



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

University Abdelhamid Ben Badis Mostaganem

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم



Department of Process Engineering

Ref :...../U.M/F.S.T/2024

قسم هندسة الطرائق

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie chimique

Thème

**Conception et élaboration d'un biodigester miniature,
thermostaté et combiné**

Présenté par :

- 1- RAHMI Fatima Zohra
- 2- MORSLI Rouba Rahil

Soutenu le 30 /6 / 2024 devant le jury composé de :

Président :	Mme GHOMRI leila	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mme BOUBEGRA Naima	MCA	Université de Mostaganem
Examineur :	Mme MOHAMED SEGHIR Zahira	MCB	Université de Mostaganem
Représentant socio-économique :	Mr BENTOUNES Kamel Eddine	Responsable laboratoire ONA	Office nationale d'assainissement
Représentant socio-économique :	ZIAT Sid Ahmed	Chef de département opération qualité SEOR	SEOR
Représentant incubateur :	Dr MENDLI Salah Edine	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	KHELLADI Malika	MCB	Université de Mostaganem
Co-Encadreur :	MEKHATRIA Djilali	MCB	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous remercions Allah pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour achever ce travail dans les meilleures conditions.

Nous remercions vivement Dr GHOMRI Leila enseignante au département de génie électrotechnique et présidente de l'association AEC Mostaganem d'avoir présidé notre jury ainsi que Dr BOUBEGRA Naima et Dr MOHAMED SEGHIR Zahira d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nos remerciements vont aussi à Monsieur BENTOUNES Kamel Eddine responsable laboratoire au niveau de la STEP de Mostaganem et Monsieur ZIAT Sid Ahmed chef de département opération qualité SEOR.

Que Monsieur le représentant de l'Incubateur de l'Université de Mostaganem et Monsieur FLITTI Nasser, enseignant au CFPA Mostaganem trouvent tout le respect.

Nos remerciements s'adressent aussi à notre encadreur Mme KHELLADI Malika Maître de conférences à l'université de Mostaganem pour avoir accepté de nous encadrer et de superviser toutes les étapes qui ont conduit à la concrétisation et à l'obtention du prototype final.

Que Monsieur MEKHATRIA Djilali, Maître de conférences à l'Université de Mostaganem, trouve en ces termes une reconnaissance pour avoir accepté de faire part à la concrétisation de ce travail jusqu'à la réalisation finale du prototype.

Nous exprimons notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants de l'université de Mostaganem et en particulier les enseignants de la Faculté des Sciences et de la Technologie pour nous avoir permis d'avoir le niveau que nous avons aujourd'hui.

Que nos familles trouvent en ces termes l'expression sincère d'une gratitude et d'une reconnaissance pour n'avoir jamais lésiné sur quoi que ce soit pour notre bien être culturel et corporel ainsi que pour leurs encouragements permanents. Nous espérons qu'ils peuvent être fiers de ces moments.

Que Dr MOSTEFAI Fouzia, Dr GUERZOU Tourkia et Mr TAKARLI Bensaber trouvent en ces termes l'expression d'une reconnaissance pour leur disponibilité et leur aide précieuse.

Enfin, à tous les esprits ouverts qui ont contribué, de loin ou de près, à la concrétisation de l'idée et à sa réalisation physique.

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ma remise de diplôme à :
Ma chère mama. Les mots me manquent pour témoigner ma gratitude à ton endroit.

Ce travail est l'œuvre de tes bons conseils ;

Mon cher papa pour son soutien tout au long de ce parcours académique ;

Mes frères ILIAS, ABDOU et RAYANE pour leur présence ;

Ma famille ;

Mes chères amies RAHIL et FAIZA

Fatma Zahra

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, je dédie ma remise de diplôme à :

Mon père qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études

Ma mère que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments

Mon frère NADIR et ma sœur BOUCHRA pour leur présence ;

Mes chères tantes;

Mes chères FATIMA ZAHRA et FAIZA.

Rouba Rahil

Abstract

Population growth has sextupled over the past century. This growth has led to the overexploitation of natural resources, loss of biodiversity, increased greenhouse gas emissions and growing pollution. One of the pollutants produced is methane.

Methane, although a pollutant, has been exploited since the 18th century for its energy value and is naturally produced by the decomposition of organic matter through the methanation process. This technique offers a sustainable and multi-beneficial solution for waste management and clean energy production.

Faced with the energy crisis and the need to find sustainable solutions, this work aims to make a concrete contribution to the search for innovative solutions to design and build a miniature, thermostated and combined digester, suitable for individual use in the laboratory.

Key word : pollution ,methane , organic matter ,methanation , digester.

ملخص

زاد عدد السكان ستة أضعاف على مدى القرن الماضي. أدى هذا النمو إلى الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية وفقدان التنوع البيولوجي وزيادة انبعاثات الغازات الدفيئة وتفاقم التلوث. ومن بين الملوثات الناتجة غاز الميثان على الرغم من أن الميثان يعتبر ملوثاً، إلا أنه يتم استغلاله منذ القرن الثامن عشر لقيمه الحرارية كما ينتج طبيعياً عن تحلل المواد العضوية من خلال عملية الميثانة مستداماً ومتعدد الفوائد لإدارة النفايات وإنتاج طاقة نظيفة. وفي مواجهة أزمة الطاقة والحاجة إلى إيجاد حلول مستدامة، يهدف هذا العمل إلى المساهمة بشكل ملموس في البحث عن حلول مبتكرة لتصميم وبناء هضم حيوي مصغر ومحكم الحرارة ومشارك، مناسب للاستخدام الفردي في المختبر.

كلمات مفتاحية: التلوث، الميثان، المواد العضوية، التخمر الحيوي، هضم حيوي.

Résumé

La croissance démographique a sextuplé au cours du dernier siècle. Cette croissance a entraîné une exploitation excessive des ressources naturelles, une perte de biodiversité, une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et une pollution croissante. Parmi les gaz polluants produits figure le méthane.

Le méthane, bien que polluant, a été exploité depuis le 18^{ème} siècle pour sa valeur énergétique et produit naturellement par la décomposition de la matière organique par le processus de méthanisation. Cette technique offre une solution durable et multi-bénéfique pour la gestion des déchets et la production d'énergie propre.

Face à l'urgence énergétique et à la nécessité de trouver des solutions durables, ce travail vise à apporter une contribution concrète à la recherche de solutions innovantes pour concevoir et de réaliser un digesteur, thermostaté et combiné, adapté à une utilisation individuelle en laboratoire

Mots clés : pollution, méthane, matière organique, méthanisation, digesteur.

Table des matières

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : La biodigestion	
I.1 Introduction	4
I.2.1 Définition	4
I.2.2 Les étapes de la méthanisation	16
I.2.2.1 L'hydrolyse	5
I.2.2.2 L'acidogène	5
I.2.2.3 L'acétogénèse	5
I.2.2.4 La méthanogénèse	5
I.2.3 Les différents paramètres influençant la méthanisation	6
I.2.3.1 Température	17
I.2.3.2 pH	7
I.2.3.3 Pression partielle en hydrogène	7
I.2.3.4 Humidité	7
I.2.3.5 Rapport C/N	7
I.2.3.6 L'agitation	8
I.2.3.7 Absence de l'oxygène	8
I.2.3.8 Absence des inhibiteurs	8
I.3 L'intérêt environnemental de la méthanisation	8
I.4 Biogaz	9
I.4.1 Définition et composition	10
I.4.2 Propriétés du biogaz	210
I.4.3 Valorisation du biogaz	10
I.5 Digestat et éluât	11
Conclusion	12
Chapitre II : Les biodigesteurs	
II.1 Introduction	13
II.2 Définition	13
II.3 Classification des différents types de digesteur	14
II.3.1 Classification selon le mode de l'alimentation	14
II.3.2 Classification selon le type de substrat	15
II.3.3 Classification selon le nombre d'étapes	15
II.4 Les différents types de biodigesteurs à l'échelle mondiale	16
II.4.1 Production de biogaz à partir du fumier de poulet en chine	16
II.4.2 La technologie des biodigesteurs en Algérie	17
II.4.3 La technologie des biodigesteurs en France	18
II.4.4 La technologie des biodigesteurs au Canada (Germain des Près)	19
Conclusion	20
Chapitre III : Réalisation du biodigesteur	
III.1 Introduction	21

III.2 Protocole expérimental	21
III.2.1 Méthodologie	21
III.2.2 Matériel	22
III.2.3 Essais d'obtention de biogaz	22
Essai N°1	22
Essaie N°2	23
Essaie N° 3 et 4	24
III.2.4 Elaboration d'un montage d'extraction du gaz	26
III.3 Le prototype final	31
III.3.1 Méthodologie	31
III.3.2 Matériel et méthodes	31
III.3.3 Etape de construction	31
III.3.4 Le montage final	32
Chapitre IV : Le guide de projet	
IV.1 Introduction	35
IV.2 Première axe : Présentation de projet	35
IV.2.1 L'idée de projet	35
IV.2.2 La valeur proposée	35
IV.2.3 Equipe de travail	36
IV.2.4 Objectif de projet	36
IV.3 Deuxième axe : Aspects innovants	36
IV.3.1 Nature des innovations	36
Thermostat :	36
Electrovannes :	36
Arduino essaie composants :	36
Réservoir	37
IV.3.2 Domaines d'innovation	37
IV.3 Troisième axe : Analyse stratégique de marché	37
IV.3.1 Le segment de marché	37
Le marché cible :	38
IV.3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence	38
IV.3.3 La stratégie marketing	38
IV.4 Quatrième axe : plan de production et d'organisation	39
IV.4.1 L'Approvisionnement :	39
IV.4.2 La main d'œuvre	39
IV.4.3 Les Principaux partenaires	39
IV.5 Cinquième axe : plan financier	39
Les Coûts et les charges	39
Conclusion générale	43
Références bibliographiques	54
Annexe	46

