

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saâd Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables



Par Mr. DJELLALI M'hamed

Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Option : conversion thermique

Thème :

**Etude pour la réalisation d'une machine
productrice d'énergie Electrique via la
biomasse**

Soutenu le/09/2021 devant le jury composé par :

Monsieur	Professeur	USDB	Président
Madame N.E KHELALFA	M.C.B	USDB	Encadreur
Monsieur	Examineur
Monsieur	Examineur

Juillet 2021

Résumé:

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude de la production de l'énergie à partir de la biomasse produite par les déchets. L'objectif principal est d'élaborer une machine productrice de biométhane à partir de la biomasse afin de générer de l'énergie électrique et/ou de la chaleur (selon le besoin de l'utilisateur). Cette machine pourra alimenter les consommateurs qui n'ont pas accès au réseau électrique national (zones montagneuses, sahariennes) et surtout pour les agriculteurs qui souffrent du prix trop élevé de leurs consommations. Le travail débute par la conception d'un schéma de principe général de cette machine. Chaque partie de ce schéma est étudié en détail. En premier, le choix du type de déchets à utiliser comme matière première pour la production de biogaz. Cela passe par l'étude des compositions de divers déchets (ménager, agricole, ...etc.). Les déchets riches en matières organiques sont sélectionnés car ils produisent de grandes quantités de biogaz. La seconde étape est d'étudier les divers types de digesteurs existant et d'en sélectionner celui qui s'adapte au mieux (qualité et forme du déchets...). Les équipements externes au digesteur sont dimensionnés et sélectionnés selon les besoins.

Une méthodologie de dimensionnement du digesteur et ses équipements à grande échelle est développée sous la forme d'une interface graphique en utilisant NetBeans (Java Application) pour faciliter les calculs. Pour concrétiser les résultats obtenus analytiquement, on a réalisé un bio digesteur d'une capacité de 20 L en mode discontinu. Ce digesteur est alimenté par des déchets organiques urbains de la ville de Blida (Cité Universitaire Soumaa (2)) et les boues de station d'épuration de Baraki (Alger) . Les différents résultats montrent que la quantité du biogaz produit est fortement influencé par la masse de déchets (organiques et boues) , le pH, la température et la qualité de substrat (richesse du mélange initial). Dans la première expérience on a pris les ordures ménagères seules et il en a résulté une faible quantité du biogaz . Cette quantité est faible pour alimenter un group électrogène d'où l'impossibilité d'aller à la co-génération, par contre quand on pris un mélange (déchet +boues de station) nous avons obtenu une petite quantité qui a produis de l'énergie (électricité) durant une minute.

Mots clés : Méthanisation, biogaz, digesteur, déchets organiques, boues de stations d'épuration, co-génération.

Abstract

The work presented in this thesis is about the study of energy production from biomass produced by waste. The main objective is to develop a biogas production machine from biomass in order to generate electrical energy and/or heat (depending on the user's needs). This machine will be able to supply consumers who do not have access to the national electricity network (mountainous and Saharan areas) and especially farmers who suffer from the high price of their consumption. The work begins with the design of a general schematic diagram of this machine. Each part of this diagram is studied in detail. Firstly, the choice of

the type of waste to be used as raw material for biogas production. This is done by studying the composition of various wastes (household, agricultural, etc.). Waste rich in organic matter is selected because it produces large quantities of biogas. The second step is to study the various types of digesters that exist and to select the one that is most suitable (quality and shape of the waste....). The external equipment is sized and selected according to the needs.

A methodology for sizing the digester and its equipment on a large scale is developed in the form of a graphical interface using NetBeans (Java Application) to facilitate the calculations. To concretise the results obtained analytically, a bio-digester with a capacity of 20 L in batch mode was built. This digester is fed with urban organic waste from the city of Blida (Cité Universitaire Soumaa (2)) and sludge from the Baraki (Algiers) wastewater treatment plant. The different results show that the quantity of biogas produced is strongly influenced by the mass of waste (organic and sludge), the pH, the temperature and the quality of the substrate (richness of the initial mixture). In the first experiment, household waste alone was taken and a small amount of biogas was produced. This quantity is too small to feed a generator, so it is impossible to go to co-generation. However, when we took a mixture (waste + sludge) we obtained a small quantity which produced energy (electricity) during one minute.

Keys words: Methanisation, biogas, digester, organic waste, sewage sludge, co-generation

ملخص :

يركز العمل المقدم في هذه الأطروحة على دراسة إنتاج الطاقة من الكتلة الحيوية الناتجة عن النفايات. الهدف الرئيسي هو تطوير آلة تنتج الميثان الحيوي من الكتلة الحيوية لتوليد الطاقة الكهربائية و / أو الحرارة (حسب حاجة المستخدم). ستكون هذه الآلة قادرة على إمداد المستهلكين الذين لا يستطيعون الوصول إلى شبكة الكهرباء الوطنية (المناطق الجبلية والصحراء) وخاصة للمزارعين الذين يعانون من ارتفاع أسعار استهلاكهم. يبدأ العمل بتصميم مخطط عام لهذه الآلة. تتم دراسة كل جزء من هذا المخطط بالتفصيل. أولاً ، اختيار نوع النفايات التي ستستخدم كمادة خام لإنتاج الغاز الحيوي. يتضمن ذلك دراسة تركيبات النفايات المختلفة (المنزلية ، الزراعية ، إلخ). يتم اختيار النفايات الغنية بالمواد العضوية لأنها تنتج كميات كبيرة من الغاز الحيوي. الخطوة الثانية هي دراسة الأنواع المختلفة من أجهزة الهضم الموجودة واختيار النوع الذي يتكيف بشكل أفضل (جودة وشكل النفايات ، وما إلى ذلك). يتم تحديد حجم المعدات الخارجية للهضم واختيارها وفقاً للاحتياجات

تم تطوير منهجية لتحديد حجم الهاضم ومعداته الكبيرة في شكل واجهة رسومية تستخدم لتسهيل العمليات الحسابية. لتحقيق النتائج التي تم الحصول عليها تحليلياً ، تم إنتاج هضم حيوي بسعة 20 لترًا في وضع الدفوعات. يتم تغذية هذا الهاضم بالنفايات العضوية الحضرية من مدينة البلدية الإقامة الجامعية والحمامة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي براقى الجزائر ، وتظهر النتائج المختلفة أن كمية الغاز الحيوي المنتج تتأثر بشدة بكتلة النفايات (العضوية والحمامة) ودرجة الحموضة ودرجة الحرارة ونوعية الركيزة (ثراء الخليط الأولي). في

التجربة الأولى ، أخذنا نفايات المنزل وحدها ونتج عن ذلك كمية صغيرة من الغاز الحيوي. هذه الكمية منخفضة لتزويد مجموعة المولدات وبالتالي استحالة الذهاب إلى التوليد المشترك ، من ناحية أخرى عندما أخذنا خليط ..(نفايات + حمأة محطة) حصلنا على كمية صغيرة أنتجت طاقة (كهرباء) لمدة دقيقة واحدة

كلمات المفتاحية:

الميثان ، الغاز الحيوي ، الهاضم ، النفايات العضوية ، الحمأة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي ، التوليد المشترك

Remerciements

Après avoir rendu grâce à DIEU le tout puissant, de m'avoir donné la force, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur Dr. N.E KHELALFA d'avoir accepté de diriger ce mémoire en y apportant tous les moyens nécessaires et les aides qui m'ont permis de mener à terme ce travail.

Je lui suis aussi reconnaissant pour ses conseils, sa grande patience et pour l'attentions portée à mon travail .

Nos vifs remerciements vont au président et aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer se modeste travail.

Sans oublier de remercier mes enseignants du département des énergies renouvelables pour leurs efforts et abnégations déployés lors de ma formation

Dédicaces

A mes très chers parents que DIEU les garde et les protège pour leurs soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes deux frère et mes deux chères sœurs, qui ont toujours été la motivation qui me pousse à travailler parfaitement, qu'ALLAH les protège

A tous les membres de ma famille, grands et petits

A tous mes collègues d'études surtout ceux des énergies renouvelables....

A Ayoub, Sofian, walid et sido

A tous ce que j'aime et qui m'aiment

Nomenclature

symbole	Signification
MO	Matière organique
MS	Matière sèche.
AGV	Acides Gras Volatils
CO	Monoxyde de carbone
SO ₂	Dioxyde de soufre
OM	Ordures ménagères
CO ₂	Dioxyde de carbone
PH	Potentiel hydrogène
H ₂ S	Hydrogène sulfuré
N ₂	Azote
H ₂ O	Eau
STEP	Station d'Épuration des eaux usées

Liste des unités

symbole	unité du mesure	signification
°C k	température	-Degré Celsius -kalvin
ton/j	poids	tonne
kWh	mesure de la consommation d'énergie	Kilowatts par heure
m/s	unité de vitesse	Mètre par seconde
g/l mg/l	mesure de la concentration massique	-Gramme par litre -Milligramme par litre
m^3 L	l'unité de mesure de volume	-Mètre cube -litre
cm	unité de longueur	Centimètre

Le sommaire :

1. CHAPITRE I: Etat de l'art.....	3
1.1. Introduction :.....	3
1.2. Synthèses de d'état de l'art :.....	5
1.3. Conclusion :.....	7
CHAPITRE II:	8
GENERALITES SUR LA METHANISATION	8
2. CHAPITRE II: Généralités Sur La Méthanisation	9
2.1. Introduction :.....	9
2.1.1. Définition de la méthanisation ou digestion anaérobie :.....	9
2.1.2. les étapes biologiques de la méthanisation :.....	9
2.1.2.1. Hydrolyse :	9
2.1.2.2. Acidogenèse :	9
2.1.2.3. Acétogénèse :.....	10
2.1.2.4. Méthanogénèse :.....	10
2.2. Mise en œuvre de la méthanisation en digesteur :.....	10
2.2.1. Les différents formes des digesteurs :.....	11
2.2.2. Types de digesteurs :.....	11
2.2.2.1. Mode d'alimentation :	12
2.2.2.1.1. Le digesteur batch ou discontinu :.....	12
2.2.2.1.2. Digesteur continu :.....	12
2.2.2.2. Type de substrats :.....	12
2.2.2.3. Etapes :	13
2.2.2.3.1. mono-étapes :	13
2.2.2.3.2. procédés bi-étapes :.....	13
2.2.2.3.3. mixtes ou intégrés :	13
2.2.3. La température :.....	13
2.2.4. Le pH	14
2.2.5. Le Taux de charges organiques.....	14
2.2.6. Le mixage :	15
2.2.7. Le rapport carbone/azote (C/N) :	15
2.3. CARACTERISTIQUES DU BIOGAZ :	15
2.3.1. Les équivalences énergétiques du biogaz :.....	16
2.3.2. Épuration du biogaz en sortie du digesteur :.....	18

2.3.2.1.	Élimination de l'hydrogène sulfuré (H ₂ S) :	19
	Principe :	19
2.3.2.2.	Élimination de l'eau :	20
2.3.2.3.	Élimination des Composés Organiques Volatils :	20
2.3.2.4.	Élimination de co ₂ :	20
2.3.3.	La valorisation de biogaz :	21
2.3.4.	Cogénération et tri-génération :	21
2.3.4.1.	Cogénération :	21
2.3.4.2.	Tri-génération :	21
2.3.5.	Biogaz carburant et injection dans le réseau local de gaz :	22
2.3.5.1.	Biogaz carburant :	22
2.3.5.2.	Injection dans le réseau local de gaz :	22
2.3.6.	Le digestat :	22
2.4.	Avantages et Inconvénients de la Méthanisation :	23
2.4.1.	Avantages :	23
2.4.2.	Inconvénients :	24
2.5.	Avantages et Inconvénients De La Digestion Anaérobie :	24
2.6.	Evaluation des impacts environnementaux :	25
2.7.	méthodologies de dimensionnement du digesteur et ses Equipements :	27
2.7.1.	Organigramme :	27
2.7.2.	les Equation et les Donnée utilisé :	31
2.7.3.	dimensionnement de la pré fosse :	31
2.7.4.	dimensionnement de la fosse de stockage :	31
2.7.5.	Dimensionnement du digesteur :	31
2.7.6.	Evaluation des besoins :	32
2.7.7.	chauffage des substrats entrants dans le digesteur :	34
2.7.8.	Dimensionnement de la pompe :	34
2.7.9.	Détermination de la quantité d'énergie produite :	35
2.8.	Réalisation d'interfaces graphiques Avec NetBeans (Java Application) :	35
3.	Chapitre III : Etude Expérimentale :	42
3.1.	Introduction :	42
3.2.	Description du digesteur réalisé et dispositif utilisé :	42
3.3.	Les étapes de réalisation :	42
3.4.	Eléments du digesteur :	44

3.4.1.	L'agitateur :	44
3.4.2.	Le pH mètre :	45
3.4.3.	Plaque chauffante :	46
3.4.4.	Groupe électrogène :	46
3.4.5.	Modification du Groupe :	47
3.4.6.	Mesure de température :	48
3.5.	Origine et caractérisation du substrat utilisé :	48
3.6.	Conditions opératoires :	50
3.7.	Production de biogaz :	50
3.7.1.	Première expérience :	50
3.7.2.	Deuxième expérience :	51
3.8.	Les paramètres de fonctionnement :	52
3.8.1.	Le pH :	52
3.8.2.	La température :	53
3.8.3.	L'Observation du volume du biogaz dans la chambre à air :	53
	Conclusion :	54
4.	Chapitre IV : Résultats et Discussion :	56
4.1.	Production du biogaz :	56
4.1.1.	Evaluation de la température durant la production :	56
4.1.2.	Evaluation de pH durant la production :	58
4.1.3.	Observations sur l'évolution de production de biogaz :	59
	CONCLUSION GENERALE :	63

Liste des figures :

Chapitre2 :

Figure (2-1): Etapes biologiques de la méthanisation [6].....	10
Figure (2-2):Schéma des différentes formes des digesteurs.[7]	11
Figure (2-3):Effet de la température sur le taux de croissance des méthanogènes. [10]	14
Figure (2-4):Équivalence d'1 m ³ de méthane.[15].....	17
Figure (2-5):Schéma récapitulatif des procédés d'épuration et de purification du biogaz[17] 19	
Figure (2-6):Forme du digesteur	32
Figure (2-7):Vue en coupe du digesteur	33
Figure (2-8):Création d'un projet.....	35
Figure (2- 9): le choix de l'application.....	36
Figure (2-10): Interface d'accueil.....	36
Figure (2 -11): paramétrage	37
Figure (2-1)2: paramétrage (température)	37
Figure (2-13): nature de déchets	37
Figure (2- 14): analyse de substrat.....	38
Figure (2 -15):Résultats d'analyse.....	38
Figure (2-16): insertion de données	39
Figure (2-17): résultats.....	39

Chapitre3 :

Figure (3-1):roulement.....	42
Figure (3-2):les trois sorties de la cuve	43
Figure (3-3):isolation avec le polystyrène.	43
Figure (3-4):isolation avec le polystyrène plus Chatterton noir.	44
Figure (3-5):l'ajout de l'aluminium.	44
Figure (3-6):l'ajout de l'aluminium.	45
Figure (3-7):diminuer le nombre de tour /minute.	45
Figure (3-8):Les pH mètre utilisé.	45
Figure (3-9):système de chauffage.....	46
Figure (3-10):Groupe électrogène.....	46
Figure (3-11):Caractéristique du groupe électrogène.	47
Figure (3-12):modification du groupe	47
Figure (3-13):Mesure de température.	48
Figure (3-14):déchets de cuisine utiliser.....	48
Figure (3-15):séchage du substrat.....	49
Figure (3-16): Balance utilisé.	49
Figure (3-17):Le substrat + l'eau avant la fermentation.....	50
Figure (3-18):Le substrat après la fermentation.....	50
Figure (3-19):boues de stations d'épuration baraki	51
Figure (3-20):Substrat+boues de station.....	51
Figure (3-21):Un échantillon de la solution prête pour mesuré le pH.	52

Figure (3-22):Appareils de mesure de la température.	53
Figure (3-23):l'expérimentation à l'instant $t=0$	53

Chapitre4 :

Figure (4-1):Variation de la température en fonction de temps expérience (1).....	56
Figure (4-2):Variation de la température en fonction de temps expérience (2).....	57
Figure (4-3):Variation de pH en fonction de temps expérience (1).....	58
Figure (4-4):Variation de pH en fonction de temps expérience (2).....	58
Figure (4-5):Expérience(1) à l'instant $t=23j$	59
Figure (4-6):Expérience(2) à l'instant $t=23j$	60
Figure (4-7):compression de la chambre à aire.....	61

Liste des tableaux :

Chapitre1 :

Tableau (1-1):état de l'art.....	3
----------------------------------	---

Chapitre2 :

Tableau (2-1):Composition moyenne du biogaz.[16].....	15
Tableau (2-2):Composition du biogaz selon les origines.[16].....	16
Tableau (2-3):Composés à éliminer selon le type de valorisation.[8]	18
Tableau (2-4):La différente technique d'éliminations des composants de biogaz. [9]	18

Introduction Générale

La croissance démographique qu'a connue le monde dans le courant du siècle dernier ainsi que le développement industriel et l'accélération de l'urbanisation ont été accompagnés d'une demande accrue en énergie ; surtout le pétrole et le gaz, qui est considéré comme la première source d'énergie (fossile).

