc c'est l'acidification de milieu. Cette chute peut s'expliquer par la décomposition de la matière organique et la production des acides gras volatils (AGV) et leurs accumulations dans le milieu.

➤ **La deuxième partie :**

Dans la deuxième partie, on peut remarquer que les valeurs de pH ont commencé à augmenter petit à petit jusqu'au 17<sup>ème</sup> jour, pour atteindre une valeur de pH voisine de 7 ce pH est le plus adéquat pour le développement et l'activité des bactéries.

➤ **La troisième partie :**

Dans cette partie, à partir du 20<sup>ème</sup> jour on peut remarquer qu'il y'a une stabilisation des valeurs de pH (entre 5.5 et 6). On peut expliquer cette stabilisation par la stabilité du processus d'une manière générale, c'est-à-dire, qu'il y'a simultanément une production des AGV d'une part, et leurs consommations d'autre part.

### **III.2.Caractérisation du biogaz produit**

Dans le but d'analyser le biogaz produit nous avons utilisé l'analyse de CPG, les résultats obtenus sont donnés sous forme de pictogramme de la figure suivante.



### **Expérience (2) :**



**Figure III.3:** L'analyse de biogaz avec la parallie de (C.P.G)

A travers les résultats obtenus on peut montrer claire que le biogaz obtenu est de bonne qualité et ne contient pas des impurité.

### III.3.Caractérisation du substrat :

D'après les résultats obtenus au cours de la digestion anaérobie, il apparait clairement que les déchets utilisé sont constitués principalement de la matière organique, ce qui rend notre substrat utilisé plus approprié pour la digestion anaérobie. On peut conclure aussi que la durée de 28 jours, il y'avait une dégradation de la matière organique, ce qui confirme l'intérêt de notre substrat par rapports à d'autres types de biomasse pour la digestion anaérobie.





**Figure III.4:**Photos de changement du substrat pendant la fermentation .

Durant la digestion anaérobie, nous avons pu constater un changement de couleur du substrat dans le digesteur vers le noir comme il apparaît dans les figure indique la dégradation de la matière organique. D'autre part une odeur indésirable a été sentie. La mauvaise odeur est expliquée par la formation de  $H_2S$  lors de la digestion anaérobie.

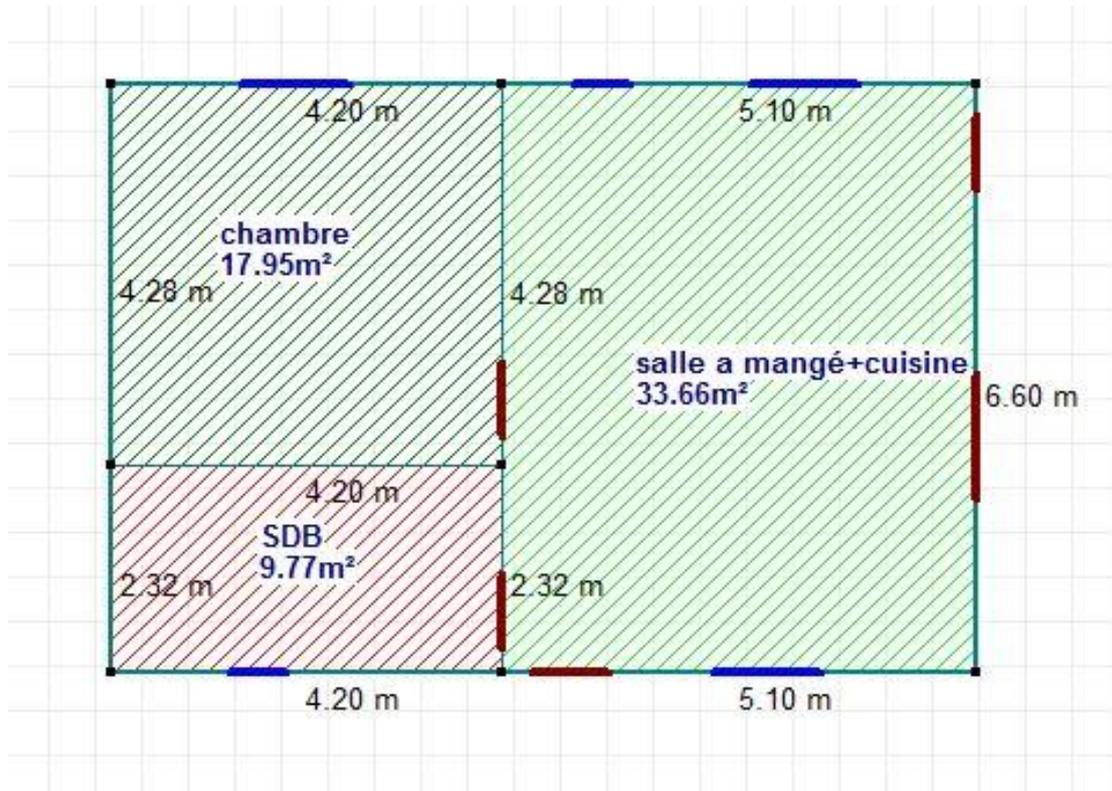
#### **III.4.Application de digesteur pour chauffé une maison :**

L'objectif de cette partie de notre travail est d'étudier la possibilité d'alimenter une maison par un bio-digesteur.