Liste des figures

Figure I. 1 : les étapes de méthanisation[24].	6
Figure I.2 : Taux de production de biogaz en fonction de la température[28].	7
Figure II.1 : Les types de digesteurs selon le mode de l'alimentation	14
Figure II.2 :Système de conversion d'énergie au biogaz de fumier de volaille de 2 Trillion Watts.	15
Figure II.3 : station d'épuration des eaux usées STEP en Algérie (El Kerma)	17
Figure II.4 : biodigesteurs en France	18
Figure II.5 : Le digesteur du GAEC Beets Chambre d'Agriculture du Loiret[4]	19
Figure III. 1 :(a) La mise du sous vide après le remplissage de la chambre à air.	23
Figure III. 2 : Etat de bioréacteur après le gonflement.	24
Figure III. 3 : Evolution de la production de gaz au cours du temps	25
Figure III. 4 : (a) Bioréacteurs reliés à une source de chaleur	26
Figure III. 5 : Les différents éléments du montage	27
Figure III. 6 : Dispositif de mesure de la masse du biogaz produit	27
Figure III. 7 : l'évolution du biogaz dans le digesteur.	28
Figure III. 8 : Essai de présence de gaz par réaction chimique avec (a) Hydroxyde de sodium, (b) la chaux.	29
Figure III. 9 : Test à la flamme (a) et test à l'aide Arduino (b)	30
Figure III. 10 : Effet de l'acidité sur les chambres à air (a) et sur le tissu des tabliers (b).	30
Figure III. 11 : Les étapes de construction du béton	32

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composition moyenne du biogaz[23].	10
Tableau II.1 : principales valorisations énergétiques des STEP en Algérie	18
Tableau III. 1 : la différence entre biodigesteur industriel et individuel.	21
Tableau III.2 : la composition des deux chambres à air A et B.	24
Tableau IV.1 : les coûts de location.	40
Tableau IV. 2 : les prix de matériel bureaux utilisé et matériel informatique en DA.	40
Tableau IV 3 : services nécessaires par année. Déclaration Services requis pour le projet	40
Tableau IV.4 : représentation des taches de personnels d'entreprise et leur salaire en DA.	41
Tableau IV.5 : l'achat consommé.	41

Liste des abréviations

H₂O	: l'eau
AGV	: Acétate gras volatils
PCS	: Pouvoir calorifique supérieur
PCI	: Pouvoir calorifique inférieur
ONA	: Office national d'assainissement
NH³⁺	: Ammoniaque
CO₂	: Gaz carbonique
H₂S	: Sulfure d'hydrogène
CH₃COO⁻	: Acide acétique
CH₄	: Méthane
HCO³⁻	: Bicarbonate
CH₃OH	: Méthanol
H₂	: Hydrogène
PNUD	: programme des nations unies pour le développement
ONU	: Organisation des Nations unies
H₂CO₃	: Acide carbonique
NaOH	: Hydroxyde de sodium
Na₂CO₃	: Carbonate de sodium
GAEC	: Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

Introduction générale

Introduction générale

Le siècle dernier a connu un accroissement démographique exceptionnel ; la population a été multipliée par six et, au rythme de la croissance actuelle, les prévisionnistes de l'ONU tablent sur un doublement de la population mondiale d'ici à 2050. Cet essor démographique s'est accompagné d'un fort développement économique qui, faute d'une gestion réfléchie des ressources, a marqué durablement l'environnement. Les effets des activités humaines sont visibles à plusieurs niveaux ; épuisement des ressources naturelles, régression de la biodiversité, réchauffement climatique à cause de la production de gaz (CO₂ ...etc.) et augmentation de la pollution [1].

Parmi les gaz polluants produits, figure le méthane des décharges contrôlées et non contrôlées. Les premières recherches menant à l'identification du méthane sont associées à Volta. En 1776, il a identifié le méthane comme étant un gaz à fort potentiel combustible et donc valorisable sous forme d'énergie.

Des applications exploitant la biodigestion anaérobie, apparaissent par la suite en France, en 1881, avec le procédé Mouras, où une chambre hermétique permettait le traitement des eaux domestiques.

Quatre années plus tard, le même procédé est appliqué en fosse septique, en Angleterre, Bombay en Inde. En 1897, l'installation du premier procédé de méthanisation collecte des excréments humains afin de fournir de l'électricité aux lampadaires de la ville.

Petit à petit l'installation de méthaniseur a évolué et ne s'est plus faite uniquement dans les fermes. Les unités de traitement sont alors devenues plus imposantes afin de pouvoir recevoir davantage d'effluents et de déchets d'origine variée. Le procédé s'est, de plus, centralisé pour prendre le nom de la bioénergétique [2].

La bioénergétique peut être produite dans des biodigesteurs anaérobies contenant des bactéries pour décomposer la matière organique et produire du biogaz et du biofertilisant. Le biogaz est produit naturellement à partir de déchets ruraux ; cependant, les biodigesteurs anaérobies sont une bonne option pour la gestion de la production de biogaz car ils permettent son utilisation par les propriétés génératrices et peuvent être vendus à des unités locales voisines. En outre, un autre objectif de la centrale de biogaz est la génération de biométhane capable d'atténuer les émissions des combustibles fossiles par les véhicules.

Introduction générale

Il est donc important de valoriser les déchets ruraux pour prévenir la pollution, réduire les odeurs désagréables, réduire les agents pathogènes microbiens et générer des revenus en plus de l'indépendance énergétique [3].

La consommation de ressources fossiles pour la production industrielle et la production d'énergie génère des gaz à effet de serre, responsables du réchauffement climatique [4] en plus de la menace de leur épuisement. Ces ressources fossiles s'épuisent avec le temps et deviennent de plus en plus compliquées et coûteuses à extraire. Leur renouvellement se fait sur des échelles de temps qui ne sont pas compatibles avec la frénésie de la consommation humaine actuelle. Cette surconsommation provoque également une accumulation de déchets qui peut causer des écocides (comme les marées noires, les déforestations, l'extinction d'espèces animales et végétales). Ces dernières années, la faune terrestre est même entrée dans sa sixième extinction de masse, et ceci principalement à cause de l'activité humaine[4].

Aujourd'hui, l'urgence est à la recherche de moyens pour la production d'énergie par valorisation de déchets. Le présent travail a pour objectif de concevoir et réaliser un biodigester, thermostaté et combiné trouvant fonction dans un laboratoire de manière individuelle. Pour ce faire, le mémoire comprend un aspect théorique de la biodigestion, les différents types de biodigesteurs industriels existant et pour finir une partie qui englobe les différents paramètres ayant permis la réalisation de notre biodigester.

Chapitre I

La biodigestion

I.1 Introduction

La méthanisation est une filière naissante de production d'énergie renouvelable susceptible de remplacer certains produits d'origine pétrolière[5]. De nombreux projets sont actuellement à l'étude au sein des exploitations agricoles à l'échelle mondiale. La source de matières premières de cette unité est essentiellement constituée par la matière organique qui trouve alors son origine auprès des habitations du quartier (déchets alimentaires, déchets verts...) ou via la présence d'une station d'épuration locale. La matière organique produite est toutefois assujettie à la saisonnalité, cette irrégularité de fréquence (quantité) et de qualité, va alors nécessiter des traitements et son stockage[2].

La fermentation méthanogène peut servir à traiter des rejets organiques, des eaux usées, ou encore des lisiers, des ordures ménagères. Plus de 140 espèces bactériennes sont impliquées dans ce procédé pour dégrader la matière organique en biogaz. Les bactéries représentent une grande part de la flore microbienne anaérobie, mais d'autres micro-organismes comme des protozoaires, des champignons ou des levures peuvent intervenir. Ce processus est tout particulièrement intéressant en raison du biométhane produit, qui est un gaz énergétique valorisable[1].

I.2 Traitements anaérobies et méthanisation

I.2.1 Définition

C'est un processus de fermentation biologique de matières organiques qui se déroule en milieu anaérobie, au contraire du compostage. Ces matières organiques, peuvent avoir des origines et natures variées. La fermentation a pour effet de dégrader les éléments carbonés.

Le résultat de cette fermentation aboutit à deux produits : le digestat et le biogaz.

On peut différencier trois types de digestion anaérobie selon les zones de températures dans lesquelles s'opère le processus soit basse, moyenne ou élevée [6]:

- digestion psychrophile : basse température 15 à 25°C,
- digestion mésophile : température moyenne 30 à 45°C,
- digestion thermophile : température élevée 50 à 65°C.

I.2.2 Les étapes de la méthanisation

On peut distinguer quatre phases dans la dégradation anaérobie : l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogénèse et la méthanogénèse.

Chapitre I : La biodigestion

I.2.2.1 L'hydrolyse

L'hydrolyse consiste en la dégradation des molécules organiques complexes en matières organiques simples[7]. Durant cette étape, les biopolymères (protéines, lipides, hydrates de carbone,...) sont hydrolysés en monomères et oligomères hydrosolubles grâce à des enzymes extracellulaires excrétées par des micro-organismes[8].

I.2.2.2 L'acidogène

L'acidogène est réalisée par des bactéries dites acidogènes, durant laquelle les produits de l'hydrolyse sont transformés en acides gras volatils (AGV) tels que acétate, propionate, butyrate, etc. en acides organiques (lactique, succinique,...), en hydrogène et CO₂ [8].

I.2.2.3 L'acétogénèse

L'acétogénèse est l'ensemble des réactions qui conduit à la production d'acétate. Cette étape est réalisée par deux groupes microbiens consommant respectivement le CO₂ et les AGV. Les bactéries homoacétogènes ou acétogènes strictes produisent de l'acétate par la réduction du dioxyde de carbone [26].

I.2.2.4 La méthanogénèse

La méthanogénèse est divisée en 2 grandes voies : La voie des hydrogénotrophes et la voie des acétotrophes. D'autres voies sont envisageables telles que celle des methylotrophes. Parmi un ensemble de réactions possibles, on trouve les 3 suivantes:



Les méthanogènes hydrogénotrophes réduisent le dioxyde de carbone, les carbonates et les bicarbonates avec le dihydrogène pour former du méthane et de l'eau[11].