Face à cette demande en hausse, les réserves en combustibles fossiles ne dureront pas éternellement, la pénurie du pétrole va progressivement s'installer.

Par ailleurs, la croissance des activités humaines génère une production de plus en plus de déchets de différentes sortes : déchets industriels, ordures ménagères, déchets agricoles, boues issues des stations d'épurations des eaux usées, etc. Tous ces déchets ont bien sur des impacts très néfastes sur l'environnement ainsi que sur la santé humaine.

Dans ce sens, il y a lieu de penser à un moyen qui nous permet de trouver une énergie alternative et propre, notamment la biomasse ; et en particulier « la production du biogaz ». C'est dans ce cadre que s'inscrit le travail entrepris dans ce mémoire.

Au cours de cette étude on essayera de présenter le phénomène de méthanisation, son processus biologique et la méthodologie de dimensionnement du digesteur et ses équipements, Et nous avons encadré cette méthodologie dans une interface graphique (NetBeans, Java Application))

Et ensuite, on procèdera à une expérimentation « la digestion anaérobie » où nous allons concevoir un dispositif capable de produire du biogaz et faire produire l'électricité (co-génération).

Pour ce faire, nous allons répartir notre travail en quatre parties : dans la première partie, nous avons effectué un état de l'art . Dans la deuxième partie on procédé à une a une recherche bibliographique sur la méthanisation de déchet et la création d'une interface de dimensionnement du digesteur et ses équipements . Dans la troisième partie il s'agit d'abord de présenter le protocole, de décrire notre expérimentation et enfin, dans la quatrième partie on présente les résultats et leurs interprétations et on termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I: **Etat de l'art**

1. CHAPITRE I: Etat de l'art

1.1. Introduction :

Nous allons citer les différents travaux récents étudiés ou réalisés sur la production de l'électricité à partir de la biomasse (biogaz, méthanisation) , Les résultats de cette étude sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 1:état de l'art

Auteur et titre	Hypothèses et conditions d'essai	Méthode de réalisation	résultat	Paramètres d'influence
A .TAHRI 3 « La Production d'Electricité à Partir de la Digestion Anaérobie des Déchets Organiques » Juillet 2019	-digesteur continu semi pilote d'une capacité de 80 litre -déchets ménagers de la ville d'Adrar -cinq temps des séjours de 7;14;21;28 et 35 jours successivement	la méthode de Test de Potentiel Méthanogène (BMP) - la méthode du liquide déplacé -la méthode d'analyse de variance (ANOVA) -méthodes de purification	La production de l'électricité par notre générateur montré qu'afin de couvrir les besoins quotidiens de l'individu Algériens en électricité il faut un volume de 1008L de notre biogaz, ce volume nous pouvons le produire par la digestion anaérobie de 30kg de déchets organique dans notre digesteur.	la masse de déchet - Aération - Humidité
M. Sabre et al. « Amélioration des performances de digestion anaérobie des déchets ménagers organiques dans un digesteur pilote thermophile » 16 July 2020 (cder)	nouveau digesteur pilote thermophile horizontal -capacité totale de 50L -conditions favorables sans aucun additif chimique	la méthode de reflux proche selon la méthode standard -la méthode d'analyse VFA (<u>Volatile fatty acids</u>)	-La production de bio méthane en cas de déchets ménagers organiques atteint 0,44 m ³ CH ₄ / Kg VS. -Le temps de fonctionnement était très court. Il ne faut que 4 jours pour atteindre le taux maximum de production (57 L CH ₄ / jour correspondant à 84 L CH ₄ / (Kg VS/ Jour)) et 10 jours pour atteindre 80% du potentiel global de bio méthane.	-additif chimique -température
N.LASKRI « Valorisation énergétique et production du méthane » université B-M-Annaba 2016	-température à environ 30-35°C - Le temps de séjour 25-35j -ph autour de 6.8– 7,2 unités pH -Absence d'oxygène	Méthode de comparaison	Le gaz produit possède un pouvoir énergétique élevé et peut être utilisé dans de nombreuses applications comme : le chauffage, la cuisson, la production d'électricité La valeur énergétique moyenne du biogaz va de 4,5 à 7,5 kWh/m ³	-concentration de déchet - ph, temperature influencent directement les micro- organismes

<p>S. Igoud et al. « Première Approche de la Caractérisation du Biogaz Produit à Partir des Déjections Bovine » CDER Bouzaréah, Alger. 2002</p>	<p>-l'installation d'un digesteur expérimental d'une capacité de 800 litres. Son utilisation pour une première bio méthanisation mésophile a permis de produire 26,898 m3 de biogaz à partir de 440 Kilogrammes de bouses de vaches Tm=35 °C durant 77 jours</p>	<p>-cuve métallique gazomètre à cloche</p>	<p>-Production de 26,478 m3 de biogaz durant un temps de séjour de 77 jours. 35,65% de gaz carbonique et de 2,90% d'azote gazeux.</p>	<p>-Ph -température -Aération</p>
<p>S. BENAROOUR « Réalisation d'un digesteur pour la production du biogaz. » 2015</p>	<p>la conception d'un bio digesteur d'une capacité de 12 L en mode discontinu - 28 jours</p>	<p>Méthode de d'analyse</p>	<p>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 20ème et le 28ème jour .Une période qui correspond également à l'optimum de teneur en méthane au niveau du biogaz produit</p>	<p>-la masse de déchet -le pH -la température</p>
<p>A.CHELHA « Production de biogaz par valorisation du lactosérum en Co-digestion anaérobie » 2016 el harnache</p>	<p>la production de biogaz à partir du lactosérum par Co-méthanisation de celui-ci avec les boues de la laiterie, et en deuxième lieu avec des bouses de vache 3 Co-degestionstion dans chaque Co-variation de capacité de chaque digesteur et température, ph comparaison</p>	<p>Méthode d'analyse La mesure de certains paramètres physico-chimiques pour suivre le déroulement du processus de fermentation</p>	<p>la digestion anaérobie est un processus très complexe, qui fait intervenir un très grand nombre de bactéries et de réactions biologiques. De plus il est impossible de généraliser toutes les approches car chaque digesteur est unique compte tenu du processus mis en jeu, des substrats utilisés, des populations bactériennes en présence d'avoir une bonne connaissance de tous les substrats que l'on introduit dans le digesteur pour éviter toute contamination la production de méthane maximale a été observée lors de la 3ème Co-digestion.</p>	<p>-Volume -Ph -Température - Aération</p>

M.NIKIEMA et al. October 2015 Ouagadougou	les déchets ont été triés puis séchés au soleil durant 7 jours. Ensuite, ils ont été mélangés, pilés et tamisés au travers d'un tamis de maille de 1 mm	méthode d'extraction par le Soxhlet en utilisant l'hexane comme solvant. -technique de Angelidaki -méthode adaptée de Sawadogo	- la bouse bovine constituent des inocula efficaces pour la production optimale de CH ₄ . De plus, une charge de 2% de ces déchets présente une bonne bio méthanisation et permet ainsi d'obtenir un meilleur rendement en bio méthane	-influence de la charge en substrat sur le rendement en CH ₄ - Effet de la concentration sur la production de biogaz - Effet de l'inoculum sur la production de biogaz - Influence de la concentration du substrat sur le rendement de production de CH ₄
T. Olugasa et al. "Energy production from biogas Nigeria 2014	-(250 ml) de déchet de l'estomac et leur dilution à raison de 750ml -déchet de Karnaf 250 ml - (sans apport d'oxygène) - température moyenne de 37°C - un agitateur magnétique (50 tours/min)	Méthode de comparaison	le rendement de la production de biogaz dépend de la nature des déchets utilisés (matière organique) et les conditions de fonctionnement de réacteur, ainsi que la durée d'incubation de micro organisme de système.	La qualité de déchet Karnaf Déchet de l'estomac - Aération

1.2. Synthèses de d'état de l'art :

A.TAHRI : construit un digesteur continu semi pilote d'une capacité de 80 litre il ajoute des déchets ménagers de la ville d'Adrar sur les cinq temps des séjours de 7;14;21;28 et 35 jours successivement cette étude expérimentale confirme que pour la couverture des besoins quotidiens de l'individu Algériens en électricité il faut un volume de 1008L de notre biogaz, ce volume nous pouvons le produire par la digestion anaérobie de 30kg de déchets organiques dans notre digesteur.[1]

M. Saber et al. : Nous avons une construction d'un nouveau digesteur pilote thermophile horizontal d'une capacité totale de 50L, il a obtenu comme résultat :

La production de bio méthane ans le cas de déchets ménagers organiques atteint 0,44 m³ CH₄ / Kg VS. Le temps de fonctionnement était très court. Il ne faut que 4 jours pour atteindre une production (57 L CH₄ / jour correspondant à 84 L CH₄ / (Kg VS/ Jour)) et 10 jours pour atteindre 80% du potentiel global de bio méthane.[2]

N.LASKRI et al. : la température utilisé environ 30-35°C et le temps de séjour entre 25 et 35j et un ph autour de 6.8– 7,2 unités pH avec une Absence d'oxygène les résultats obtenus par la méthode de comparaison est la production moyenne d'électricité 4,5 à 7,5 kWh/m³ [3]

S. Igoud et al. : L'installation d'un digesteur expérimental d'une capacité de 800 litres. a permis de produire 26,898 m³ de biogaz à partir de 440 Kilogrammes de bouses de vaches dans les condition : T_m=35 °C , durant 77 jours résultat très motivant. Ceci l'a poussé à refaire la même expérience et a obtenu 26,478 m³ de biogaz durant un temps de séjour de 77 jours avec 35,65% de gaz carbonique et de 2,90% d'azote gazeux. Et l'on peut dire que les résultats sont très proches [4].

S. BENAROOUR : L'installation d'un bio digesteur d'une capacité de 12 L en mode discontinu et une durée de 28 jours. Cette étude expérimentale montre quand on ajoute la bouse de vache on remarque une amélioration significative de la qualité ainsi que la quantité du biogaz produit. [5]

A.CHELHA Nous avons une production de biogaz à partir du lactosérum par co-méthanisation de celui-ci avec les boues de la laiterie, et en deuxième lieu avec des bouses de vache 3 Co-digestion. On a une variation dans les capacités de chaque digesteur, la digestion anaérobie est un processus très complexe, qui fait intervenir un très grand nombre de bactéries et de réactions biologiques. De plus il est impossible de généraliser toutes les approches car chaque digesteur est unique compte tenu du processus mis en jeu, des substrats utilisés et des populations bactériennes en présence, la bonne connaissance de tous les substrats que l'on introduit dans le digesteur pour éviter toute contamination. La production de méthane maximale a été observée lors de la 3ème co-digestion. [6]

M. NIKIEMA et al. : il a triés les déchets puis les aséchés au soleil durant 7 jours. Ensuite, ils ont été mélangés, pilés et tamisés au travers d'un tamis de maille de 1 mm en utilisant la méthode d'extraction par le Soxhlet. L'expérience montre que la bouse bovine constitue des inocula efficaces pour la production optimale de CH₄. De plus, une charge de 2% de ces déchets présente une bonne bio méthanisation et permet ainsi d'obtenir un meilleur rendement en bio méthane[7]

T. Olugasa et al. : 250 ml de déchets d'estomac et Karnaf - sans apport d'oxygène avec une température moyenne de 37°C et un agitateur magnétique (50 tours/min). Résultat : le rendement de la production de biogaz dépend de la nature des déchets utilisés (matière

:

organique) et les conditions de fonctionnement du réacteur, ainsi que la durée d'incubation de micro organisme du système.[8]

1.3. Conclusion :

Cette étude, a permis de démontrer clairement la possibilité de produire une énergie à partir d'un déchet. Et on plus elle m'a aidée de savoir que la méthanisation peut être considérée comme la technologie la plus avantageuse pour le traitement des déchets. Elle permet de valoriser les déchets et de produire une énergie renouvelable sous forme de biogaz. Ce biogaz a une valeur énergétique proche du gaz naturel, donc il peut être valorisé dans les applications domestiques comme la cuisson et la production d'électricité.

Et cette production du biogaz est très influencée par plusieurs paramètres, parmi lesquels nous pouvons citer :

- La qualité et la quantité des déchets utilisés
- L'aération
- L'humidité
- Le ph
- La température.
- L'effet de l'inoculum sur la production de biogaz
- La concentration du substrat.
- La masse du substrat.
- Les additifs chimiques.

CHAPITRE II:
GENERALITES SUR LA
METHANISATION

2. CHAPITRE II: Généralités Sur La Méthanisation

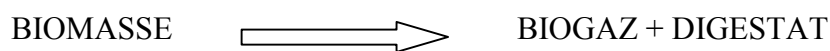
2.1. Introduction :

De nos jours, la digestion anaérobie est largement appliquée aux effluents (rejets liquides) notamment industriels. Elle l'est aussi pour les déchets municipaux (ordures ménagères, boues de stations d'épuration), déchets agricoles et industriels. Nous aborderons ici la méthanisation de la fonction organique des ordures qui représentent un potentiel important sur le marché du traitement des déchets.

2.1.1. Définition de la méthanisation ou digestion anaérobie :

C'est un processus biologique de dégradation de la matière organique en absence d'oxygène et qui conduit à la formation d'un mélange gazeux (majoritairement formé de méthane (CH₄) et dioxyde de carbone (CO₂)) et du digestat qui est le résidu contenant les matières non dégradées.

Son principe est le suivant :



La méthanisation peut s'appliquer à différentes matières¹ comme la fraction organique des déchets ménagers, les boues de fosses septiques, les déchets organiques d'élevage et d'agriculture (la fiente de volaille, fumier, pailles,...), les boues de station d'épuration,... [5]

2.1.2. les étapes biologiques de la méthanisation :

La méthanisation se déroule en 4 étapes successives qui sont l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse ; les microorganismes spécifiques des premières étapes servent de substrats pour les étapes suivantes (Figure ci-dessous).

2.1.2.1. Hydrolyse :

Cette première série d'opérations va transformer les matières organiques complexes (polysaccharides, protéines, lipides,...) en molécules plus simples, comme des sucres, des alcools et des acides aminés.