Dans notre cas nous avons choisi une maison située à Blida avec une altitude de 341 m.a.s.l, latitude de  $36.42^{\circ}N$  et longitude de  $2.38^{\circ}E$ . Cette maison est constituée d'une chambre, salle a manger, cuisine, et une salle de bain. La surface de la maison est de :

$$S=6.60m*4.20m= 27,72 m^2$$

Le logement est occupé par deux personnes qui travail de 8hà12h et de 14hà18h ,5jours sur 7. Les deux occupants sont donc réunis dans le logement en dehors des horaires précédents. Par ailleurs le weekend, les deux occupants quittent la maison de 14hà18h. le plan de la maison est donné sur la figure suivante :



**Figure III.5 :** Plan de la maison construite.

Pour définir les besoins thermiques de cette maison nous avons utilisé le Pleiades .C'est un logiciel qui sert à calculer la conception bioclimatique et analyser du confort thermique par simulation dynamique.

Dans notre cas nous avons pris les conditions initiales suivantes :

- Un scénario de climatisation standard ou la température est toujours maintenues à 27°C ; un scénario de chauffage standard ou la température est maintenues à 19°C la journée et de 15°C la nuit.
- Chambre : thermostat + ventilation +occupation.
- Salle de bain : ventilation.
- Salle à manger +cuisine =ventilation +occupation.

Fichier Affichage Outils ?



Environnement Fonctionnement Simulation Sorties

Liste des résultats Synthèse Graphiques Générer un rapport Description Comparateur Consommation

Résumer

Projet sélectionné :

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre	183 kWh	0 kWh	377 W	-0 W	20.00 °C	21.45 °C	29.52 °C
SDB	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	18.86 °C	22.62 °C	31.33 °C
salle a mangé+cuisine	1237 kWh	0 kWh	1416 W	-0 W	20.00 °C	21.23 °C	30.81 °C
Total	1420 kWh	0 kWh	1793 W	0 W			

Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets
chambre	3.40 kWh/m3	13.32 (1/10°C)	10.46 %	4.49 %	14.04 %
SDB	0.00 kWh/m3	21.64 (1/10°C)	18.78 %	7.71 %	0.00 %
salle a mangé+cuisine	12.25 kWh/m3	22.70 (1/10°C)	23.16 %	3.05 %	40.23 %

**Figure III.6 :** Calcul des besoin avec le logiciel Pleiades.

La synthèse de simulations réalisée en utilisant le logiciel Pliedes consiste à reporter pour chaque variante, les besoins en chauffage, les températures minimales et maximales sous forme de tableau. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1** : Les besoin en chauffage.

Zones	Besoin Ch KWh	Besoins Clim KWh	Puiss.Cauff W	Puiss .Clim W
Chambre	183	0	377	0
SDB	0	0	0	0
Salle a mangé+Cuis	1237	0	1416	0
Total	1420 kWh	0KWh		

D'après les résultats affichés au tableau III.1 on peut tirer une valeur de 1420 KWh comme besoin total pendant l'hiver pour chauffer la maison en gaz de ville. Par ailleurs, le digesteur produit 2000W de biogaz pendant une année, chaque moi il produit 60KW/mois, donc on peut conclure que ce même digesteur peut produit pendant l'hiver 300KW.

A l'aide de la règle de trois on peut déterminer le pourcentage d'alimentation en digesteur :

$$\begin{array}{l}
 1420 \text{ KW} \quad \Longrightarrow \quad 100\%. \\
 300\text{KW} \quad \Longrightarrow \quad 21.27\%.
 \end{array}$$

Donc ce digesteur peut contribue jusqu'à 21% des besoins de cette maison. Il peut être simulé avec l'installation de la maison. Ce résultat montre de façon claire que la bio-méthanisation peut contribuer pas seulement à la protection de l'environnement par la méthanisation de déchet solide mais elle peut aussi être comme alternative énergétique surtout dans les zones rurales.

*Conclusion*

*Générale*

## **Conclusion générale :**

Dans cette étude l'intérêt est porté sur la réalisation d'un bio digesteur simple , flexible , faible besoin d'espace ,avec une faible consommation d'énergie . Afin de prendre en charge la quantité de déchets organiques en contrôle, ainsi que la mesure du pH, la température et le prélèvement du biogaz produit.

A partir du dispositif de digestion réalisé, la fermentation mésophile de déchets urbain et la bouse de vache a permis de produire de biogaz durant un temps de séjour (28 jours).