La voie hydrogénotrophe est importante pour le processus général de la digestion anaérobie, puisqu'elle est responsable de la disponibilité en H₂ et du maintien d'une pression partielle en H₂ faible. Si la concentration en H₂ augmente trop, l'activité fermentaire bactérienne s'oriente vers la formation d'acides gras volatils autres que l'acétate. Or, la voie acétotrophe produit du CH₄ par clivage de l'acétate, donc une diminution de la production du biogaz peut survenir[6].

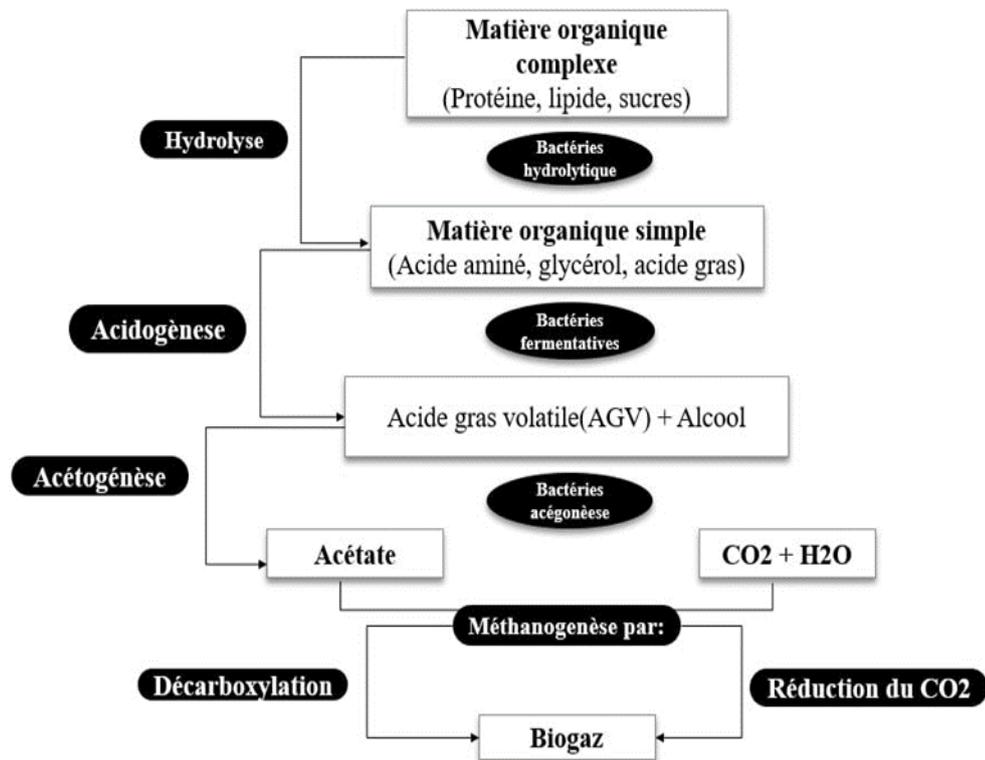


Figure I. 1 : les étapes de méthanisation

I.2.3 Les différents paramètres influençant la méthanisation

La digestion anaérobie correspond à un enchaînement de réactions chimiques dépendantes les unes des autres. Cette succession de réactions n'est possible que grâce à la population bactérienne, qui se développe dans le milieu. Ces bactéries réalisent ces réactions chimiques et maintiennent les conditions de vie nécessaires à leur survie. Mais le milieu, où se déroule la digestion anaérobie, est un écosystème très fragile et très spécifique. Les différents paramètres influençant la digestion anaérobie sont détaillés dans les paragraphes qui se suivent[12].

I.2.3.1 Température

La production de méthane est exploitable à partir de 15 °C, augmente rapidement vers 20 °C pour se stabiliser entre 35 - 40 °C (domaine mésophile)[13].

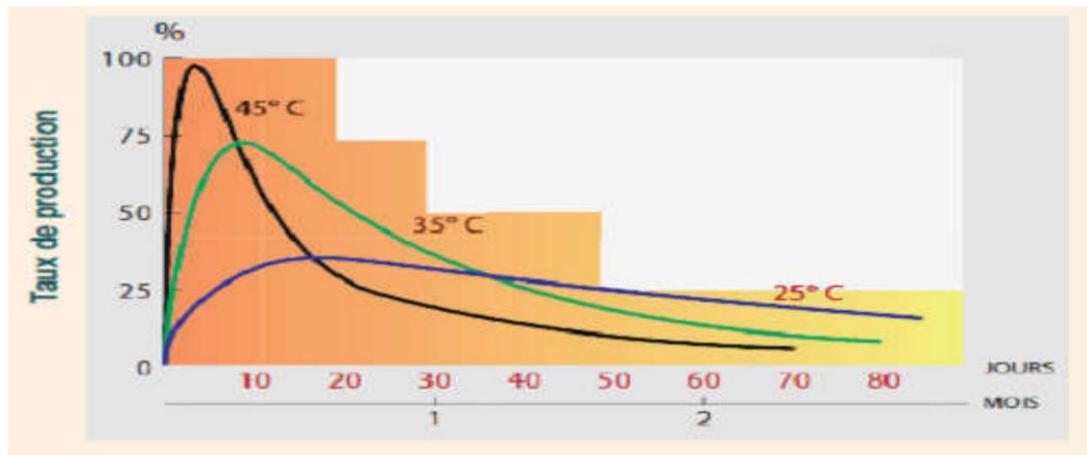


Figure I.2: Taux de production de biogaz en fonction de la température[14].

I.2.3.2 pH

Le pH optimal se situe entre 6,5 et 8,0. Si pour une raison indéterminée, le pH diminue au-dessous de 6,5, une inhibition significative de la méthanogénèse intervient[13].

I.2.3.3 Pression partielle en hydrogène

La faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogènes et hydrogénophiles qui consomment H_2 au fur et à mesure de sa production.

I.2.3.4 Humidité

Comme pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable. L'humidité minimale est de 60 à 70 %, eau liée ou eau libre. Dans tous les cas, l'humidité des déchets doit être suffisante pour que l'hydrolyse, première étape de la méthanisation, puisse se dérouler normalement. Si au contraire l'humidité est insuffisante, l'acidification se fait trop vite au détriment de la méthanisation. De ce fait le substrat organique doit être très dilué : 85 à 90 % d'eau avec 10 à 15 % de matière sèche.

I.2.3.5 Rapport C/N

La proportion carbone/azote de la matière organique est également importante pour le bon déroulement de la digestion anaérobie, tout comme pour la digestion aérobie. Les recherches montrent que le rapport carbone/azote idéal se situe entre 20 et 30, avec une valeur optimale de 25[14]. Une augmentation de l'apport en azote peut entraîner une production accrue d'ammoniac, qui peut être toxique pour les micro-organismes méthanogènes et inhibe le processus de méthanisation[16].

I.2.3.6 L'agitation

Une bonne agitation permet d'éviter la production de croûtes et la décantation de particules denses. Elle facilite en particulier la dégazéification en accélérant la coalescence des bulles produites à la surface du floc[13].

I.2.3.7 Absence de l'oxygène

L'oxygène est évidemment un inhibant (réaction anaérobie). Cependant une petite quantité d'oxygène n'inhibe pas totalement et immédiatement la production de biogaz. En effet, certains groupes de bactéries, appelées anaérobies facultatifs, peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries anaérobies strictes). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes, qui sont anaérobies strictes [17].

I.2.3.8 Absence des inhibiteurs

Les éléments inhibiteurs sont présents dans le substrat lui-même, ou produits lors de la digestion (oxydant, azote, acide volatil[18]).

I.3 L'intérêt environnemental de la méthanisation

La digestion anaérobie présente de nombreux intérêts, de nature à la fois environnementale et économique.

Tout d'abord, la digestion anaérobie est un mode de traitement éprouvé des rejets organiques qui permet aussi de produire un gaz très énergétique. Comparé au compostage qui convertit le carbone organique uniquement en CO₂, la méthanisation permet de convertir une partie de ce carbone en méthane. Cette production de biogaz renouvelable constitue une source d'énergie différenciée, qui peut se substituer, dans la limite des quantités produites, aux énergies fossiles, par essence non renouvelables, à court et moyen terme.

Elle évite donc le déstockage de carbone fossile qui contribue à l'augmentation de gaz carbonique dans l'atmosphère (puisque le carbone fossile est « piégé » dans les sous-sols de la planète). Comme le compostage, la méthanisation permet de créer un « puits de carbone » (Figure I.3).

En effet, la méthanisation permet de stocker du carbone, soit dans le sol sous forme d'amendement organique si cela est possible techniquement et législativement, soit en centre

Chapitre I : La biodigestion

de stockage si le retour au sol n'est pas possible. Le carbone ainsi stocké n'est pas immédiatement relargué dans l'atmosphère suivant le cycle du carbone, comme cela serait le cas pour l'incinération, mais ce relargage est différé dans le temps[19].