2.1.2.2. Acidogénèse :

Les molécules obtenues sont transformées en acides gras volatils (A.G.V) en alcools (ex : éthanol), en acides organiques (ex : acide lactique), en hydrogène (H₂) et en dioxyde de carbone (CO₂)

2.1.2.3. A céto-genèse:

Les acides gras volatils sont transformés en acétate, hydrogène (H₂) et dioxyde de carbone

2.1.2.4. Méthanogénese :

La toute dernière étape permet la formation de méthane soit par dégradation de l'acétate (environ 70 % de la production), soit par réduction du CO₂ par l'hydrogène (environ 30 % de la production).

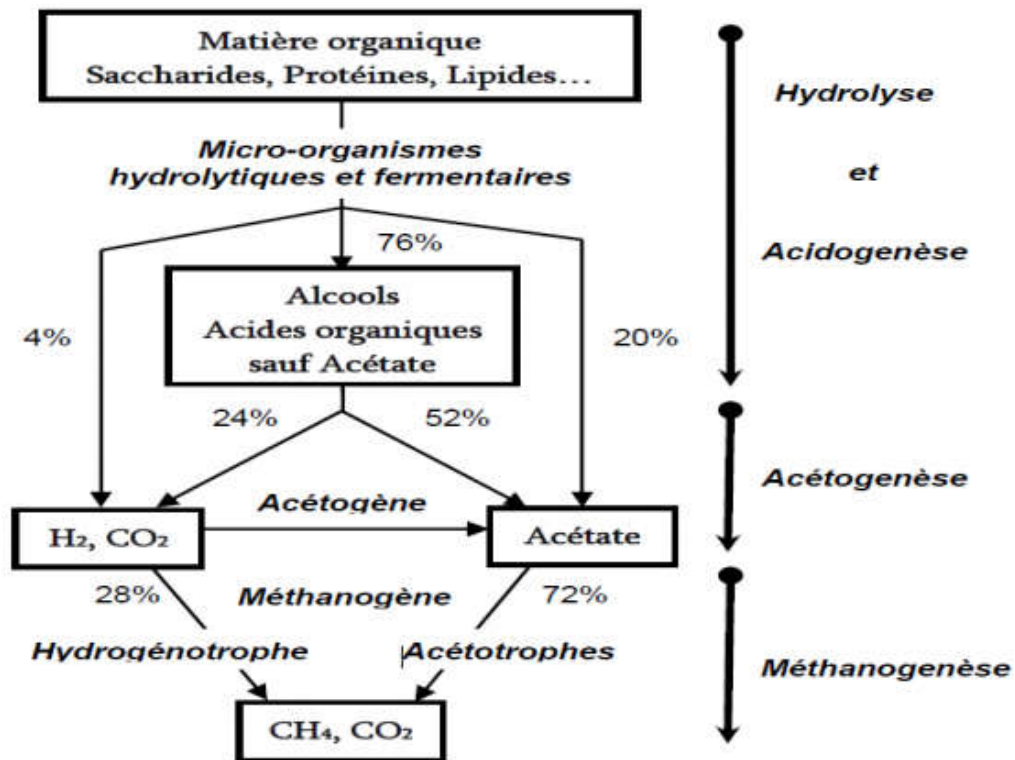


Figure 2 1:Etapes biologiques de la méthanisation [6].

2.2. Mise en œuvre de la méthanisation en digesteur :

A l'état naturel, on observe la production de biogaz dans les marais, les rizières ou dans le tube digestif des ruminants. Le principe des unités de méthanisation est de recréer et d'optimiser ce phénomène dans des digesteurs puis de capter ce biogaz pour le valoriser énergétiquement. Cependant il est à noter que pour une bonne méthanisation, il faut effectuer un tri qui aboutit à la séparation des déchets (déchets dangereux, déchets valorisables, matières organiques.) si la collecte sélective des déchets ménagers n'est pas réalisée. La mise en œuvre de la méthanisation en digesteur va dépendre de plusieurs paramètres, parmi les principaux nous retiendrons : le type de digesteur, la température, le pH, les substances

inhibitrices, le mixage dans des proportions définies, le rapport C/N, le taux de charges organiques ...

2.2.1. Les différentes 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 pour les digesteurs de grande taille,

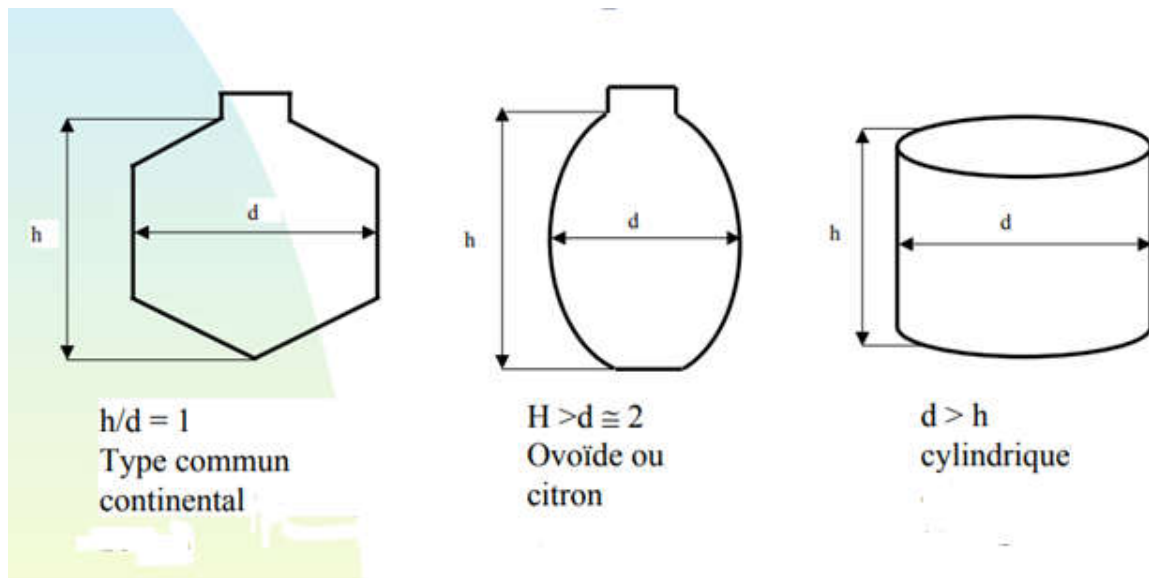


Figure 2 2:Schéma des déférentes formes des digesteurs.[7]

La plus répandue, la forme continentale 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). On trouve aussi les formes ovoïdes et «cylindriques» avec toit et fond plat.

2.2.2. Types de digesteurs :

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 différents microorganismes se côtoient pour dégrader biochimiquement les déchets et 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 classer les digesteurs selon [11] :

- Le mode d'alimentation : batch, continu ou semi-continu ;
- Le type de substrat : solide, semi-solide ou liquide ;
- Le nombre d'étapes : mono- ou bi-étape selon que la méthanogenèse et l'acidogenèse se déroulent dans le même réacteur ou dans deux cuves séparées.

2.2.2.1. Mode d'alimentation :

2.2.2.1.1. Le digesteur batch ou discontinu :

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

2.2.2.1.2. Digesteur continu :

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

2.2.2.2. Type de substrats :

Cette classification des digesteurs est fonction de la teneur en matière sèche des matières organiques qui affecte leur consistance.

⇒ Solide : teneur en matière sèche > 15%

⇒ Semi-solide ou pâteux : teneur en matière sèche comprise entre 5 et 15 %

⇒ Liquide : teneur en matière sèche inférieure à 5 %.

Selon que la teneur en matière sèche des déchets soit supérieure ou inférieure à 15%, on parle de fermentation sèche dans le premier cas et de fermentation humide dans le second. Ainsi plusieurs constructeurs ont développé des procédés pour l'un ou l'autre cas : on parle alors des méthaniseurs horizontaux avec agitation mécanique pour la fermentation humide et verticaux sans agitation mécanique pour la fermentation sèche [12], [13].

2.2.2.3. Etapes :

2.2.2.3.1. mono-étapes :

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 MS.[9]

2.2.2.3.2. procédés bi-étapes :

Sont caractérisés par le fait que l'hydrolyse et l'acidification sont nettement séparées de la phase suivante de méthanisation. 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 les courts temps de décomposition de la matière solide, de l'ordre de quelques jours. Cette séparation des phases réduit le risque d'intoxication des cellules méthanogènes liée à la présence d'acides gras volatils lorsque l'étape d'acidogénèse n'est pas complètement terminée car trop rapide par rapport à la capacité d'assimilation des micro-organismes méthanogènes.[9]

2.2.2.3.3. mixtes ou intégrés :

Certains digesteurs sont dits **mixtes** ou **intégrés**. Plus exactement, c'est l'installation et non le digesteur qui est mixte. Le principe consiste à faire subir au substrat organique une digestion anaérobie et récupérer le sous-produit qui est ensuite stabilisé par l'étape de compostage. Ces procédés mixtes permettent la réduction des systèmes de traitement du liquide issu du digesteur anaérobie, ce dernier servant en grande partie pour l'humidification du compost. Le second avantage est la stabilisation quasi totale du substrat organique en raison de la complémentarité des deux systèmes.[9]

2.2.3. La température :

La digestion anaérobie se décline sous trois types différents suivant la température :

- lorsque la température est inférieure à 20°C ,la digestion est de type psychrophile,

- lorsque la température est comprise entre 28 °C et 45°C, la digestion est de type mésophile,
- lorsque la température est supérieure à 45°C, la digestion est thermophile.

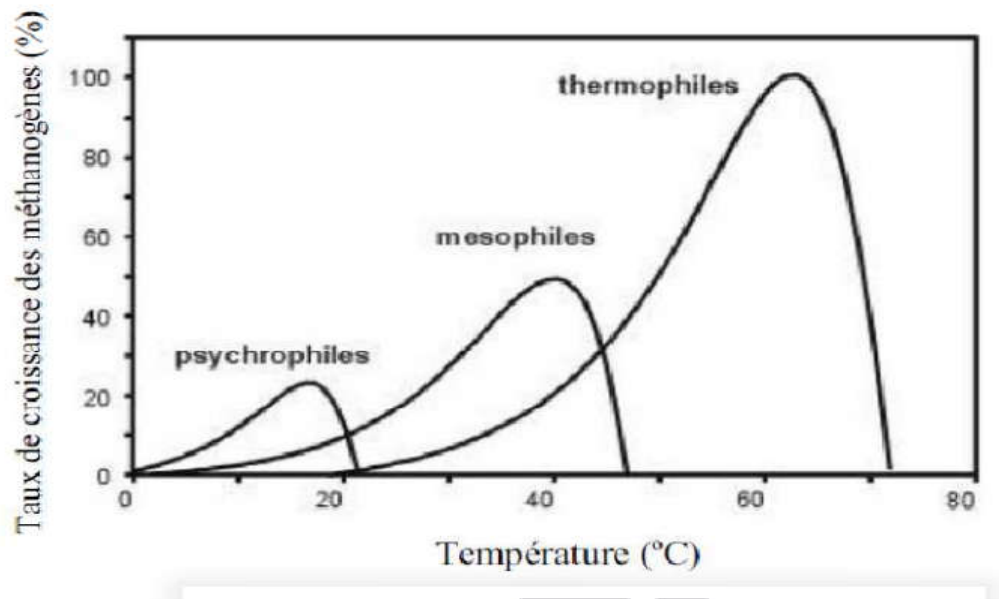


Figure 2 3: Effet de la température sur le taux de croissance des méthanogènes. [10]

2.2.4. Le pH

C'est l'un des plus importants facteurs d'adaptation des populations bactériennes. Les bactéries acétogènes restent actives jusqu'à un pH de 5, mais les bactéries responsables de la méthanisation sont inhibées dès que le pH descend en-dessous de 6,2. C'est pourquoi la zone théorique optimale de pH à respecter s'étend de 6,8 à 7,2. Dans le cas d'une chute de pH due à une augmentation de la concentration en acides gras, un ajout de soude ou de chaux, au niveau de l'alimentation en boues fraîches épaissies ou directement dans le digesteur, permet le maintien du pH.[14]

2.2.5. Le Taux de charges organiques

On distingue deux types de charge :

- la charge volumique appliquée (CVA) qui correspond à la quantité quotidienne de matières organiques introduites par unité de volume du réacteur biologique. Les unités généralement utilisées sont des kg MO/m³.j (MO : Matière Organique) dans les domaines de l'agriculture et des collectivités, ou des kg DCO/m³.j (DCO : Demande Chimique en Oxygène) dans le domaine de l'agro-industrie.

- La charge massique appliquée (CMA) qui correspond à la quantité quotidienne de matières organiques introduites par quantité de biomasse présente dans le digesteur (kg

DCO/kg MVS.j). Un taux de charge trop élevé peut amener à l'arrêt de la digestion anaérobie due à une présence trop importante d'acides gras.[14]

2.2.6. Le mixage :

L'objectif du mixage dans un digesteur est de mélanger la matière fraîche entrante avec du digestat contenant des bactéries. De plus, le mixage empêche la formation d'une croûte et évite les gradients de température. Néanmoins un mixage excessif peut rompre les colonies bactériennes, c'est pourquoi un mixage lent est préférable.[14]

2.2.7. Le rapport carbone/azote (C/N) :

Le rapport carbone / azote (C / N) est une mesure de la quantité relative de l'azote et du carbone organique présent dans la charge. Si le rapport C / N est très élevé, les déchets utilisés comme substrat auront une carence en azote, ce qui est pourtant nécessaire pour développer des communautés bactériennes. En conséquence, la production de gaz sera faible. Si le rapport C / N est très faible, l'azote est libéré et s'accumule sous forme d'ammoniac. Cela permettra d'accroître la valeur du pH de la matière et un pH supérieur à 8,5 sera toxique sur les communautés bactériennes méthanogènes. Ainsi un rapport C/N de 20-30 est considéré comme optimal pour un digesteur anaérobie [14].

2.3. CARACTERISTIQUES DU BIOGAZ :

Un des intérêts de la digestion anaérobie réside dans le biogaz produit qui est valorisable. Il est majoritairement composé de méthane (CH₄), de dioxyde de carbone (CO₂), et dans une moindre mesure de sulfure d'hydrogène (H₂S), di azote (N₂), voire de dihydrogène(H₂) et de composés volatils.

Tableau 2 1:Composition moyenne du biogaz.[24]

Gaz	%
méthane (CH ₄)	55 à 65
carbonique (CO ₂)	35 à 45
l'hydrogène sulfureux (H ₂ S)	1 à 2
l'hydrogène (H ₂)	1 à 2
l'ammoniac (NH ₃)	1 à 2

Vapeur d'eau (H ₂ O)	6
Monoxyde de Carbone (CO) l'azote (N ₂) Oxygène (O ₂)	< 1

Tableau 2 2:Composition du biogaz selon les origines.[24]

Composants	Ordures ménagères	Boues de STEP	Déchets agricoles	Déchets de l'industrie agro-Alimentaire
CH ₄ % vol	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂ % vol	38-34	33-19	34-20	26
N ₂ % vol	5-0	1-0	1-0	–
O ₂ % vol	1-0	< 0,5	< 0,5	–
H ₂ O % vol	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)
H ₂ S mg/m ³	100 – 900	1000 –4000	3000 – 10 000	400

2.3.1. Les équivalences énergétiques du biogaz :

1m³ de biogaz; contenant 70% de méthane et 30% de gaz carbonique, libère par combustion environ 6000 Kcal. Son pouvoir calorifique peut être comparé à celui d'autres combustibles ou d'autres sources énergétiques [15].