L'évaluation de la qualité de déchets a permis de confirmer que ce dernier joue un rôle principal sur la production ainsi que la concentration de biogaz produit.

Une relation inversement proportionnelle est observée entre la production journalière du biogaz et l'évolution du pH , la température du substrat de digestion anaérobie .Quant à l'optimum de production du biogaz , il est enregistré le 20<sup>ème</sup> et le 28<sup>ème</sup> jour .Une période qui correspond également à l'optimum de teneur en méthane au niveau du biogaz produit .

L'ajout de la bouse de vache a montré une amélioration significative de la qualité ainsi que la quantité du biogaz produit.

Les résultats obtenus sont comparables aux données bibliographiques relatives aux productions de biogaz à partir des déchets urbain et animal.

A travers les résultats de la conception bioclimatique, nous avons pu montrer que la bio-méthanisation peut contribuer pas seulement à la protection de l'environnement par la méthanisation de déchet solide mais elle peut aussi être comme alternative énergétique surtout dans les zones rurales.

## **Références bibliographiques :**

- [1] M.EL Yachioui , N.EL Halloui ,Variation des Tubercules de Topinambour par Hydrolyse Enzymatique (article ) , 1993.
- [2] Présentation de la technologie de méthanisation de la biomasse (pdf).
- [3] Jin Bai Zhang , Procède de Traitement Anaérobie des Boues et de Valorisation du Biogaz (thèse),Institut National Polytechnique de lorraine ,2011.
- [4] Les Différents digesteurs (pdf).
- [5] O.Cheknane ,Biomasse ,(cours ),2016 .
- [6] Djaafri et al, Méthanisation des déchets organique issus de la résidence Universitaire de l'Université Africaine de la ville d'Adrar Sud-Ouest de l'Algérie (article),2014.
- [7] Gulzom, Guide sur le biogaz (de la production à l'utilisation ) 5<sup>eme</sup> édition ,entièrement revissée (livre),2010.
- [8] S.Chader , Présentation sur Module Biomasse-Energie ,Université Saad dahleb-Blida ,Ecole Doctorale Energies Renouvelables ,2009-2010.
- [9] Derek Lovejoy , Le Biogaz en Chine ,(article de la revue de l'Energie Solaire au service du développement ,2009.
- [10] Gaelle LeGuen , Comment faire émerger des projets de méthanisation agricole dans le contexte actuel ? ,(mémoire de fin d'études), de l'accompagnement des projets de méthanisation (paris ),2008.
- [11] René Molletta ,La Méthanisation (livre),(Molletta 2008).
- [12] Sarah Boyer , Diane Labrunie et Elodie Segard, Fabrication de biogaz :Synthèse de pétrole par fermentation à partir de déchets organiques (projet Scientifique en laboratoire ),2009.
- [13] L'énergie solaire au service du développement (Technologie du Biogaz) ,revue annexes 207.
- [14] Jérémy Unternahrer ,Mathilde Cassani, Etude des paramètres de dimensionnement d'installations de biogaz à alimentation discontinue ,Design Projet-SIE 2014.
- [15] Kerroum Derbal ,Digestion anaérobie des déchets solides mélanger avec les boues de station d'Epuration (thèse),Université Mentouri Constantine .
- [16] L.Bensmail ,A .touzi ,Valorisation de la biomasse à des fins énergétiques :contribution de la biogaz au développement durable (article),Université de Béchar ,2012.
- [17] Les types des digesteur (pdf).

- [18] A.Yettou , R.Miri et M.Blhamel ,Etude expérimentale d'un digesteur de production de biogaz alimenté rn énergie par un chauffe-eau solaire (article) ,Revu des Energies Renouvelables CER'07 oujda a (2007) 13-17,Université Houari Boumedienne Bab Ezzouar Alger .
- [19] I.Tou, S.Igoud et A .Touzi ,Production de Bio méthane à partir des déjections animales (article),Rev .Energie Renouvelables :Production et valorisation –Biomasse ,C.D.E.R Alger.
- [20] S.Igoud et al, Première Approche de la caractérisation du Biogaz Produit à Partir des Déjections Bovins(article), Revu . Energie Renouvelable . Vol.5 (2002) 123-128.
- [21] Teodorita AL Seadi ,Biogaz Handbook, October 2008.
- [22] Peter Jacob Jorgensen , Plan Energy and Researcher for a Day-factory of Agricultural Sciences , Biogaz- green energy (liver) ,Aarhuis Université ,2009.
- [23] Malgorzata Meres, Analyse de la composition du biogaz En vue de l'optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers (thèse),Université Jagielle de Gacovie Pologne ,septembre 2005.
- [24] Ame .Fadila , Mezouari Sandjakdine, Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et l'imputation des impacts environnementaux (thèse),Université de limoges ,Mars 2011.