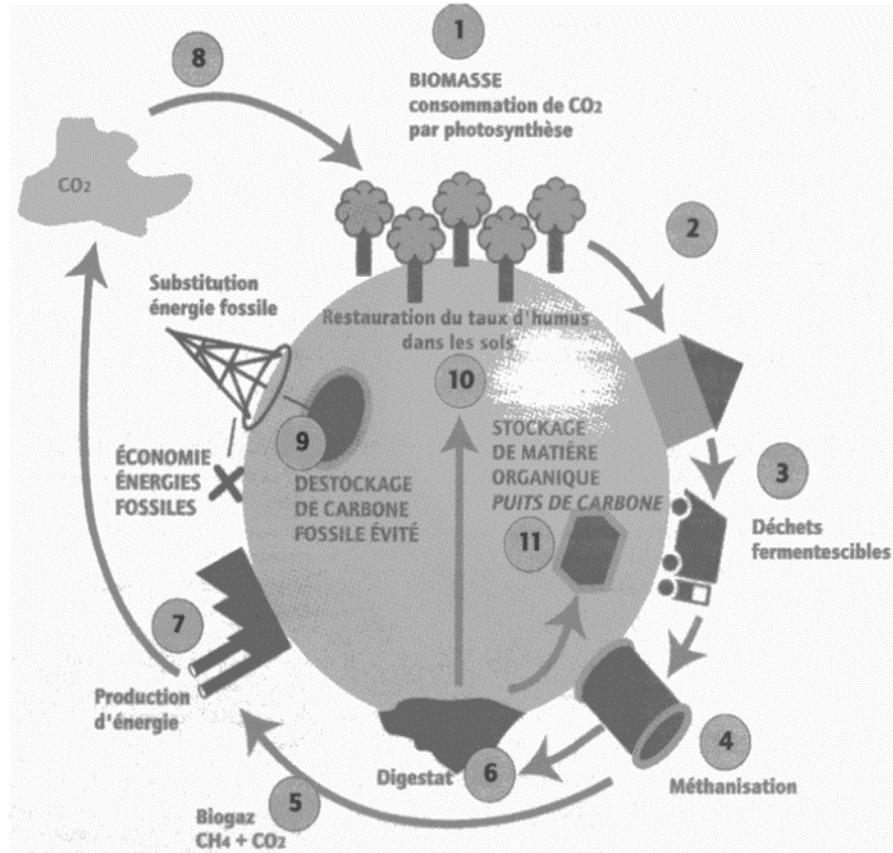


Figure I.3 : La méthanisation dans le cycle du carbone[19].

I.4 Biogaz

Parmi ces énergies renouvelables, la digestion anaérobie, ou méthanisation en vue de produire du biogaz présente de nombreux intérêts environnementaux, économiques, et sociaux. Ce biogaz peut être valorisé sous forme de chaleur ou d'électricité. Les impacts environnementaux positifs de la digestion anaérobie, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des odeurs, sont largement utilisés comme argumentaire dans la promotion pour ce procédé mais restent à préciser[20].

La production de biogaz est fonction du type de matière organique introduite dans le digesteur. Plus les substrats sont riches en matière grasse et en matière sèche, plus la quantité

Chapitre I : La biodigestion

de biogaz produite est importante. Le potentiel de production de biogaz d'un substrat, dit potentiel méthanogène, est variable[20].

I.4.1 Définition et composition

Le biogaz est un mélange de gaz carbonique et de méthane provenant de la dégradation des matières organiques, végétales ou animales. On peut également trouver d'autres composés sous forme de traces[21].

Tableau I.1 : Composition moyenne du biogaz **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**[22].

Gaz	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	NH ₃	H ₂ O
Concentration en pourcentage	55-80%	20-45%	0-1,5%	0-0,5%	Saturé

I.4.2 Propriétés du biogaz

Dans les mêmes conditions de température et de pression et à volume égal, le biogaz est plus léger que l'air, sa densité par rapport à l'air est égale à environ 0,7. Le pouvoir calorifique du biogaz dépend de sa richesse en méthane. Si le biogaz contient 70% de CH₄ : Le PCI sera de 6,96 kWh/m³ et le PCS de 7,72 kWh/m³. L'odeur d'œuf pourri caractéristique émise par le biogaz est due à la présence, en quantité infime, de sulfure d'hydrogène (H₂S)[23].

I.4.3 Valorisation du biogaz

La valorisation du biogaz, en plus de sa valeur énergétique, a un double effet positif sur l'environnement. A court terme pour le traitement des déchets et des effluents organiques et à long terme pour réduire le risque climatique. Le biogaz peut être valorisé en chaleur à travers des chaudières après être capté et soumis à un traitement, ensuite mis à profit pour produire de l'énergie électrique, ce qui permet de profiter de sa capacité à produire de l'énergie électrique ou aussi peut être envoyé à des stations de nettoyage pour l'utiliser comme carburant ou l'envoyer dans des réseaux à gaz. D'autres utilisations de biogaz sont en développement, comme le reformage catalytique en vue de produire de l'hydrogène pour l'alimentation des

Chapitre I : La biodigestion

pires à combustible diminuer les besoins en énergies fossiles.

- l'avantage économique du biogaz réside dans sa capacité à transformer des déchets en une ressource précieuse et à réduire les coûts associés à leur gestion tout en fournissant une source d'énergie durable et locale

-L'utilisation du biogaz contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

-Le biogaz est convertible sous toutes les formes d'énergie utiles (chaleur, électricité, carburant).

- Le biogaz peut être produit localement à petite ou grande échelle, ce qui peut renforcer l'autonomie énergétique des communautés.

- L'industrie du biogaz crée des emplois dans divers domaines tels que la gestion des déchets, l'agriculture, l'ingénierie et la maintenance des installations.

-Une très bonne capacité à traiter des effluents fortement chargés[18].

➤ **Les inconvénients**

-Une vitesse de croissance des micro-organismes très faible.

-Un potentiel de production d'odeurs, car sous conditions anaérobies le sulfate peut être utilisé comme accepteur d'électrons et se réduire en H_2S . De plus la production de mercaptans augmente fortement.

-Une forte dépendance du pH et sensibilité aux variations environnementales ;

-Des niveaux d'épuration de la matière organique plus faible en comparaison aux procédés aérobies. Une mise en équilibre relativement longue du procédé[18].

I.5 Digestat et éluât

Le digestat est un résidu semblable à l'humus, partiellement stable et riche en composants organiques. Dans le cas de l'utilisation des intrants solides pour la biométhanisation, les résidus sortant du biodigester ont une consistance pâteuse et émettent souvent des odeurs désagréables. L'excès de liquide peut être extrait pour réalimenter le système en eau et en micro-organismes spécialisés et/ou pour minimiser les quantités de matières à être transportées. Dans plusieurs cas, la fraction solide du digestat est ensuite compostée et utilisée comme amendement des sols. Une grande partie des pathogènes présents dans le digestat est éliminée dans les digestions thermophiles où les réactions se produisent à des températures plus élevées. Dans le cas des systèmes à températures moyennes, de longs temps de séjours sont habituellement suffisants pour leur inactivation. La partie liquide, l'éluât,

Chapitre I : La biodigestion

peut être utilisé directement comme fertilisant liquide à cause de sa richesse en éléments nutritifs[25].

Conclusion

La méthanisation reste parmi les processus utilisés pour le traitement des déchets afin de les stabiliser d'une part, et de produire une énergie renouvelable sous forme de biogaz riche en méthane d'une autre part.

En effet, pour optimiser la biométhanisation des déchets organiques, il est nécessaire de maîtriser plusieurs facteurs, dont la teneur en eau, l'agitation, quantités et activité des bactéries présentes, pH, température, composition....

Chapitre II

Les biodigesteurs

II.1 Introduction

Le biodigesteur est une unité clé de la méthanisation qui permet la conversion de la matière organique en biogaz sous l'action des micro-organismes en absence d'oxygène.

Le biogaz peut être utilisé comme source d'énergie pour la cuisson, le chauffage ou la production d'électricité. Le digestat est un résidu organique décomposé qui peut être utilisé comme engrais. Les biodigesteurs sont souvent utilisés dans les exploitations agricoles, les stations d'épuration des eaux usées, et d'autres installations pour traiter les déchets organiques et produire de l'énergie renouvelable.

II.1 Définition

Le biodigesteur, cœur où se réalise la méthanisation, appelé aussi fermenteur ou bioréacteur anaérobie. Il existe plusieurs formes de biodigesteur : ovoïde, cylindrique, ou bien continental (Figure II.1). Ils sont généralement construits en béton avec une protection interne en résine époxy. Pour les biodigesteurs de grande taille, l'acier vitrifié s'avère souvent plus compétitif[10].

Le biodigesteur est constitué d'une cuve fermée, étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans laquelle les micro-organismes se côtoient pour dégrader chimiquement et biologiquement les effluents organiques. Il peut être équipé d'un système de chauffage, d'un système d'agitation, d'un système de prélèvement et d'un système de mesure de teneur en gaz, de dispositifs permettant le contrôle des différents paramètres : la température, le pH, la pression ...etc[10].

Ce procédé est alors basé sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène. Ce processus est une voie de valorisation des déchets pouvant être de différents types[10]. Il peut s'agir :

- De déchets agricoles de type lisier/fumier,
- De déchets agro-alimentaires,
- De déchets végétaux tels que des résidus de cultures,
- De boues de station d'épuration,
- De déchets ménagers[10].

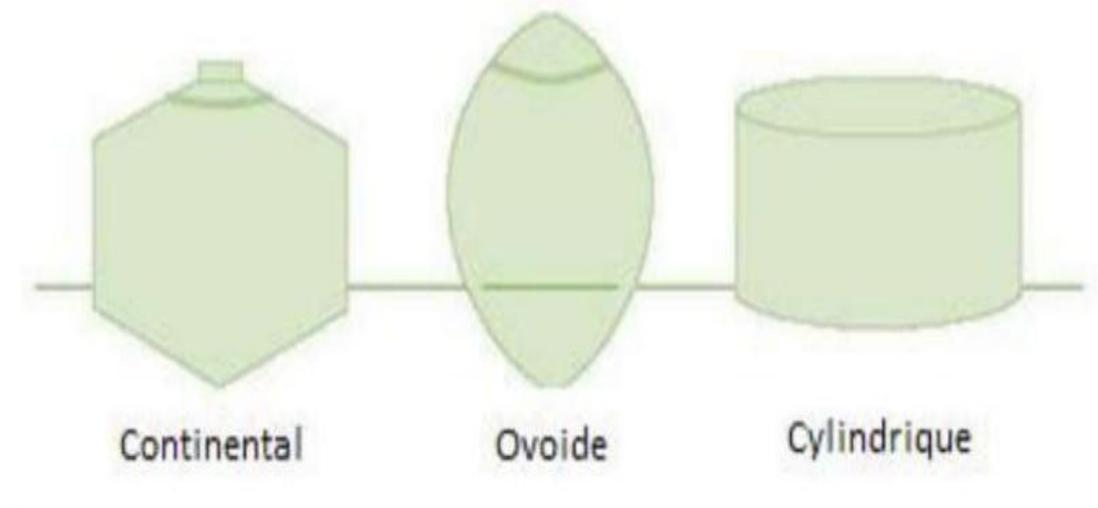


Figure II.1 : Différentes formes de biodigesteurs[10].