1m³ de biogaz (70% CH₄ et 30% CO₂) équivaut énergétiquement à :

0.81 L d'essence ;

1.2 L d'alcool a brûlé ;

0.7 L de mazout ;

0.9 Kg de charbon ;

1.5 Kg de bois ;

6.8 Kw/h d'électricité ;

0.66 m³ de gaz naturel.

Après sa purification (élimination en grande partie du CO₂ et du gaz corrosif H₂S), le pouvoir calorifique supérieur (PCS) d'un (Nm^{3*}) de biogaz peut atteindre les 9,55 kWh/Nm³ ce qui représente l'équivalence de :

1,1 litre d'essence.

1 litre de gasoil.

0,93 litre de gaz butane.

(*) Nm³ = normal m³, correspond à un volume occupé par le gaz dans les conditions dites 'normales', c'est-à-dire à 273.15 °K et 101 325 Pa. Selon la loi des gaz parfaits, une mole de gaz occupe 22.4 10⁻³ m³ dans les conditions normales. Connaissant la masse molaire du gaz, on peut en déduire le volume occupé par une masse déterminée de gaz dans les conditions normales

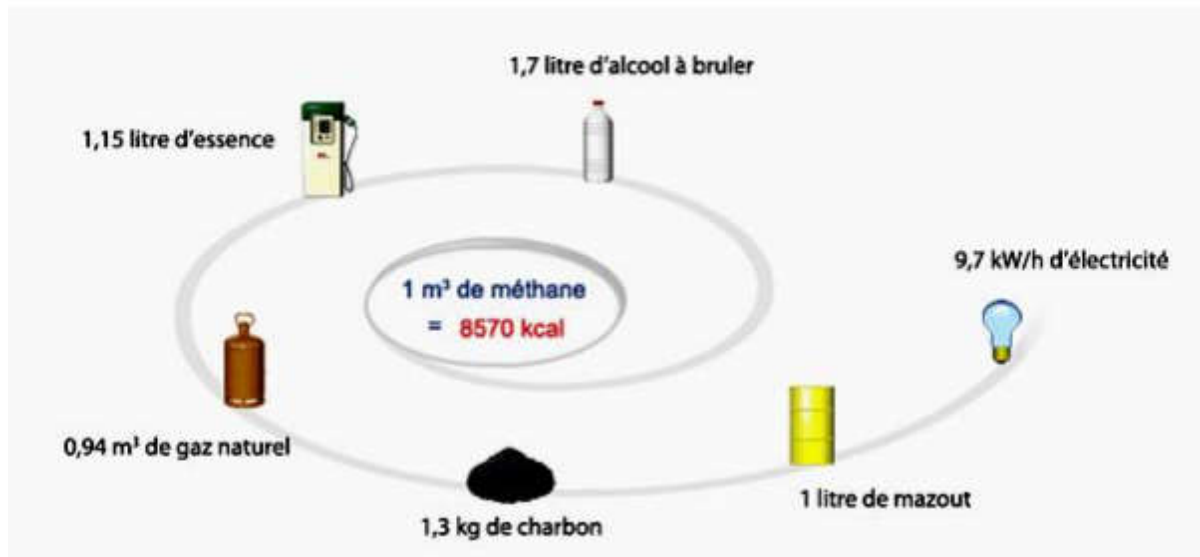


Figure 2 4:Équivalence d'1 m³ de méthane.[15]

Le tableau ci-dessous cité les différents composants à éliminer pour assurer le mode de valorisation

Tableau 2 3:Composés à éliminer selon le type de valorisation.[16]

Mode de valorisation	Chaleur	Electricité-cogénération	Injection au réseau local de distribution de gaz	Carburant
Composés à éliminer	Eau, H ₂ S	Eau,H ₂ S, Organohalogénés	Eau,H ₂ S,Organo-halogénés,CO ₂ ,Métaux, Oxygène	Eau, H ₂ S, Organohalogénés, CO ₂ , Métaux

Le tableau ci-dessous cité les différents technique d'éliminations des composants de biogaz et on a l'explication de chaque technique dans le paragraphe « II-4-2» [17]

Tableau 2 4:La différente technique d'éliminations des composants de biogaz. [17]

Composés à éliminer	Techniques
Eau	Elimination de la vapeur d'eau à l'aide d'un purgeur (piège à l'eau)
Souffre	Adsorption sur charbon actif, ajout de chlorure de fer, le passage du biogaz dans un filtre d'oxyde de fer
Organohalogénés	Adsorption sur charbon actif
CO ₂	Barbotage du biogaz dans une solution de chaux

2.3.2. Épuration du biogaz en sortie du digesteur :

Lorsque le biogaz produit à partir de boues de station d'épuration sort du méthaniseur, il est composé de deux gaz principaux : le méthane (60 % - 70 %) et le dioxyde de carbone (30 % - 40 %). A ces gaz s'ajoutent de petites quantités d'eau, d'hydrogène sulfuré, d'azote, d'oxygène et de composés organiques. Pour pouvoir valoriser le biogaz, il faut éliminer l'eau, les composés organiques volatils (COV) et l'hydrogène sulfuré (H₂S) car ces gaz sont responsables de la dégradation des canalisations et des moteurs. Cette étape est appelée épuration du biogaz (voir figure ci-dessous) :

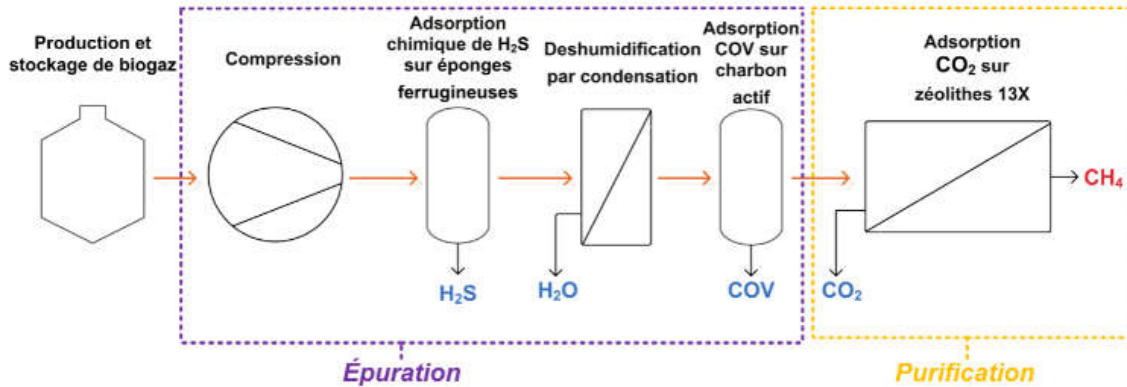


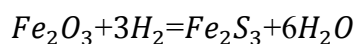
Figure 2 5:Schéma récapitulatif des procédés d'épuration et de purification du biogaz[17]

2.3.2.1. Élimination de l'hydrogène sulfuré (H₂S) :

Principe :

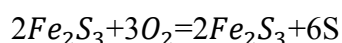
Ce composé provient de la dégradation des protéines et d'autres composés soufrés et doit être éliminé pour éviter la corrosion des canalisations et le rejet d'oxyde de soufre dans les fumés. Il existe plusieurs méthodes d'élimination de l'hydrogène sulfuré telles que la désulfuration biologique

L'adsorption chimique de H₂S sur des éponges ferrugineuses (Fe₂O₃) est le premier traitement d'épuration du biogaz. Ce traitement se fait ici à température ambiante et à une pression de 7 bars obtenue précédemment lors de la compression du biogaz. Cette compression permet de limiter les volumes de gaz à traiter. L'hydrogène sulfuré précipite avec les oxydes de fer (III) pour former du sulfure de fer (III) solide, qui reste fixé sur le filtre, et de l'eau.[17]



La présence d'eau dans le biogaz améliore le procédé en permettant une meilleure solubilisation de H₂S à la surface des hydroxydes. De plus, la réaction libère de l'eau. La déshumidification se fait donc après l'extraction de l'hydrogène sulfuré.

Les éponges ferrugineuses sont ensuite régénérées par oxydation au dioxygène avant d'être réutilisées. Plusieurs colonnes sont donc nécessaires au procédé pour un fonctionnement en continu.[17]



2.3.2.2. Élimination de l'eau :

Principe:

La présence d'eau dans le biogaz favorise les effets de corrosion des installations par les autres composés. Elle diminue également le Pouvoir Calorifique Inférieur du biogaz lors de la combustion. Enfin, elle diminue l'efficacité du traitement des COV. L'eau est ici éliminée par condensation en combinant une compression (7 bars) et un refroidissement (proche de 0°C). Ce procédé permet également d'éliminer les traces d'ammoniac présentes dans le biogaz. En effet, grâce à la forte solubilité de NH₃ dans l'eau, ce composé est éliminé dans l'effluent liquide produit lors de l'étape de condensation[17]

2.3.2.3. Élimination des Composés Organiques Volatils :

Principe :

Parmi les COV, on retrouve principalement :

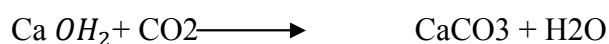
- des composé halogénés (Cl, F) et organo-soufrés (S). Lors de la combustion du biogaz, ces composés peuvent former des acides corrosifs (HCl, HF, H₂SO₃, H₂SO₄) qui endommagent les pièces du moteur.
- des siloxanes. Ces composés sont présents dans un très grand nombre de produits antropogéniques (cosmétiques, silicones) et contiennent du silicium. Lors de la combustion, les siloxanes sont oxydés et des dépôts de silice se forment sur les pièces du moteur, diminuant son efficacité et sa longévité.

Les COV sont éliminés par adsorption sur des charbons actifs qui garnissent des colonnes placées en parallèles alternant des cycles d'adsorption/régénération (Thermal Swing Adsorption TSA). La régénération se fait par traitement par la vapeur à haute température (250 °C) qui entraîne les COV et permet la réutilisation de la colonne.[17]

2.3.2.4. Élimination de co2 :

Principe :

Le CO₂ est éliminé en réagissant avec la chaux selon le mécanisme suivant [17]



2.3.3. La valorisation de biogaz :

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre plusieurs formes: La production de la chaleur : le biogaz est brûlé dans une chaudière classique. La production séparée de chaleur et d'électricité: d'une part le biogaz est brûlé dans une chaudière et d'autre part dans un moteur thermique relié à un alternateur qui produit de l'électricité. La production combiné de chaleur et l'électricité ou la cogénération : le biogaz alimente un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité et de la chaleur est récupérée dans les gaz d'échappement et au niveau du moteur. L'injection de biogaz dans le réseau de gaz de ville après épuration. Un carburant pour automobile: une unité traitant 20000 t/an de déchets peut produire une quantité carburant qui permet à 2000 voitures de parcourir 10000 Km/an.[18]

2.3.4. Cogénération et tri-génération :

2.3.4.1. Cogénération :

La cogénération permet de produire à la fois de l'énergie de travail (électrique ou mécanique), et de l'énergie thermique. Ce système de production d'énergie offre des rendements très élevés, de 80 à 95%. La cogénération permet avant tout de réaliser des économies d'énergie primaire. L'énergie mécanique est produite par un moteur ou une turbine, et plutôt que de perdre l'énergie thermique dans une tour de refroidissement, la chaleur est récupérée ; elle peut servir par exemple à chauffer des fermenteurs méthanogènes, à sécher des digestats, à produire de l'eau chaude, ou encore à alimenter un système de chauffage ou de climatisation. L'électricité peut être utilisée sur place, ou bien revendue lorsqu'elle est produite en excès [191]

2.3.4.2. Tri-génération

Les systèmes de tri-génération permettent de produire à la fois de l'énergie mécanique, et de l'énergie thermique sous forme de chaleur et de froid. La tri-génération saisonnière est une combinaison d'un système de cogénération chaleur-électricité pour l'hiver et froid-électricité pour l'été. Les hôpitaux, bureaux ou aéroports sont des clients pour cette technologie. La tri-génération permet de mieux rentabiliser une installation de cogénération grâce à une durée d'utilisation plus élevée sur l'année.[19]

2.3.5. Biogaz carburant et injection dans le réseau local de gaz :

2.3.5.1. Biogaz carburant :

Le biogaz est une alternative aux carburants traditionnels ; il permet de réduire les émissions atmosphériques (20 à 30% de réduction des émissions de CO₂ d'origine fossile, réduction de l'émissions de particules,...). De nombreuses collectivités et entreprises ont investi dans des flottes de véhicules roulant au gaz naturel pour véhicule. L'utilisation de ce carburant est moins répandue chez les particuliers en raison du faible déploiement des stations de remplissage. Ce mode de valorisation est assez exigeant car les caractéristiques du biogaz doivent être similaires à celles du gaz naturel ; il est donc nécessaire d'augmenter les proportions de méthane jusqu'à 97%. Le biogaz devant être comprimé, il est essentiel de réduire sa teneur en vapeur d'eau pour éviter la formation de glace au moment de la compression. La rentabilité de ce mode de production dépend avant tout de la composition du biogaz brut, et du niveau de purification à lui apporter. [20]

2.3.5.2. Injection dans le réseau local de gaz :

L'injection du biogaz dans le réseau de gaz de ville est la dernière filière de valorisation. Les contraintes en termes de qualité du biogaz sont dictées par le gestionnaire du réseau. Ces spécifications portent avant tout sur la teneur en méthane, les composés organo méthane, et les composés organo-halogénés.[20]

2.3.6. Le substrat:

les substrats qui peuvent faire l'objet d'un traitement par digestion anaérobie sont essentiellement : Les effluents d'élevage ; Les eaux usées urbaines ; Les déchets agro-alimentaires ; La fraction organique des ordures ménagères.

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, les eaux usées urbaines .

-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/m³.

-Eaux usées urbains :

Nous avons vu que les différents systèmes d'épuration des eaux usées urbaines par voie aérobie produisent des boues activées, récupérées au niveau des décanteurs ou clarificateurs, et qui alimentent très fréquemment des digesteurs anaérobies. Bien que ces boues puissent parfois donner lieu à une valorisation intéressante, notamment en agronomie, l'objectif du traitement anaérobie est avant tout l'obtention d'une meilleure stabilisation, en particulier afin de réduire les nuisances olfactives et les volumes c'est ainsi que plusieurs auteurs Mottet et Ffèbi ont consacré leurs premières recherches essentiellement sur ce type de substrat pour le procédé de la méthanisation

2.4. Avantages et Inconvénients de la Méthanisation :

2.4.1. Avantages :

- Diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Lors de la biométhanisation, le méthane, qui a un impact sur le réchauffement climatique 21 fois plus important que le CO₂, n'est plus libéré de façon incontrôlée dans l'atmosphère. Une double réduction des émissions de GES est réalisée d'une part, en évitant les émissions de méthane et d'autre part, en évitant les émissions de CO₂ résultants de la combustion d'énergie fossile, grâce à la valorisation énergétique du biogaz

- Réduction des odeurs.

Une grande partie des odeurs émises par les effluents organiques sont dues à la présence de matière organique en décomposition et spécialement aux acides gras volatils.

Dans les déchets biométhanisés, toute la matière organique facilement dégradable a été détruite. En conséquence, la biométhanisation permet de désodoriser partiellement les substrats.

De plus dans ce type d'installation, les déjections restent en permanence confinées à l'abri de l'air ce qui limite les émissions d'odeurs.

- Hygiénisation

En terme d'hygiénisation, la biométhanisation permet de réduire en partie la teneur en germes pathogènes, ainsi que de détruire les graines de mauvaises herbes qui peuvent être présentes dans les déjections, les fumiers ou les plantes énergétiques.[21]

2.4.2. Inconvénients :

- Investissement important.

Le principal inconvénient de la biométhanisation réside dans la lourdeur des investissements à consentir qui, malgré des frais de fonctionnement très faibles, sont économiquement assez dissuasifs

- Pas de diminution de la charge polluante.

La biométhanisation ne constitue pas une solution définitive aux problèmes de la charge polluante des élevages. En effet, les excédents en azote et phosphate provenant des élevages ne sont pas éliminés et le volume des effluents n'est que faiblement diminué.[21]

2.5. Avantages et Inconvénients De La Digestion Anaérobie :

Les avantages de la digestion anaérobie sont :

- Une réduction de la matière sèche des boues
- Une production d'un Biogaz valorisable sous forme d'énergie (chauffage, cogénération d'électricité)
- Une réduction du nombre de micro-organismes pathogènes
- Une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en oxygène

Cependant, elle comporte aussi quelques inconvénients :

- Une forte sensibilité aux variations de charges et aux composés toxiques
- Une dégradation plus lente que pour les substrats verts.
- Des coûts d'investissement importants
- les populations microbiennes sont sensibles aux perturbations, en particulier à l'oxygène et aux métaux lourds ou encore aux surcharges organiques et le procédé se révèle souvent instable ;
- Le traitement par digestion anaérobie est souvent insuffisant pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel : un post-traitement aérobie de finition est nécessaire pour achever l'élimination du carbone et éventuellement de l'azote et du phosphore [22]

2.6. Evaluation des impacts environnementaux :

Outre les effets favorables de la filière bio-méthanisation sur la diminution des émissions de gaz à effet de serre, il y a lieu d'évaluer les impacts de la mise en œuvre d'une unité de bio-méthanisation sur l'environnement naturel et humain.[23]

- Impact paysager.

Une unité de bio-méthanisation de type agricole occupe une superficie de 30 à 80 ares et rassemble au maximum :

- une fumière couverte ou non servant au stockage de fumier ;
- une pré-fosse ou pré-digester, un digester, un post-digester et une cuve de stockage final.

Ceux-ci peuvent être totalement enterrés, semi-enterrés ou hors sol, de forme ronde ou rectangulaire, en béton, en acier ou bardés de bois, présentant des impacts paysagers variables.

Les volumes des digesteurs, cuve finale, sont variables de $\pm 500 \text{ m}^3$ à 3000 m^3 ce qui peut présenter des dimensions maximales de l'ordre de 10 à 25 m de diamètre et 8 m de haut. Les cuves sont couvertes soit de béton (rarement) soit d'une géomembrane noire qui se gonfle sous la pression du biogaz :

- un bâtiment technique renfermant le bloc moteur, le circuit de chaleur, les compteurs, ...

Considérant :

- la possibilité, en fonction du type de sol et sous-sol, d'enterrer les cuves ;
- la nécessité de clôturer le site et des plantations ;
- la situation en zone agricole ou en zone d'activité économique éloignées des zones d'habitations.
- Les impacts paysagers sont peu importants.

- Impact olfactif.

A l'exception du transport du fumier et du stockage de celui-ci au niveau de la fumière couverte ou non, il n'y a aucun impact en matière d'odeur, le processus étant totalement hermétique tant au niveau des digesteurs, post-digesteurs que du stockage des effluents liquides et du digestat.

Au niveau des moteurs, il y a lieu de signaler dans le cas de moteur fuel un petit dégagement de fumée et CO₂, mais relativement faible.

- Bruit.

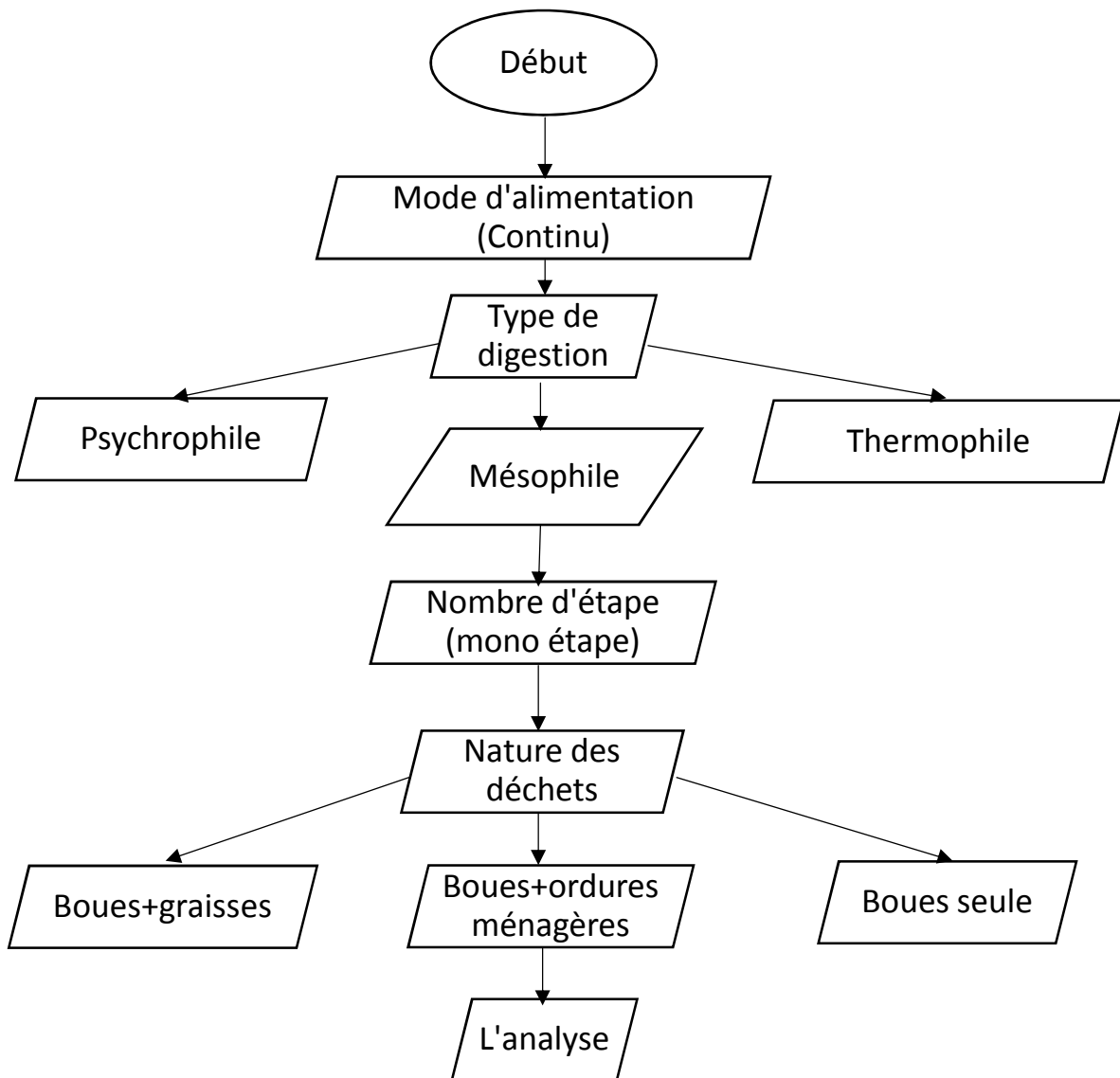
Tant le processus de dégradation des matières organiques que la production d'électricité et de chaleur n'engendrent aucun bruit, le moteur étant placé dans un local technique totalement insonorisé.

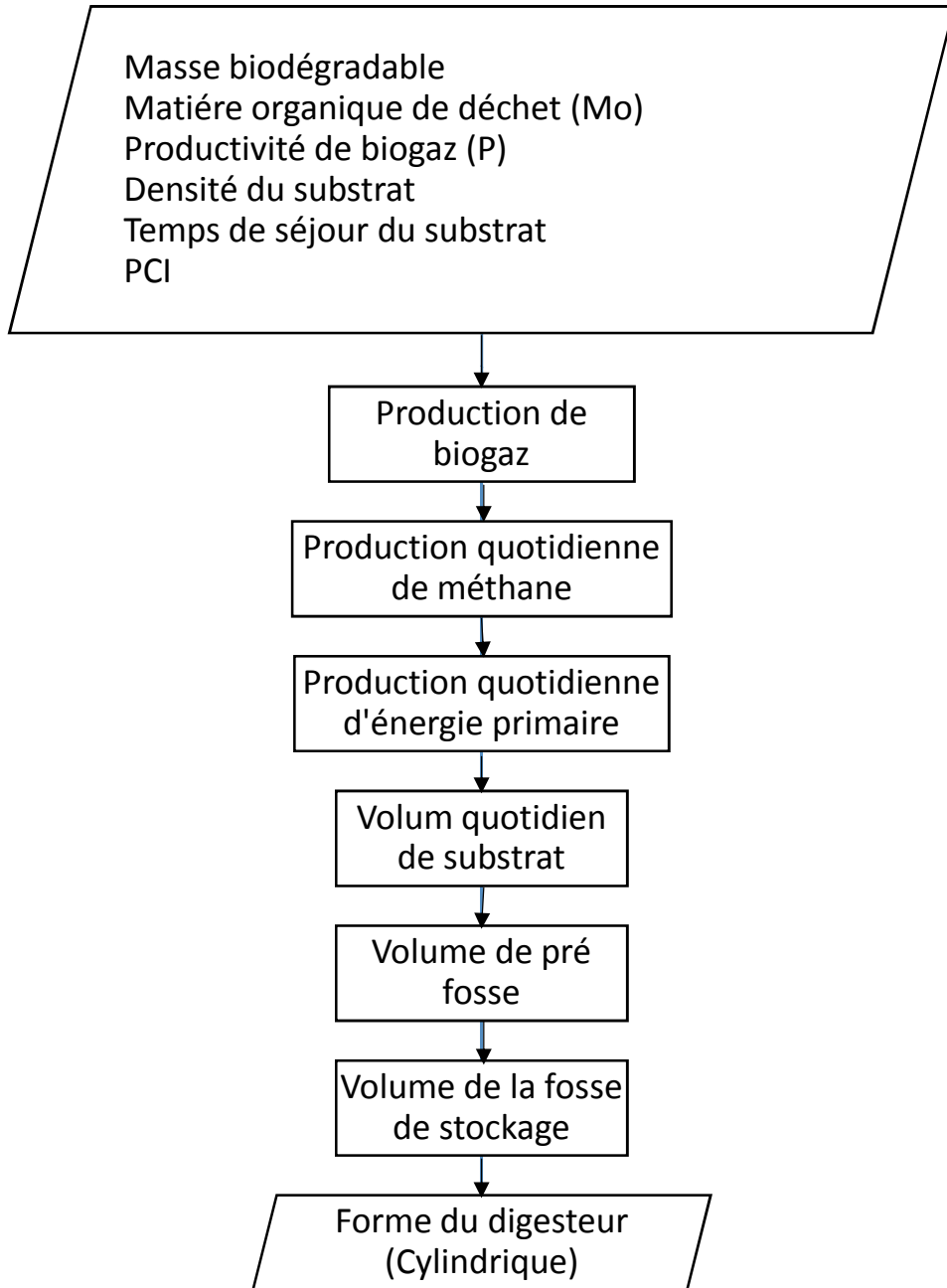
- Sécurité.

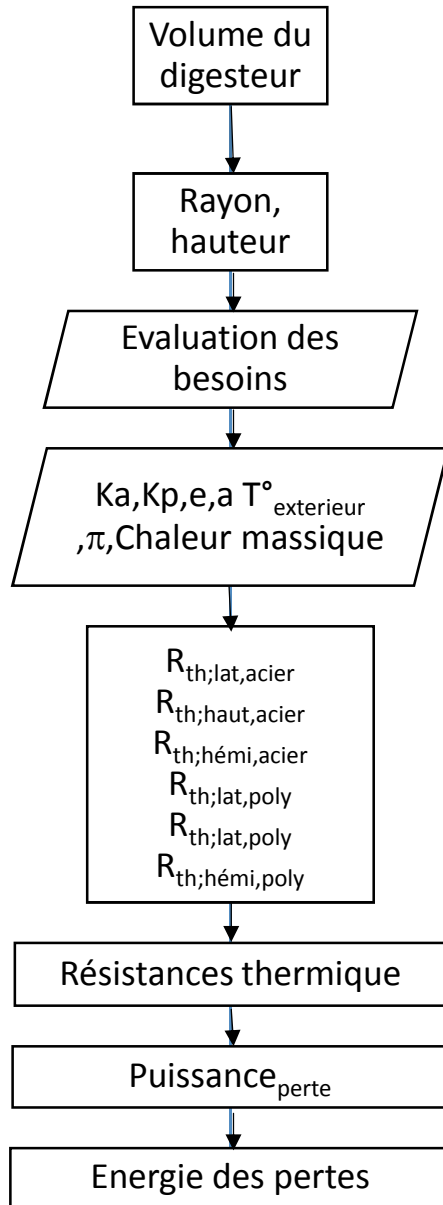
Les risques inhérents au stockage du biogaz et son utilisation au niveau des moteurs sont pratiquement nuls. Il y a toutefois lieu de faire vérifier l'unité par le service incendie, de prévoir des évènements en cas d'explosion au niveau du bâtiment de maintenance des moteurs. Le biogaz stocké au niveau des digesteurs est évacué dans l'atmosphère en cas de surpression.[23]

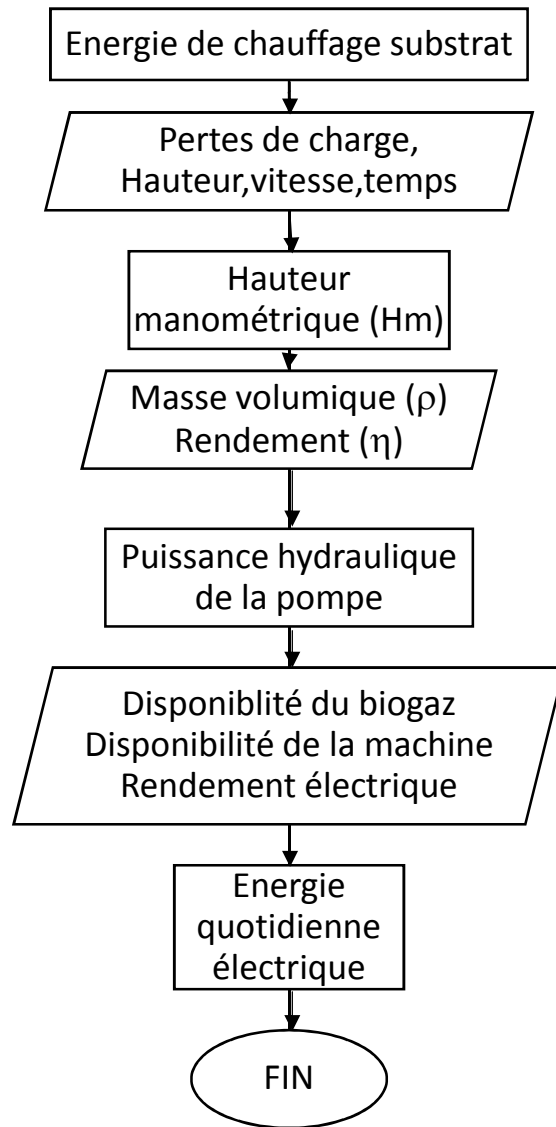
2.7. méthodologies de dimensionnement du digesteur et ses Equipements :

2.7.1. * Organigramme :