II.2 Classification des différents types de biodigesteur

Le choix du biodigesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application projetée. On peut classer les biodigesteurs selon :

- Le mode de l'alimentation : batch, semi-continu ou continu (Figure II.2) ;
- Le type de substrat : solide, semi solide ou liquide ;
- Le nombre d'étapes : mono ou bi étapes.

II.3.1 Classification selon le mode de l'alimentation

➤ Le biodigesteur batch ou discontinu

Il a l'avantage d'une construction simple. Le mode opératoire consiste à remplir le biodigesteur avec les substances organiques et laisser digérer. A la fin de la digestion, le digestat est évacué et le processus peut recommencer. Ces systèmes rustiques et d'une grande simplicité technique. Ils 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 production de biogaz est lente puis elle s'accélère pour atteindre un taux maximal au milieu du processus de dégradation et chute enfin de cycle lorsque seuls les éléments difficilement digestibles restent dans le biodigesteur [27].

➤ Le biodigesteur continu

Le substrat introduit de manière continue est digéré et déplacé soit mécaniquement soit sous la pression de nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement

Chapitre II : Les biodigesteurs

en continu, est bien adapté aux installations de grande taille [17].

➤ Le biodigesteur semi-continu

Le biodigesteur est progressivement rempli par des charges successives convenablement réparties dans le temps. La vidange est réalisée lorsque le volume utile du biodigesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante [27].

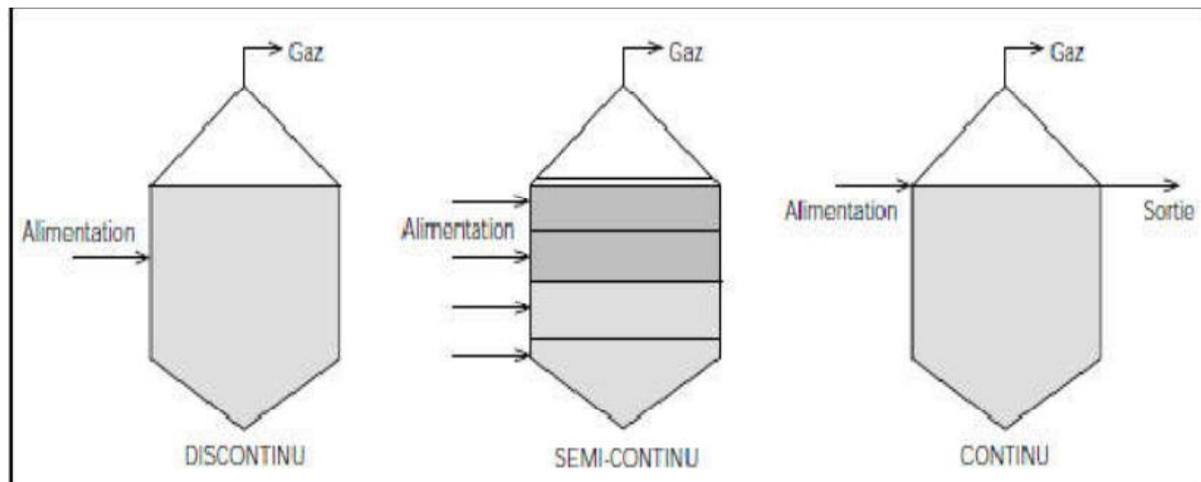


Figure II.2 : Les types de biodigesteur selon le mode de l'alimentation

II.3.2 Classification selon le type de substrat

- **Solide :** La teneur en matière sèche est supérieure à 15 % ;
- **Semi solide ou pâteux :** La teneur en matière sèche entre 5 et 15 % ;
- **Liquide :** La teneur de la matière sèche est inférieure à 5%.

II.3.3 Classification selon le nombre d'étapes

Selon les phases méthanogènes et acidogènes qui se déroulent dans le même réacteur ou dans 2 cuves séparées, on distingue :

➤ Le procédé en mono-étape

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

➤ Le procédé en bi-étape

Ce type de biodigesteur sépare la phase d'hydrolyse et l'acidogène dans une première étape, et la méthanogène dans une seconde étape. La recirculation de la phase liquide présente l'avantage de ne pas nécessiter constamment l'ajout d'eau réchauffée. L'avantage des procédés

Chapitre II : Les biodigesteurs

bi-étape réside dans le fait que la décomposition de la matière solide est de l'ordre de quelques jours. Cette séparation des phases, réduit le risque d'intoxication des cellules méthanogènes liée à la présence des acides gras volatils lorsque l'étape d'acidogénèse n'est pas complètement terminée [27-28]..

II.3 Les différents types de biodigesteurs à l'échelle mondiale

II.4.1 Production de biogaz à partir du fumier de poulet en chine

Cette installation est un exemple d'usine de biogaz à très grande échelle. Elle est construite autour du plus grand élevage de poules pondeuses en Chine, en utilisant quotidiennement 212 tonnes de fumier de poulet comme matière première. L'établissement est fonctionnel depuis 2007 et est reconnu comme système d'énergie biogaz à grande échelle du PNUD/FEM projet de démonstration.

Le plan a permis de réduire chaque année les gaz à effet de serre de 80 000 tonnes équivalent CO₂. La chaleur perdue du générateur est transmise au chauffage du biodigesteur et au chauffage des serres dont la consommation d'énergie est supérieure à 80 % [30].



Figure II.3 : Système de conversion d'énergie au biogaz de fumier de volaille de 2 Trillion Watts [30].

II.4.2 La technologie des biodigesteurs en Algérie

Le nombre de stations d'épuration des eaux usées (STEP) a considérablement augmenté durant la dernière décennie. En ne considérant que les STEP exploitées par l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA). Leur nombre est passé de 14 en 2003 à 75 en 2011. Le volume d'eau épurée par ces STEP est passé de 27,13 millions de m³ en 2003, à environ 115,58 millions

Chapitre II : Les biodigesteurs

de m³ en 2011. En 2013, on comptait 150 STEP en exploitation au niveau national. Celles-ci auraient produit 539 tonnes de boue par jour. Cependant, très peu de ces stations sont équipées de biodigesteurs pour la valorisation énergétique (biogaz) des boues. Nous avons exposé dans le tableau ci-dessous, les principales expériences de production de biogaz à partir des boues de STEP réalisées en Algérie.

Ces expériences témoignent de la réalité du potentiel énergétique des stations d'épuration des eaux usées en Algérie. L'exemple de la STEP d'El Kerma (Oran) en est illustratif. Le bilan de 2013 affichait en moyenne, une production de boue de 650 tonnes de matière sèche/mois, ainsi qu'une production de biogaz de 216 000 N m³/ mois [5]. Au niveau national, la production de boues est estimée à environ 196 735 t/an. Le potentiel de production de biogaz est estimé à environ 18 millions de m³/an[31].

Tableau II.1 : principales valorisations énergétiques des STEP en Algérie

<i>Région\Wilaya</i>	<i>Capacité de la station d'épuration (m³ /j)</i>	<i>Capacité du biodigesteur anaérobie (m³)</i>	<i>Production journalière en 2013</i>
<i>Beraki</i>	<i>150000</i>	<i>3X 12000</i>	<i>----</i>
<i>El Kerma Oran</i>	<i>270100</i>	<i>4 x 9600</i>	
<i>Annaba</i>		<i>260000</i>	
	<i>83620</i>	<i>-----</i>	<i>7503 m³/j</i>



Figure II.4 : station d'épuration des eaux usées STEP en Algérie (El Kerma - Oran)

II.4.3 La technologie des biodigesteurs en France

Le processus d'épuration transforme le biogaz produit en biométhane, à l'aide de membranes spécifiques, à partir des déchets ménagers. Il existe plusieurs étapes de pré-traitement pour nettoyer et conditionner le biogaz, qui est ensuite comprimé avant d'entrer dans les membranes séparant les molécules de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). Le biométhane produit peut alors être envoyé vers le réseau de gaz, ou encore être comprimé ou liquéfié pour être utilisé comme carburant dans les transports.

En général, après cette étape d'épuration, le biométhane peut être exploité partout où le gaz naturel est déjà utilisé. Ces deux variantes sont chimiquement identiques, et ne diffèrent que par leur origine. Cela ouvre donc un large éventail d'applications possibles[32].



Figure II.5 : biodigesteurs en France

II.4.4 La technologie des biodigesteurs au Canada (Germain des Prés)

Le GAEC Bets est situé à Saint-Germain-des-Prés dans le Loiret. Il exploite 448 ha et compte 2 élevages importants, l'un de porcs et l'autre laitier. Le GAEC dispose donc d'une base de produits agricoles méthanisables (lisier et fumier) importante : 8 600 t/an. Dès 2006, les frères Bets se sont intéressés à la méthanisation pour améliorer le bilan énergétique qu'ils venaient de réaliser sur l'exploitation. Suite à des visites et formations sur ce thème, ils se sont rapidement rapprochés de la société Agrikomp1 spécialisée dans les unités de méthanisation à la ferme, pour réaliser leur projet. Les premiers kilowatts électriques ont été produits mi-décembre 2008. Trois ans plus tard, il a fallu finaliser le projet, répondre aux exigences

Chapitre II : Les biodigesteurs

administratives, créer la structure juridique, construire le montage financier, rechercher des subventions et construire l'unité (Figure, II.6).

La fermentation des déchets se produit pendant environ 45 jours. Ce biodigesteur en milieu liquide fonctionne en flux continu. Chaque jour, 27 tonnes de matière sont incorporées dans le biodigesteur de 1200 m³ où la fermentation se déroule à 38°C [5].