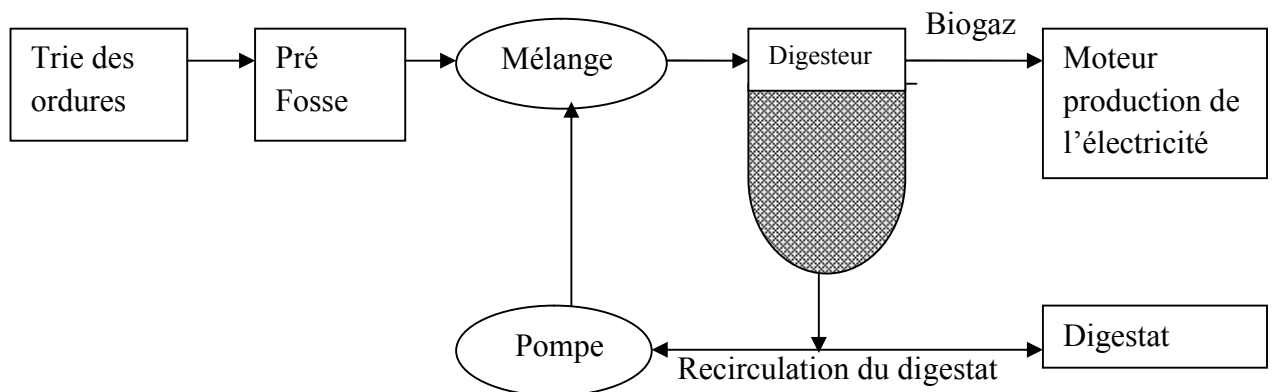








*** Schéma simplificatif du notre machine :**



2.7.2. les Equation et les Donnée utilisé :

Connaissant la masse de déchets disponible par jour M, la composition en matière organique des déchets MO et la productivité (P)du biogaz[25] on a :

$$\text{La production quotidienne du biogaz} = \frac{M \cdot P}{100} * M0 \quad (II-1)$$

M est en tonne par jour et P en m³/t de matière organique[26]

En supposant que le biogaz est composé à 60% de Méthane on obtient :

$$\text{Production quotidienne de méthane} = \text{production quotidienne de biogaz} \cdot \frac{60}{100} \quad (II-2)$$

Connaissant le PCI du méthane qui est de 9.94 KWh/m³, la production quotidienne d'énergie primaire est donnée par :

$$\text{Production quotidienne de l'énergie primaire} = \text{Production quotidienne de méthane} * 9.94 \quad (II-3)$$

Car 1m³ de CH₄ = 9,94 KWh d'énergie primaire

2.7.3. Dimensionnement de la pré fosse :

En estimant la densité des substrats à 1000 kg/m³, le volume de la pré fosse est donnée par :
le volume de la pré fosse = 2 * volume quotidien de substrats (en m³) (II-4)

2.7.4. Dimensionnement de la fosse de stockage :

Le volume de la fosse de stockage dépend de la fréquence d'épandage. Le volume de la fosse de stockage est alors donné par la formule :

$$\text{Le volume de la fosse de stockage} = \text{fréquence d'épandage} * \text{volume quotidien de substrats} \quad (II-5)$$

2.7.5. Dimensionnement du digesteur :

Le digesteur est modélisé par une cuve de forme cylindrique et ayant à sa base inférieur une demi-sphère (Figure 2-2).



Figure 2 6:Forme du digesteur

Le volume total de notre digesteur est calculé comme suit :

$$\text{Volume total} = \text{temps de séjour substrats} * \text{volume quotidien de substrats} \quad (II-6)$$

$$\text{Volume total} = \text{volume de la partie cylindrique} + \text{volume de l'hémisphère.} \quad (II-7)$$

- Cas de la partie cylindrique.

Connaissant le volume de la partie cylindrique, on peut déterminer la surface interne minimale y correspondant. Cette surface est mathématiquement connue pour $H=2*R$. C'est donc ce ratio entre le rayon et la hauteur du digesteur qui va permettre d'avoir le moins de pertes par conduction possible.

Ce ratio n'est cependant pas toujours réaliste. En choisissant la relation entre le rayon et la hauteur $H = X*R$, il est possible de calculer la surface correspondante.

$$H = X*R \text{ (en m) et } R = \sqrt[3]{\frac{\text{volume de cylindre}}{\pi X}} \text{ (en m)} \quad (II-8)$$

- Cas de la partie hémisphérique.

Quant à la partie hémisphérique, son diamètre sera le diamètre du cylindre.

2.7.6. Evaluation des besoins :

- Cas des pertes par conduction pour le digesteur.

On suppose que le digesteur est composé de deux couches de matériaux permettant d'assurer la rigidité et l'isolation de la cuve.

Les caractéristiques de ces deux couches autorisent alors le calcul des volumes et surfaces externes, mais aussi le calcul des pertes thermiques par diffusion (les pertes par convection sont estimées être négligeables).

Le digesteur est alors modélisé de la façon suivante (Figure II-7) pour le calcul des pertes :

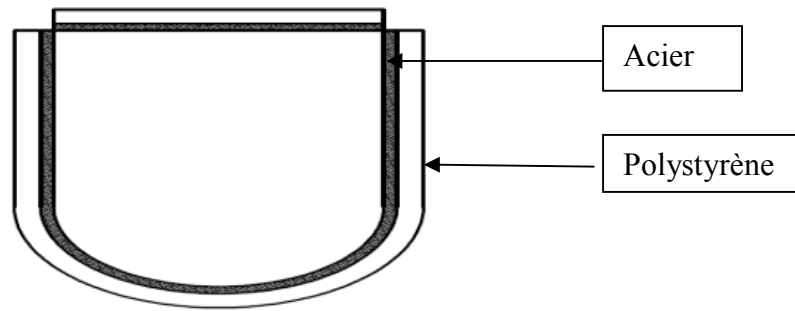


Figure 2 7: Vue en coupe du digesteur

Connaissant la conductivité thermique de l'acier K_a , du polystyrène K_p , l'épaisseur du polystyrène e et l'épaisseur de l'acier a , on peut déterminer les résistances thermiques de la manière suivante :

Partie cylindrique :

$$R_{th.lat.acier} = \frac{1}{k_a} \left[\frac{\ln \left(\frac{R_{int+e+a}}{R_{int+e}} \right)}{2\pi(H_{cylindre+e+a})} \right] \quad (II-9)$$

$$R_{th.lat.polystyrene} = \frac{1}{k_p} \left[\frac{\ln \left(\frac{R_{int+e}}{R_{int}} \right)}{2\pi(H_{cylindre+e+a})} \right] \quad (II-10)$$

$$R_{th.haut.acier} = \frac{1}{k_a} \left[\frac{a}{\pi R_{int}^2} \right] \quad (II-11)$$

$$R_{th.haut.polystyrene} = \frac{1}{k_p} \left[\frac{e}{\pi R_{int}^2} \right] \quad (II-12)$$

Partie hémisphérique :

$$R_{th.hémi.acier} = \frac{1}{2k_a} \left[\frac{\left(\frac{1}{R_{sphere+e}} - \frac{1}{R_{sphere+a+e}} \right)}{4\pi} \right] \quad (II-13)$$

$$R_{th.hémi.polystyrene} = \frac{1}{2k_p} \left[\frac{\left(\frac{1}{R_{sphere}} - \frac{1}{R_{sphere+e}} \right)}{4\pi} \right] \quad (II-14)$$

- La résistance thermique de conduction est alors donnée par :

$$R_{th.haut.acier} = \frac{1}{\frac{1}{R_{th.hémi.acier} + R_{th.hémi.polystyrene}} + \frac{1}{R_{th.haut.acier} + R_{th.haut.polystyrene}} + \frac{1}{R_{th.lat.acier} + R_{th.lat.polystyrene}}} \quad (II-15)$$

Connaissant la différence de température entre l'extérieur du digesteur et l'intérieur (température de digestion),

- on peut calculer les pertes thermiques :

$$Puissance_{perte} = \frac{T^{\circ}_{digestion} - T^{\circ}_{extérieure}}{R_t \text{ de conductiviti}} \quad (w) \quad (II-16)$$

$$Energie \text{ des pertes} = puissance_{perte} \cdot 24 \left(\frac{wh}{jour} \right) \quad (II-17)$$

2.7.7. Chauffage des substrats entrants dans le digesteur :

Connaissant le volume quotidien de substrat, et sa chaleur massique spécifique (en J/kg/°C), on peut calculer l'énergie comme suit :

$$Energie \text{ de chauffage substrats} = \text{Volumquotidien} * (T^{\circ}_{digestion} - T^{\circ}_{extérieure}) \frac{\text{chaleur massique}}{3600} \quad (II-18)$$

2.7.8. Dimensionnement de la pompe :

Cette pompe doit vaincre une hauteur H

$$Puissance \text{ hydraulique de la pompe} \quad P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Hm \cdot Q}{\eta} \quad (II-19)$$

Où ρ est la masse volumique des ordures ; g l'accélération de la pesanteur ; Q le débit volumique de sortie des ordures du digesteur et η le rendement.

2.7.9. Détermination de la quantité d'énergie produite :

Nous utiliserons la cogénération étant donné que nous aurons besoin de l'énergie thermique pour chauffer la biomasse à l'intérieur du digesteur. En général, la disponibilité des moteurs à gaz est comprise entre 97 % et 90 %.

- Production de l'énergie électrique. :

Connaissant la quantité quotidienne d'énergie primaire et le rendement électrique on en déduit que :

$$E_{\text{électrique}} = \text{Dispo}_{\text{gaz}} \cdot \text{Dispo}_{\text{machine}} \cdot \text{Production quotidienne d'énergie primaire} * \eta_{\text{électrique}} \quad (\text{II-20})$$

2.8. Réalisation d'interfaces graphiques Avec NetBeans (Java Application) qui contient toutes les équations et les informations mentionnées dans le paragraphe (II-8) :

.Création d'un projet Dans le menu File :

On va Créer un projet en choisissant : New Project.

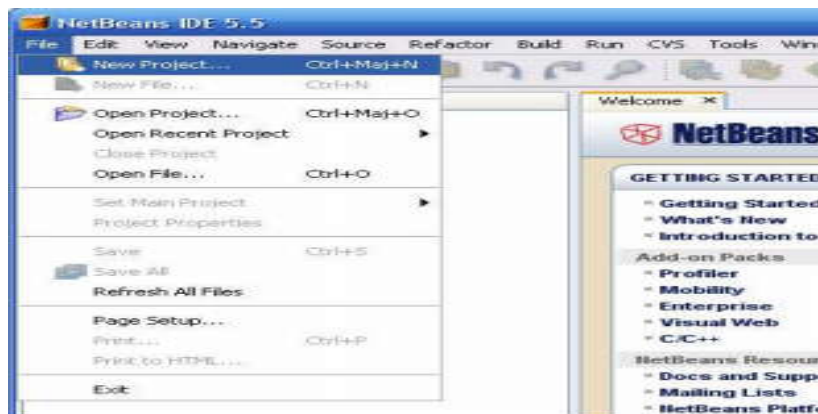


Figure 2 8:Création d'un projet

Dans le menu New Project, on choisissons Java Application.

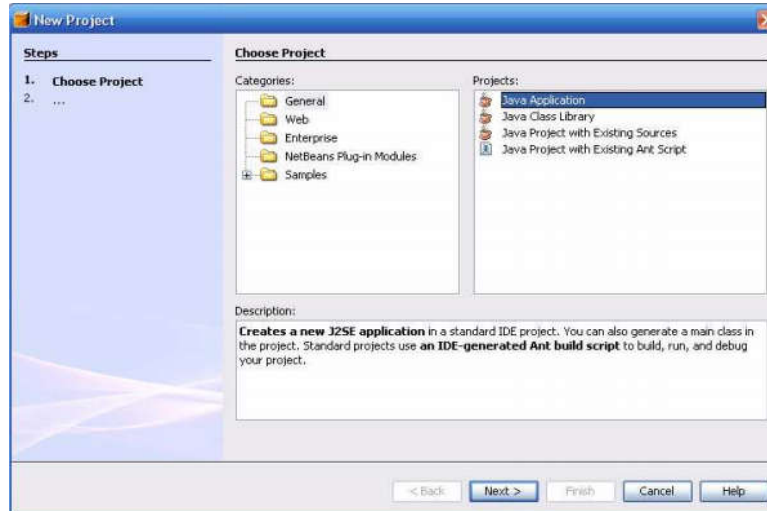


Figure 2 9: le choix de l'application

Après avoir choisi ce programme en question (qui est java application) et après insertion des différentes équations ainsi que toutes les données dont on aura besoin, on est arrivé a une interface du logiciel de calcul qu'on avait créé, et voila en ce qui suit les différentes étapes a suivre afin d'arriver a déterminer l'ensemble des valeurs et donnees importantes pour une meilleure modélisation.

- On a une page d'accueil qui contient un titre et le nom de l'auteur
On click sur suivant :



Figure 2 10: Interface d'accueil

- Lorsque vous appuyez sur le bouton suivant, vous obtenez une fenêtre (paramétrage) contenant un ensemble d'informations que vous devez choisir :



Figure 2 11: paramétrage

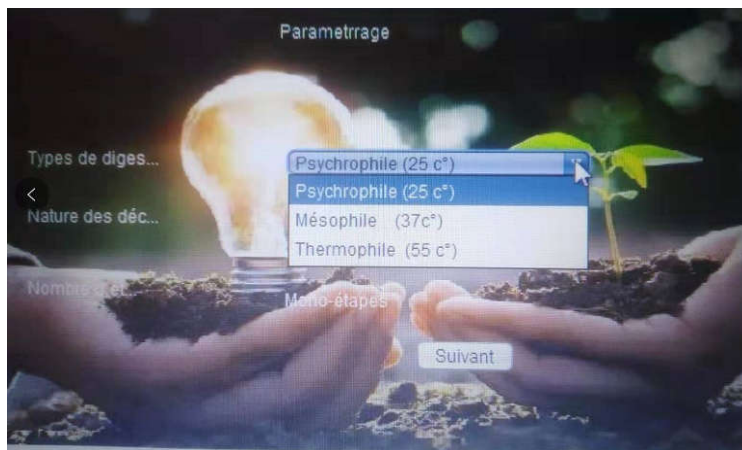


Figure 2 12: paramétrage (température)

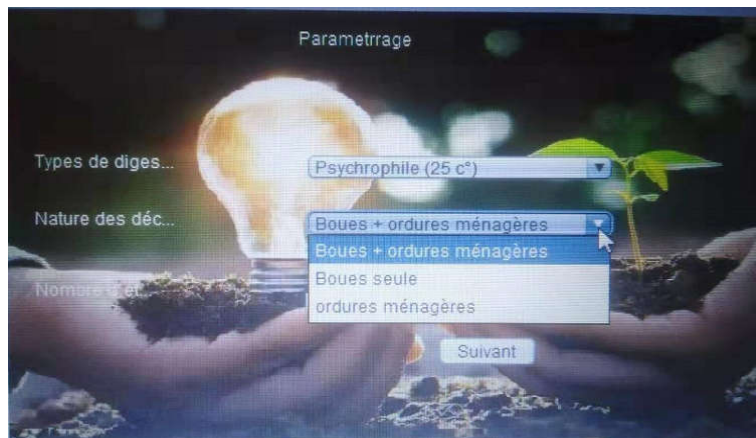


Figure 2 13: nature de déchets

- Lorsque vous choisissez ces informations, cliquez sur le bouton suivant, Vous obtiendrez une autre fenêtre (Analyse) contenant un ensemble d'informations que vous devez remplir.
Puis cliquez sur le bouton suivant

Analyse

Masse biodégradable [T/J]

Matière organique [T/J]

Productivité de biogaz [m³/J]

Fréquence d'irradiation [1/s]

densité de substrat [g/m³]

temps de séjour de la matière [J]

puissance calorifique inférieure [KWh]

volume quotidien de substrats [m³]

Suivant

Figure 2 14: analyse de substrat

- Ensuite, vous obtiendrez les résultats que vous souhaitez connaître

Résultat d'analyse

Production de biogaz [m³]

Production quotidienne de méthane [m³/j]

Production quotidienne d'énergie [KWh/j]

Volume de pré fosse [m³]

Volume de la fosse de stockage [m³]

volume total de digesteur [m³]

rayon du digesteur=rayon du digesteur [m]

hauteur du digesteur [m]

Suivant

Figure 2 15:Résultats d'analyse

- Après avoir cliqué sur le bouton suivant , Vous obtiendrez une nouvelle fenêtre qui contient toutes les informations à utiliser et qui doivent être remplies pour obtenir les résultats que vous souhaitez connaître.