Figure II.6 : Le biodigesteur du GAEC Bets Chambre d'Agriculture du Loiret[4]

Conclusion

Le biodigesteur est une innovation technologique qui produit un gaz combustible et l'engrais en transformant la matière organique en biogaz et en digestat, ils contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre tout en fournissant un combustible propre et un fertilisant naturel. Leur utilisation peut être adaptée à différentes échelles, des petits systèmes domestiques aux grandes installations agricoles ou industrielles.

Chapitre III

Réalisation d'un biodigesteur

III.1 Introduction

Ce chapitre présente les différentes étapes ayant permis la conception et la réalisation du prototype de biodigesteur thermostaté combiné.

Pour mener à bien cette étude, une recherche bibliographique traitant la méthanisation et les biodigesteurs a été faite, ce qui nous a permis de définir les différents traits d'un biodigesteur thermostaté combiné qui sert au service individuel à l'échelle du laboratoire ou à l'échelle pilote.

Pourquoi avoir opté pour ce choix ?

Pour répondre à cette question, ci-après, nous avons tabulé quelques comparaisons entre les biodigesteurs en service et celui objet de ce travail (tableau III.1).

Tableau III. 3 : la différence entre biodigesteur industriel et individuel.

Biodigesteurs industriels	Biodigesteurs individuels
Grande échelle	Petite échelle
Plus coûteux	Moins coûteux et moins complexe
Anaérobie ou aérobie	Anaérobie
Durée du test plus longue	Test rapide

III.2 Protocole expérimental

L'expérimentation ayant menée à ce travail est énumérée ci-après.

III.2.1 Méthodologie

Plusieurs essais et tentatives ont été nécessaires pour aboutir à ce prototype. Toutes ces tentatives avaient pour impératifs :

- ✓ La mise en évidence visuelle de la production de gaz,
- ✓ La récupération du gaz formé.

-Ceci nous a amené à utiliser les chambres à air de pneumatique de véhicule car le volume est extensible à chaque variation molaire du gaz dont le gonflement de cette dernière est perceptible à distance.

-Une autre variable s'est imposée à la suite de plusieurs essais ; il s'agit de la température. Ce paramètre s'est manifesté car les essais ont démarré fin novembre (période froide) sans qu'il y soit de réaction visible. Ceci nous a amené à considérer l'ajout de thermostatisation.

III.2.2 Matériel

Le matériel suivant ayant été utilisé durant ce projet se résume en :

- Chambres à air en caoutchouc vulcanisé ;
- Des barres métalliques pour la fermeture des chambres à air ;
- Un bain marie avec thermostatisation avec circulation externe ;
- Un compresseur à gaz pour la vidange ;
- Un manomètre à gaz ;
- Outillage de mécanicien ;
- Réservoir à gaz.

III.2.3 Essais d'obtention de biogaz

Les essais de production de gaz ont été réalisés sans oxygène (anaérobie).

Essai N°1

L'essai est conduit selon le protocole suivant :

- Le type du réacteur : Chambre à air
- Nature de déchets : les déchets ménagés
- La quantité : 1421g.

Après la mise de la charge dans la chambre à air, le vide a été réalisé pour une valeur qui avoisine le 0 bar.

- La pression : Sous vide
- La température : Ambiante soit 19°C Le (26/11/2023)

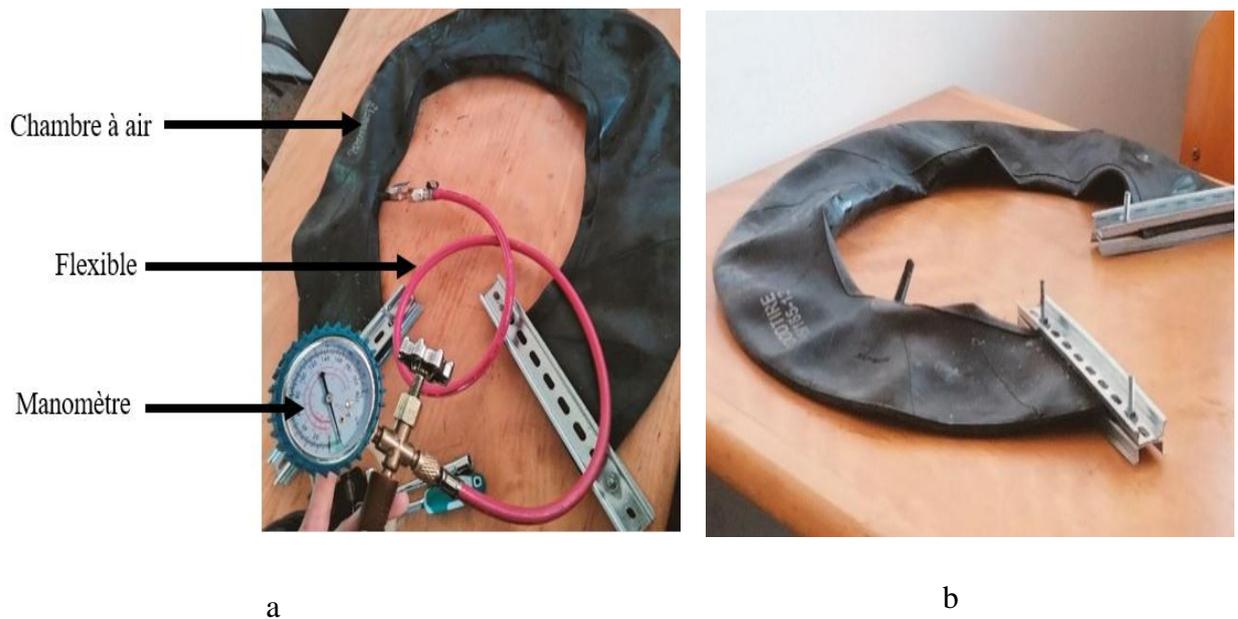


Figure III. 1 :(a) La mise du sous vide après le remplissage de la chambre à air
(b) l'état du réacteur après le vide

Résultats :

Après un temps de séjour de 7 jours, plusieurs remarques ont été soulevées sur l'état de la chambre à air :

- Il n'y a pas eu de gonflement ;
- Au touché du bioréacteur, la température est toujours basse.

Ces observations permettent de déduire :

- Absence de gaz ;
- Absence de réaction chimique et biochimique.

Essaie N°2

Le même protocole que l'essai N°1 a été suivi avec seulement nous avons introduits le paramètre température. Pour cela, nous avons utilisé un bain-marie pour le chauffage du réacteur à 37°C.

Résultats :

Un gonflement du réacteur est apparu pendant jours de réaction. Le gonflement signifie une production de gaz (figure III.2).



Figure III. 2 : Etat de bioréacteur (le gonflement) après 07 jours

Essaie N° 3 et 4

Ces deux essaies ont été réalisé le : 02 / 02 / 2024 dans les mêmes conditions que le premier essai (température ambiante) pour la première étape et à température 37°C pour la deuxième étape avec des compositions différentes (Tableau III.2).

Tableau III.4 : la composition des deux chambres à air A et B

Chambre à air	A	B
Composition / Quantité	Composition 1	Composition 2
Température	Température ambiante (1 ^{ère} étape) Température égale à 37°C (2 ^{ème} étape)	
Pression	Sous vide	

Chapitre III : Réalisation du biodigesteur

Résultats :



t = 0



Après 24 heures



Après 48 heures



Après 72 heures

Figure III. 3 : Evolution de la production de gaz au cours du temps

Après un temps de séjour de 72 heures, il y a eu un gonflement au niveau des deux chambres à air (A et B), donc des réactions chimiques et biochimiques ont été produites aboutissant à la formation de gaz (Figure III.2).

On peut conclure la composition du substrat est l'un des paramètres qui influence sur la production du gaz.

Chapitre III : Réalisation du biodigesteur

Le montage précédent a été relié au bain-marie grâce à un circuit d'eau chaude pour maintenir la température à 37°C (Figure III.3).



Figure III. 4 : a : Bioréacteurs reliés à une source de chaleur
b : dédoublement du volume de gaz dégagé

Après l'ajout de source de chaleur, il a été remarqué un dédoublement du volume des deux chambres à air.

Ce résultat permet de constater que la température est un des paramètres important influençant la méthanisation.

III.2.4 Elaboration d'un montage d'extraction du gaz

- Montage :

Pour extraire le gaz produit dans les deux chambres à air, un montage a été construit et qui contient :

- Une pompe
- Un réservoir à gaz
- Les tuyaux à gaz

Chapitre III : Réalisation du biodigesteur

- Un sécheur : il a été ajouté après un problème survenu au niveau de la pompe car lors de l'extraction du gaz, il y a eu une petite quantité d'eau a été extraite avec.

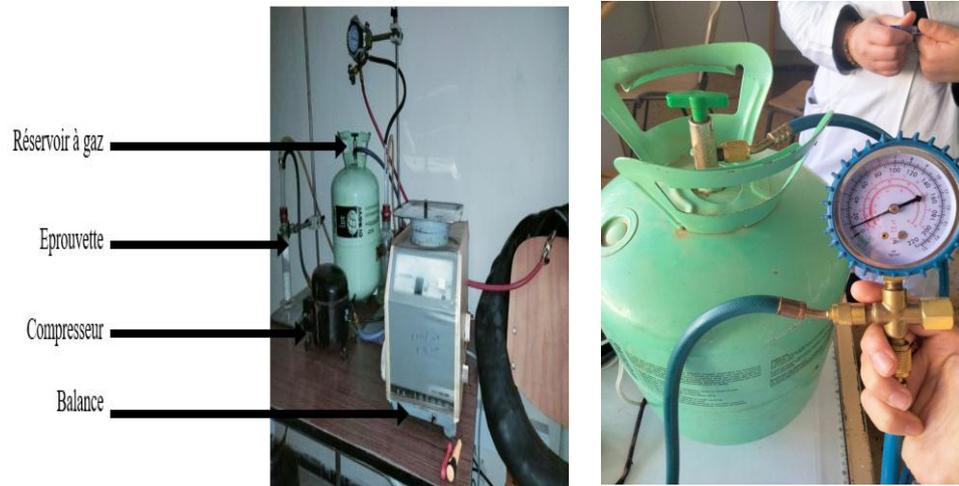


Figure III. 5: Les différents éléments du montage

- Mesure du biogaz

Après l'extraction on a mesuré la masse de biogaz (figure III.6).