Lorsque vous remplissez les informations, cliquez sur le bouton suivant

Chapitre 2 : Généralité sur la méthanisation

conductivité thermique de l'acier K_a [W/m.K]	<input type="text"/>	Hauteur manométrique [m]	<input type="text"/>
conductivité thermique du polystyrène k_p [W/m.K]	<input type="text"/>	débit volumique de sortie des ordures du digesteur [m ³ /h]	<input type="text"/>
Epaisseur du polystyrène e [m]	<input type="text"/>	rendement [%]	<input type="text"/>
Epaisseur de l'acier a [m]	<input type="text"/>	disponibilité de gaz [%]	<input type="text"/>
Température extérieure [C°]	<input type="text"/>	disponibilité de moteur [%]	<input type="text"/>
Chaleur massique [J/Kg.K]	<input type="text"/>	rendement électrique [%]	<input type="text"/>
masse volumique du substrat [kg/m ³]	<input type="text"/>		
Accélération de la pesanteur [m/s ²]	<input type="text"/>		

Figure 2 16: insertion de données

- Lorsque vous appuyez sur le bouton suivant vous obtiendrez les résultats que vous souhaitez connaître

résistances thermiques lateral acier [W/m ² .K]	NaN
résistances thermiques lateral polystyrène [W/m ² .K]	NaN
résistances thermiques haut acier [W/m ² .K]	NaN
résistances thermiques haut polystyrène [W/m ² .K]	NaN
résistances thermiques hémisphère acier [W/m ² .K]	NaN
résistances thermiques hémisphère polystyrène [W/m ² .K]	NaN
résistance thermique de conduction [W/m ² .K]	NaN
puissance des pertes [Wh/J]	NaN
Energie des pertes [Wh/J]	NaN
Energie de chauffage substrats [Wh/J]	0.0
Puissance hydraulique de la pompe [W]	NaN
Energie électrique [K...]	0.0

Figure 2 17: résultats

Conclusion :

Pour conclure, nous avons parlé sur la méthanisation la méthodologie du dimensionnement du digesteur et les différents équipements qu'on avait intégré dans le logiciel de calcul NETBEANS (Java Application), suivi d'un organigramme, qui nous a permis de faciliter la tâche afin de mieux comprendre et saisir les importantes étapes à suivre relatives au développement de l'interface pour le dimensionnement d'un système de production d'électricité à partir de la biomasse.

Chapitre III:

ETUDE EXPERIMENTALE

3. Chapitre III : Etude Expérimentale

3.1. Introduction :

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

3.2. Description du digesteur réalisé et dispositif utilisé :

Le digesteur réalisé est un réacteur de type discontinu. Ce réacteur a une capacité totale de 20 L, en plastique, très simple, permettant d'assurer l'anaérobie du milieu de culture. Dans la partie suivante nous allons parler de toutes les étapes de réalisation de ce digesteur.

3.3. Les étapes de réalisation :

La cuve utilisée d'une capacité de 20 l on a mais un system de tige agitatrice de 60 cm incluse dans le digesteur et branchée à l'électricité. Pour garder l'étanchéité du digesteur on utilise une roulement pour la rotation de la tige.



Figure 3 1:roulement

Le réacteur est muni de trois trous, le premier pour l'évacuation du biogaz, le deuxième pour le compostage (vidange). La troisième sortie est réservée à l'agitateur mécanique (homogénéiser le substrat à l'intérieur de digesteur).



Figure 3 2:les trois sorties de la cuve .

Afin de diminuer les pertes et le transfert thermiques, on a réalisé une isolation en utilisant l'aluminium et le polystyrène, comme montre les figures suivantes

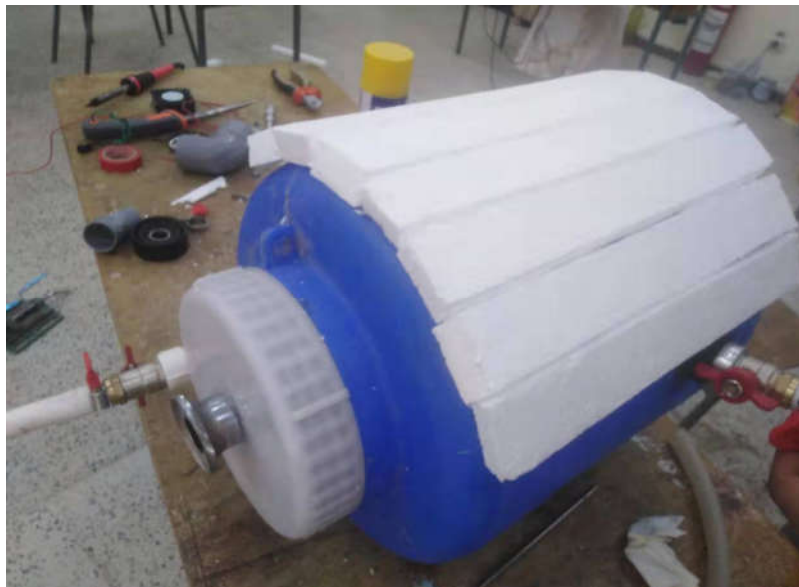


Figure 3 3:isolation avec le polystyrène.

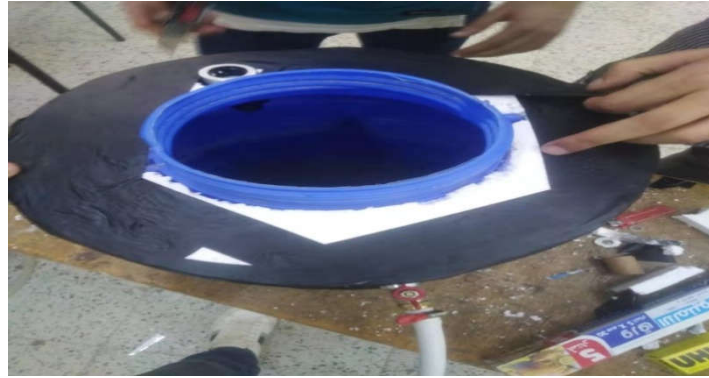


Figure 3 4: isolation avec le polystyrène plus Chatterton noir.



Figure 3 5: l'ajout de l'aluminium.

3.4. Eléments du digesteur :

3.4.1. L'agitateur :

C'est un dispositif mécanique avec une tige de 60 cm incluse dans le digesteur et branchée à l'électricité. Le rôle principal de l'agitateur est d'assurer l'homogénéité de substrat avec l'eau pendant la digestion anaérobie dans le digeste pour:

- Eviter la formation de mousse ;
- Assurer le transfert de chaleur ;
- Faciliter le dégagement des bulles de biogaz



Figure 3 6: L'agitateur.



Figure 3 7:diminuer le nombre de tour /minute.

3.4.2. Le pH mètre :

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



Figure 3 8:Les pH mètre utilisé.

3.4.3. Plaque chauffante :

Pour augmenter la température de la solution dans le digesteur, et pour assurer un milieu mésophile aux bactéries, on a utilisé une plaque chauffante électrique. Le chauffage de la cuve en plastique se fait à l'aide d'un bain MARIE (bassine pleine d'eau où est plongée la cuve – voir photo).



Figure 3 9:système de chauffage

3.4.4. Groupe électrogène :

C'est un moteur à essence pour production de l'électricité



Figure 3 10:Groupe électrogène.

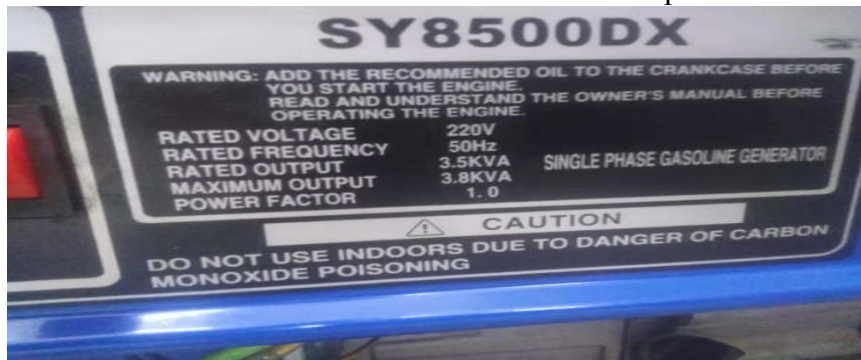


Figure 3 11:Caractéristique du groupe électrogène.

3.4.5. Modification du Groupe :

Pour assurer la production de l'électricité à partir du gaz il faut remplacer le carburateur essence par un carburateur gaz.



Figure 3 12:modification du groupe .

3.4.6. Mesure de température :

Pour la mesure de la température à l'intérieur de la cuve on utilise un thermocouple type K branché à un multimètre numérique. Les thermocouples type K sont fabriqués avec du nickel 10% et le reste du chrome. La plage de température va de -270 à 1372°C . Sa sensibilité est de $39.4 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ à 20°C .



Figure 3 13: Mesure de température.

3.5. Origine et caractérisation du substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans cette étude pour l'alimentation du digesteur est d'origine urbaine. Il est constitué de déchets ménagers qui sont principalement composés des déchets de cuisine, tels que les épluchures d'oignons, des pommes de terre, des carottes, des petits pois, des salades, etc., et la boue de station d'épuration de Baraki (Alger). Les déchets de cuisine proviennent de la cité universitaire (2) de la ville de Blida (voir la photo de la figure suivante).



Figure 3 14: déchets de cuisine utiliser.

Séchage du substrat (la matière sèche) :

Une prise de masse M est placée sur le toit de la bibliothèque (cité universitaire 2) (USDB) sur un lit de galets jusqu'au séchage complet.. La différence du poids correspond à la perte d'humidité. Ce séchage permet la conservation des bactéries de ces déchets, sinon, l'eau contenu dans ces déchets entrainera leur putrification et donc la mort de ces bactéries.

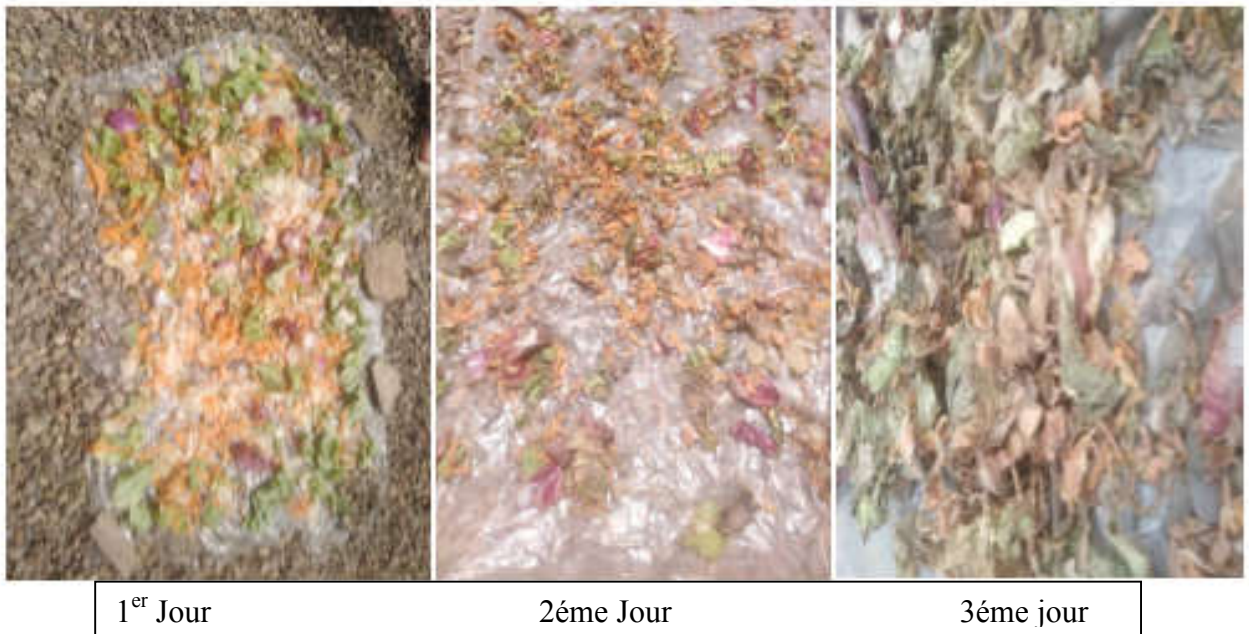


Figure 3 15: séchage du substrat



Figure 3 16: Balance utilisé.

3.6. Conditions opératoires :

Le réacteur est maintenu en condition mésophile ($35\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$) chauffé et régulé avec la plaque chauffante manuellement en l'agitant 30 mn/ jour à l'aide de l'agitateur mécanique. Durant nos essais, nous avons suivi l'évolution de pH ainsi que la température.

3.7. Production de biogaz :

3.7.1. 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. Puis on ajouté à l'aide d'éprouvette 8 L d'eau,

Température initiale $T=13\text{°C}$ et de $\text{pH}=5,6$.



Figure 3 17:Le substrat + l'eau avant la fermentation..



Figure 3 18:Le substrat après la fermentation.

3.7.2. Deuxième expérience :

Dans la deuxième expérience on a utilisé la même quantité de déchets la premier expérience, et on a ajouté 8 L de boue de la stations d'épuration de Baraki (Alger) avec une température initial de $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ et de $\text{pH}=6$.



Figure 3 19:boues de stations d'épuration baraki .



Figure 3 20:Substrat+boues de station.

3.8. Les paramètres de 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 on observe le volume du biogaz produit dans la chambre à air

3.8.1. 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. Durant nos essais expérimentaux, nous avons suivi le changement de pH chaque jour durant la méthanisation en utilisant un pHmètre.



Figure 3 21:Un échantillon de la solution prête pour mesuré le pH.

3.8.2. La température :

Comme nous avons mentionné dans la partie théorique, la température a un effet très important sur la production du 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.



Figure 3 22:Appareils de mesure de la température.

3.8.3. L'Observation du volume du biogaz dans la chambre à air :

Lors de l'expérimentation, le stockage du biogaz produit se fait dans la chambre à air (figure ci-dessous)



Figure 3 23:l'expérimentation à l'instant t=0

Conclusion :

La réalisation de notre projet, en passant par toutes les étapes, le choix du substrat et les moyens utilisés afin de calculer et déterminé certaines valeurs ont été effectués en vue de l'utilisation plus tard pour les résultats finaux.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

4. Chapitre IV : Résultats et Discussion :

Inroduction :

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

4.1. Production du biogaz :

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

4.1.1. 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 (4.1):

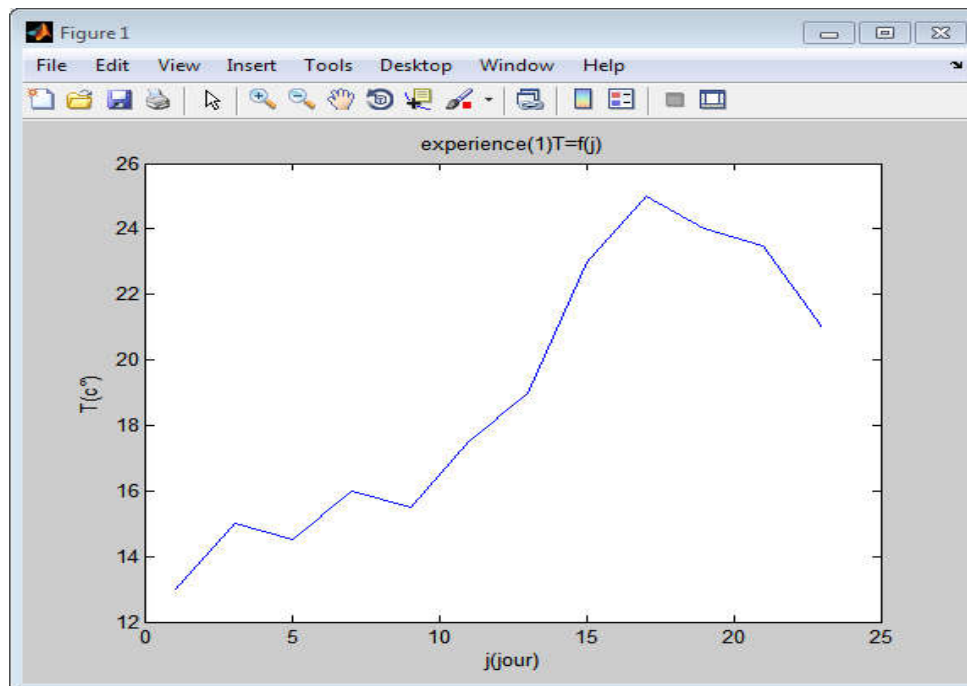


Figure 4 1:Variation de la température en fonction du temps expérience (1)

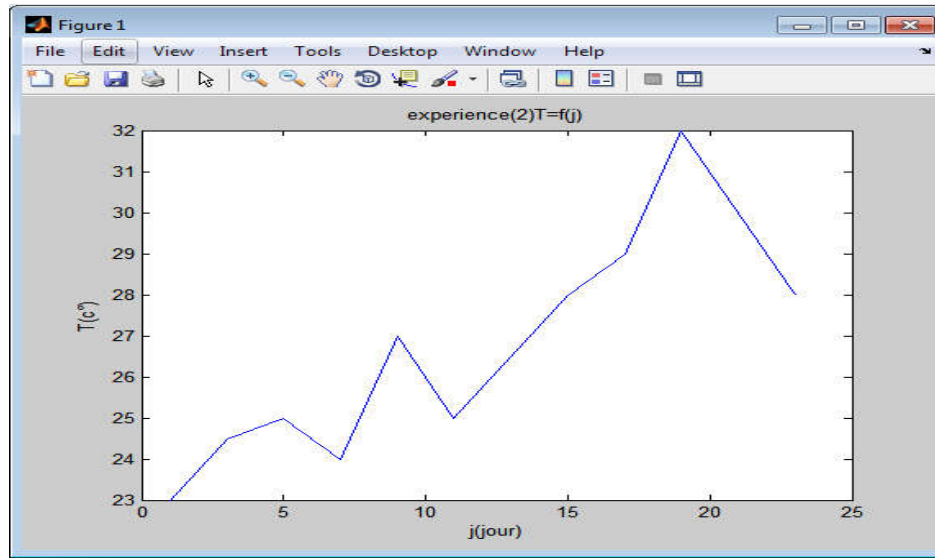


Figure 4 2:Variation de la température en fonction du temps expérience (2)

D'après les résultats obtenus dans l'expérience (1) (sans la boue de station), du 1er jusqu'à 8ème jour on peut observer que la température varie légèrement entre 13 et 16 °C, pour atteindre un max de 25 °C dans le 18ème jour. Cette étape est suivie par une chute de température jusqu'à une température de 21 °C, soit un chute de 4°C

Par contre dans le cas ou nous avons ajouté la boue de station comme stimulant nous avons pu observer le même comportement avec une température maximale de 32 °C et une chute de température jusqu'à la valeur de 27.5 °C, soit une variation de 4.5°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 type de production, montre que l'ajout de la boue de station améliore la quantité de production du biogaz

4.1.2. Evaluation de pH durant la production :

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

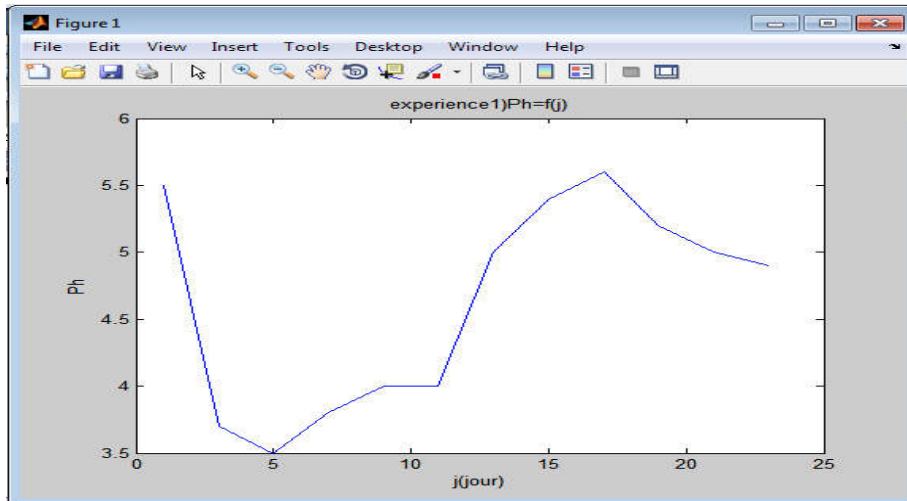


Figure 4 3:Variation du pH en fonction du temps- expérience (1)

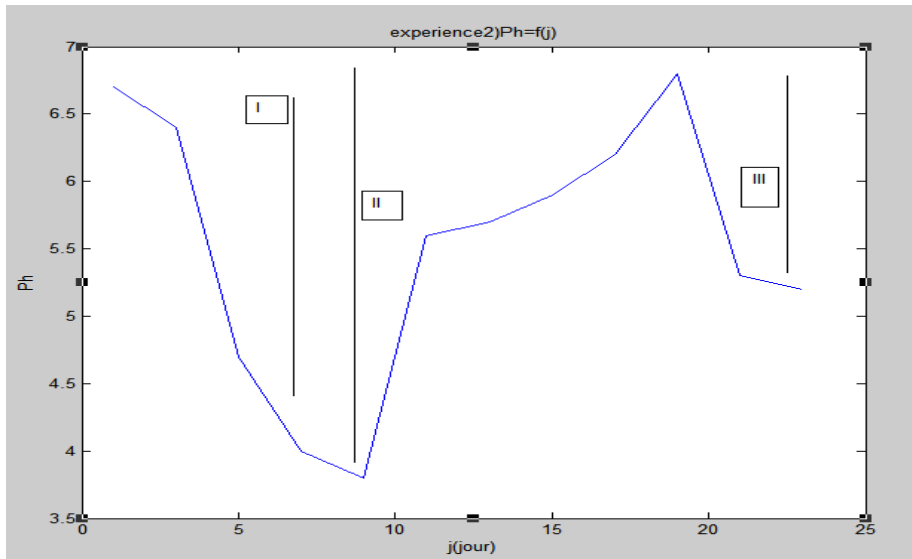


Figure 4 4:Variation du pH en fonction du temps- expérience (2)

D'après les figures, 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 citer de la manière suivante;

- **La première partie (I) :**

Dans la première partie de la figure (4.4) de l'expérience (2), on remarque une chute rapide de pH dès le 1er jour, de 6,7 jusqu'à une valeur minimale proche de 3.8, 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 qui se vaporisent facilement appelés des acides gras volatils (AGV) et leurs accumulations dans le milieu.

- **La deuxième partie(II):**

Dans la deuxième partie de la figure (4.4) de l'expérience (2), on remarque que les valeurs de pH ont commencé à augmenter petit à petit jusqu'au 17ème jour, pour atteindre une valeur de pH voisine de 7 ce pH est le plus adéquat pour le développement et l'activité bactérienne.

- **La troisième partie(III) :**

Dans cette partie de la figure (4.4) de l'expérience (2), on constate qu'à partir du 20ème jour on observe une chute rapide du pH puis une stabilisation du pH autour de 5. 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.

4.1.3. Observations sur l'évolution de production de biogaz :

- Expérience 01 :(sans la boue de station) , de 1er jusqu'au 23ème jour



Figure 4 5:Expérience(1) à l'instant t=23j

On observe que :

La chambre à air n'a reçu aucun volume de gaz, elle a gardé la même forme qu'à l'instant ($t=0$) donc on ne peut pas démarrer le moteur

- Expérience 02 : (Substrat+boue de station.), de 1er jusqu'au 23ème jour



Figure 4 6:Expérience(2) à l'instant $t=23j$

On observe que :

La chambre à air reçu une quantité de gaz, cette quantité elle ne peut pas démarrer le moteur à cause d'une faible pression le moteur nécessite une plus grande pression que celle existante dans la chambre à air.

Pour augmenter la pression interne, on compresse manuellement la chambre à air (Voir les figures ci-dessous) :

La figure (4.7), nous montre que la quantité produite et comprimée nous à permis d'allumer une lampe de 5w durant 3mn.



Figure 4 7:compression de la chambre à aire

Conclusion :

A partir du dispositif de digestion réalisé, la fermentation mésophile montre que l'ajout de la boue de station joue un rôle principal dans l'amélioration de la quantité de production du biogaz durant un temps de séjour (23 jours).

La quantité produite nous a permis de démarrer le moteur et d'allumer une lampe de 5 w pendant une durée de 3min.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le monde entier accorde une grande importance au sujet de l'énergie et de la conservation et comment la produire sans endommager l'environnement et aussi comment alimenter les zones éloignées avec de l'énergie au coût le plus bas possible.

Ce travail, est venu pour donner une solution appropriée à tous ces problèmes avec un processus naturel qui est la digestion anaérobique.

Dans cette étude l'intérêt est porté sur la création d'une interface graphique avec NetBeans (Java Application) pour un dimensionnement d'une installation de production de l'électricité à partir du biogaz provenant de la fermentation des déchets organiques ou et des boues des stations d'épuration.

Après cela on a réalisé d'un digesteur simple, flexible, faible besoin d'espace, avec une faible consommation d'énergie. Afin de prendre en charge la quantité de déchets organiques on contrôle, le pH, la température et la quantité de biogaz produit

A partir du dispositif de digestion réalisé, la fermentation mésophile de déchets et la boue de station a permis de produire du biogaz durant un temps de séjour de 23 jours. Et cette quantité produite nous a permis de passer à la cogénération, qui à son tour a allumé une lampe de 5w pendant 3 minutes,

L'ajout de la boue de station a montré une amélioration significative de la quantité du biogaz produit.

Ce modeste travail est très simple et peu être grandement amélioré en prenant par exemple une cuve métallique de grande dimension, on ajoute un serpentin pour la circulation de l'eau chaude produite par un chauffe eau solaire ou des panneaux photovoltaïques thermiques (PVT) qui donnerons aussi de l'électricité pour tourner l'agitateur sans oublier un kit de purification et après de stockage du biogaz pour une future utilisation. Ce projet nécessite beaucoup de temps et d'argent que j'espère se réalisera à l'avenir.

A la fin de ce travail, nous pouvons dire que le biogaz peut être une option viable en tant que carburant alternatif pour les générateurs électriques, en particulier dans les régions rurales, où la relation avec le réseau électrique est difficile et coûteuse et nous appelons à des méthodes de purification du biogaz ce qui améliore sa qualité et donc son pouvoir de donner de l'électricité.

Références Bibliographique

Références bibliographiques :

- [1] : A .TAHRI 3 « La Production d'Electricité à Partir de la Digestion Anaérobie des Déchets Organiques » Juillet 2019
- [2] : M. Sabre et al « Amélioration des performances de digestion anaérobie des déchets ménagers organiques dans un digesteur pilote thermophile » 16 July 2020
- [3] : N.LASKRI « Valorisation énergétique et production du méthane » université B-M-Annaba 2016
- [4] : S. Igoud et al« Première Approche de la Caractérisation du Biogaz Produit à Partir des Déjections Bovine » CDER Bouzaréah, Alger 2002
- [5] : S. BENAROOUR « Réalisation d'un digesteur pour la production du biogaz. »2015
- [6] : A.CHELHA « Production de biogaz par valorisation du lactosérum en Co-digestion anaérobie » 2016 el harnache
- [7] : M. NIKIEMA et al «Optimisation de la production de biométhane à partir des déchets organiques municipaux» (CRSBAN), 03 BP 7131 Ouagadogo 2015 .
mahamadinikiema87@gmail.com
- [8] : T. Olugasa et al «Energy production from biogas » Nigeria 2014
- [9] G. L. R Ducellier and M. A. Isman, System for producing a pulsating circulation in apparatus contains gas-evolving products, Algeria. Filed 03 March 1938.United States PatentOffice n°2.174.203 Patented 26 September 1939.
- [10] E. ADLER, “What is the methanization? historical, theoretical and technical backgrounds”, School of Engineers of the city of Paris [Technical days ASTEE-EIVP, “Co-digestion of muds and other waste”+ p. 41, 12 November 2015.
- [11] M.A. Tabet, Types de traitement des déchets solides urbains: evaluation des coûts et impacts sur l'environnement. Revue des Energies renouvelables. Special number Production and Valorization, Biomass, pp. 97–102, 2001.
- [12] H. Zemmouri, l'eau usée vers le biogaz, CDER, bulletin 020, pp. 04–05, 2011.

- [13] ANGELIQUE L., (2002), Biométhanisation, Laboratoire de Génie Chimique, Département de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes.
- [14] V. K. Vijay, R. Kapoor, A. Trivedi, and P. Narale, “Biogas Upgrading and Bottling Technology for Vehicular and Cooking Applications,” *Manag. Nat. Resour. a Chang. Environ.*, vol. 10, pp. 135–153, 2015.
- [15] J. Zanchetta, R. Moletta, Méthanisation biologique des déchets municipaux, Journée de l'ingénieur et du scientifique, (2003).
- [16] RECORD, (2009), Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse, 253 p, n°07-0226/1A.
- [17] F. Vedrenne, F. Béline et N. Bernet, Evaluation of the methane production of livestock wastes: ultimate productivity and organic matter characterization, 4th international symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhague, 31 août - 02 septembre (2005) 218-225.
- [18] M. Pohl, K. Heeg, and J. Mumme, “Anaerobic digestion of wheat straw – Performance of continuous solid-state digestion,” *Bioresour. Technol.*, vol. 146, pp. 408–415, 2013.
- [19] A. Molino, F. Nanna, Y. Ding, B. Bikson, and G. Braccio, “Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste,” *Fuel*, vol. 103, pp. 1003–1009, 2013.
- [20] CHASLERIE T., (2002), Techniques de bioconversion : La biométhanisation, IUT Génie Thermique et énergie 2001-2002, Projet tuteuré de première année.
- [21] IRCO Sprl Bureau d'études, (2001), Vade-mecum technique et administratif relatif à la biométhanisation de biomasse humide en Région wallonne
- [22] 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.
- [23] LEJEUNE C., (2008), Valorisation électrique et thermique du biogaz de méthanisation, PRO2, Formation EFE – Biomasse pour les usages énergétiques
- [24] : Peter Jacob Jorgensen , Plan Energy and Researcher for a Day-factory of Agricultural Sciences , Biogaz- green energy (liver) ,Aarhus Université ,2009.]
- [25]: MAURER M., GENDRE R., (2004), Le BIOGAZ en Alsace : Potentiel, étude économique, énergié, Programme l'Alsace dit oui aux énergies renouvelables

[26] : TCHOATE HETEU P. et MARTIN J. (2003), Conversion biochimique de la biomasse : Aspects technologiques et environnementaux, Working Paper n°3, UCL Université Catholique de Louvain.