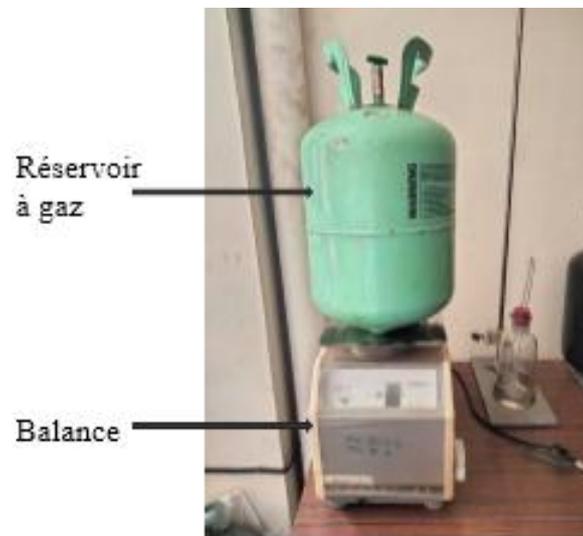


Figure III. 6 : Dispositif de mesure de la masse du biogaz produit

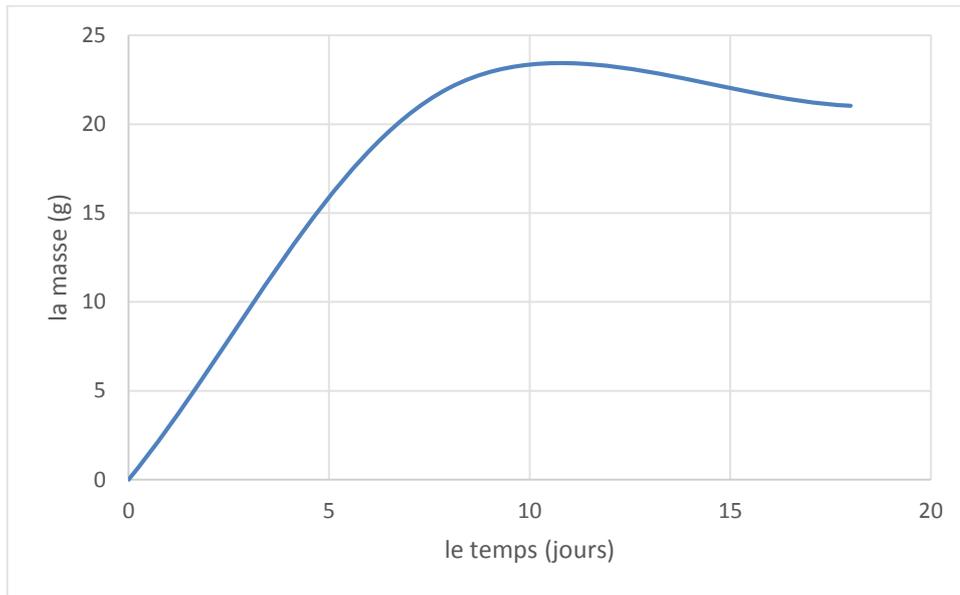


Figure III. 7 : l'évolution du biogaz dans le biodigesteur

Nature du gaz extrait

Le premier test :

Nous avons utilisé l'hydroxyde de sodium qui est soluble dans l'eau et de couleur blanc mat.



Après la réaction ci-dessus et selon la figure III.8 (a), l'eau dans l'éprouvette reste incolore.

Le deuxième test:

Nous avons utilisé un deuxième indicateur qui est la chaux caractérisée par sa solubilité.



Après la réaction III.2 et d'après la figure III.8 (b), nous avons constaté que l'eau devient trouble. Ceci confirme la présence de gaz CO_2 .

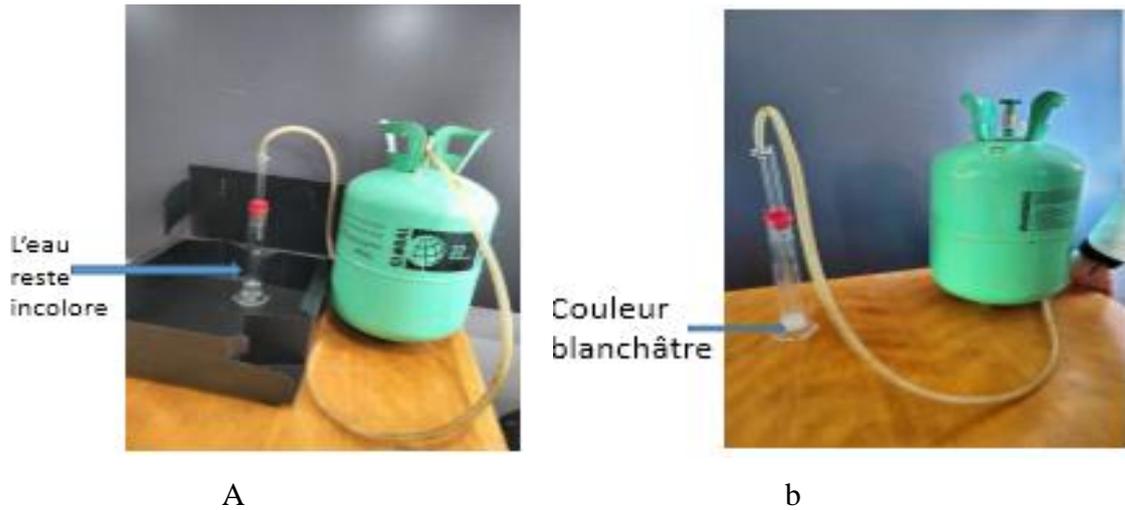


Figure III. 8: a : essai de présence de gaz par réaction chimique avec Hydroxyde de sodium,
b : essai avec la chaux

Le premier test :

Le troisième essai consiste en l'utilisation de la flamme par briquet (Figure III.9 a).

Le test est négatif, donc absence de gaz.

Le deuxième test :

Le test à l'Arduino était positif donc présence de gaz CH_4 (figure III.9 b).

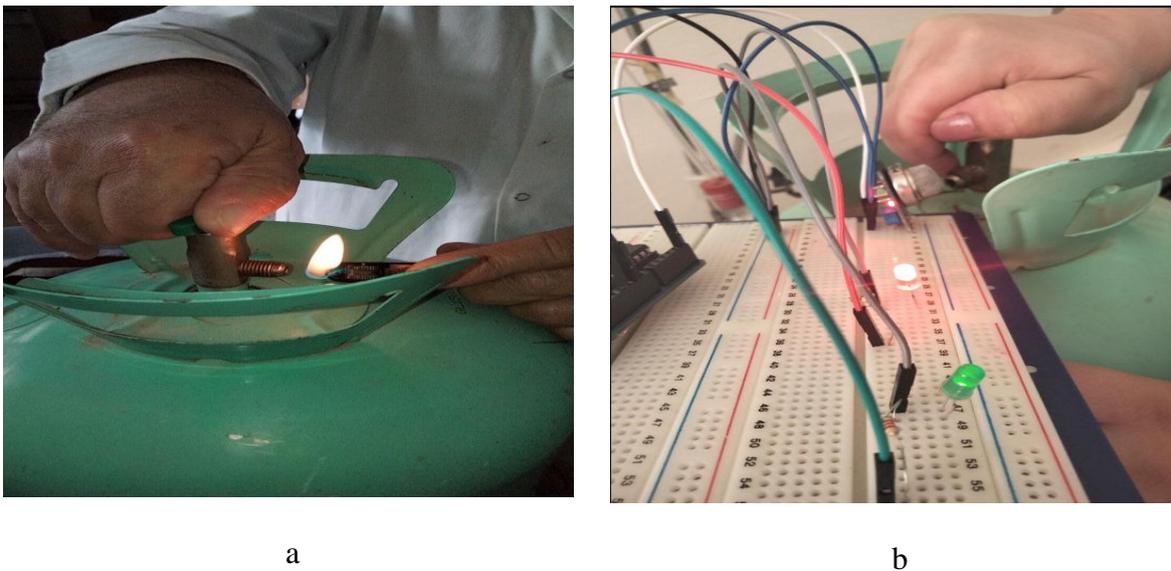


Figure III. 9 : Test à la flamme (a) et test à l'aide Arduino (b)

Chapitre III : Réalisation du biodigesteur

Après 1 mois (le 03/03/2024) il y avait des usures au niveau des deux chambres à air (Figure III.7 a) et aussi nous avons observé que le tissu des deux tabliers est dégradé à cause de la présence de l'acidité à l'intérieur des deux chambres à air (Figure III.7 b).

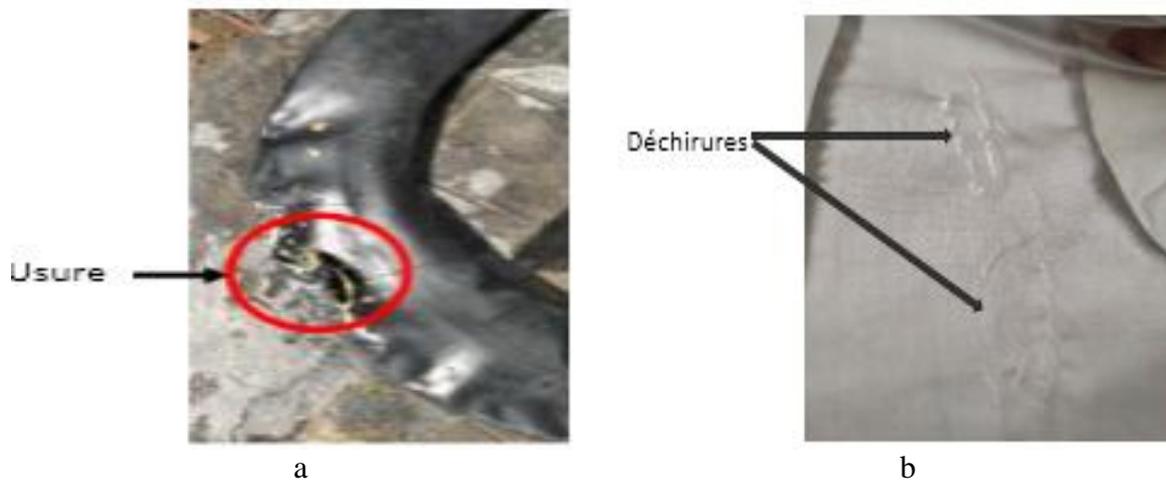


Figure III. 10: Effet de l'acidité sur les chambres à air (a) et sur le tissu des tabliers (b)

III.3 Le prototype final

III.3.1 Méthodologie

On a réfléchi à réaliser un biodigesteur en béton.

Plusieurs essais et tentatives ont été nécessaires pour aboutir à ce prototype. Toutes ces tentatives avaient pour impératifs, d'une part, la mise en évidence visuelle de la production de biogaz sans ouvrir le réacteur et, d'autre part, la récupération du gaz formé.

A cause des insuffisances (les fuites, l'acidité, les usures...), ceci nous a amené à utiliser le béton pour réaliser notre réacteur pour éviter ces incidents.

D'après les essais précédents la thermostatisation est nécessaire donc on a ajouté un circuit d'eau à l'intérieur du réacteur.

III.3.2 Matériel et méthodes

Le matériel ayant été utilisé durant ce projet se résume-en :

- Malaxeur
- Balance
- Coffrage

Chapitre III : Réalisation du biodigesteur

- Outil de maçonnerie.

III.3.2 Etape de conception

Les étapes de réalisation du biodigesteur en béton sont les suivantes :

-On a pris un baril cylindrique en plastique et on a percé plusieurs ouvertures d'entrée et d'extraction (Figure III.11 a).

- Un tuyau de thermostatisation a été installé au tour du baril pour réguler la température (Figure III.11 a).

- Ensuite vient la mise en œuvre du ferrailage du baril thermostaté (Figure III.11 a).

- La figure III.1 b, montre le coffrage à l'aide de plaques en bois. Ce coffrage appelé moule doit être suffisamment rigide pour supporter la pression du béton et étanche pour contenir ce dernier à l'état fluide.

-La figure III.1 c, représente le bétonnage. Le béton est constitué de sable, gravillon, ciment, eau et adjuvant.

Le coffrage est enlevé une fois le béton séché.



Figure III 111 a : le ferrailage



Figure III. 11 : coffrage et bétonnage

III.3.3 Le montage final

Pour la réalisation du montage final les dispositifs suivants ont été utilisés :

- Le biodigesteur en béton
- Le bain- marie
- Le compresseur
- La solution du la chaux et le sécheur
- Le réservoir a gaz
- Tuyau d'eau
- Flexible du compresseur
- Robinet d'eau
- Le panneau de contrôle qui contient :
 - Le fusible
 - Bouton pousoir
 - Bouton marche/arrêt
 - Bouton de sécurité
 - Le thermostat
 - Sélecteur
 - boutons en couleurs
 - Pressostat HP/ HP

Chapitre IV

Guide du projet

IV.1 Introduction

Ce chapitre porte sur l'étude de projet d'une startup et met en évidence l'importance d'une analyse approfondie avant de se lancer dans l'aventure entrepreneuriale. L'étude de projet englobe une analyse du marché, de la concurrence, de la proposition de valeur et de la faisabilité financière. L'objectif est d'évaluer la viabilité et la faisabilité de l'idée d'entreprise, d'identifier les opportunités, les risques et les défis potentiels, et de définir une stratégie de mise en œuvre. Une étude de projet rigoureuse contribue à établir une base solide pour le développement et la croissance de la startup, augmentant ainsi ses chances de réussite sur le marché compétitif.

IV.2 Première axe : Présentation de projet

IV.2.1 L'idée de projet

L'idée de projet commencé quand on a remarqué qu'il y a une grande perte d'énergie, face à ce gaspillage énorme nous avons cherché une solution et nous avons conçu un système de production de biogaz.

Alors on a décidé de commencer de faire des essais pour la production du biogaz mais l'absence de mini biodigester expérimentaux au sein de notre faculté nous a conduit à concevoir et réaliser notre biodigester à l'échelle laboratoire.

Alors notre invention a pour objectif de mettre à disposition un biodigester adapté aux essais en laboratoire, tant universitaire qu'industriel. Il vise également à réduire au maximum notre dépendance aux énergies fossiles en produisant une énergie renouvelable.

IV.2.2 La valeur proposée

- Le biogaz représente une solution prometteuse pour répondre aux défis actuels de gestion des déchets et de transition énergétique.
- Ce système de biodigester offre une modernité dans notre pays car il n'existe pas ce genre des biodigesteurs, il existe seulement des bioréacteurs classiques industrielle souvent indisponibles pour les essaies, donc notre biodigester offre une accessibilité permanente et une solution innovante pour la recherche.
- La performance de notre système répond parfaitement aux attentes des clients qui cherchent la facilité et la simplicité d'utilisation car notre biodigester est combiné de 7 opérations en un seul équipement.

Chapitre IV : Le guide du projet

- Ce système de biodigesteur offre une bonne réduction des coûts car il fonctionne seulement dans les temps qui nécessitent alors il ne consomme pas beaucoup d'énergie.
- Ce système est adapté aux besoins des essais et des petites communautés, offrant une solution de gestion des déchets organiques ; une source d'énergie renouvelable et la production d'engrais à petite échelle.

IV.2.3 Equipe de travail

L'équipe de projet est composée des membres suivants : FatimaZahra et Rouba Rahil

Une responsable administrative : qui va assurer le suivi et la gestion de tous les aspects administratifs du projet.

Une responsable d'installation qui se charge de la mise en place et de la maintenance du biodigesteur.

Une réunion mensuelle pour l'échange des responsabilités des deux membres sera programmée.

IV.2.4 Objectif de projet

Notre objectif est d'avoir une entreprise productive et rentable à l'échelle nationale dans le domaine de production de biogaz et l'installation des biodigesteurs, et d'attendre une grande part de marché Algérien.

IV.3 Deuxième axe : Aspects innovants

IV.3.1 Nature des innovations

Innovation technologique :

L'absence des biodigesteurs dans le marché algérien et l'impossibilité de réaliser les essais nous ont conduit à inventer une technologie qui contient les dispositifs suivants :

Biodigesteur : est le cœur où se réalise la méthanisation, appelé aussi fermenteur ou bioréacteur anaérobie.

Thermostat : Le thermostat assure automatiquement la régulation de la température émise par le bain-marie, en agissant sur le débit d'entrée de l'eau.

Electrovannes : L'électrovanne joue un rôle fondamental dans le système en contrôlant la pression elle ouvre et ferme le circuit de passage du gaz.

Arduino essai composants : il est connu sous le nom de système de régulation ou de contrôle. Il joue un rôle essentiel pour détecter le gaz.

Réservoir à gaz : pour le stockage du gaz.

Bain-marie : pour le chauffage (thermostatisation).

IV.3.2 Domaines d'innovation

Les aspects innovants de notre système sont :

- C'est le premier système de biodigester individuel en Algérie qui utilise des dispositifs de contrôle tels que : Le système de contrôle, des électrovannes pour la pression et le thermostat pour régler la température.
- Il contient un système de thermostatisation assuré par le bain-marie
- Il économise environ 70% de l'énergie, il produit aussi les engrais et répond aux besoins des essais.
- Il contribue à la diminution de la pollution...etc.
-

IV.3 Troisième axe : Analyse stratégique de marché

IV.3.1 Le segment de marché

Le marché potentiel :

Les clients potentiels peuvent être variés et inclure différents types de propriétaires. Voici les clients qui peuvent opter pour ce biodigester :

Propriétaires de maisons individuelles : Les particuliers possédant leur propre maison peuvent choisir notre système de biodigester pour fournir une source de chaleur commune à plusieurs unités d'habitation.

Propriétaires des laboratoires : Les propriétaires de laboratoire ou de copropriétés peuvent opter pour notre système pour les essais.

Institutions publiques : Les écoles, les universités, les cités résidentielles les hôpitaux, les administrations publiques et autres institutions similaires peuvent être des clients potentiels du notre système développée de chauffage central au gaz.

Les agricoles : pour fournir des biofertilisants.

Des entreprises : les STEP et les CET pour la réalisation des essais afin d'augmenter le rendement de production.

Le marché cible :

Nous avons choisi de cibler les laboratoires et les agriculteurs ainsi que les individus pour l'installation de notre système innovant de biodigester, car nous avons constaté que ces acteurs cherchent constamment à réduire leurs dépenses et leurs charges.

Notre système offre une efficacité énergétique accrue, ce qui permet aux entreprises de réduire leur consommation d'énergie et, par conséquent, leurs coûts opérationnels.

IV.3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

Sur le marché algérien, il y a une faiblesse des concurrents seulement, notre principal concurrent sont les STEP qui se situent à Oran, Annaba et Alger. Elles sont spécialisées dans la production de biogaz à partir des boues. Comme il y a aussi Green Ai.

Les STEP ont une ancienneté sur le marché avec une absence de développement des services client et elles sont limitées à des activités régionales.

Green AI est système classique avec manque d'innovation tandis que notre biodigester individuel est un système innovant avec des dispositifs de contrôle avancés, répondant ainsi aux besoins spécifiques du marché.

IV.3.3 La stratégie marketing

La stratégie marketing pour notre entreprise de biodigester repose sur la compréhension de nos clients, l'analyse concurrentielle et la création d'une proposition de valeur unique. Nous nous concentrons sur les propriétaires de maisons individuelles, les agriculteurs, les universités et les laboratoires de recherche.

Pour se démarquer de la concurrence, nous mettons en avant les avantages économiques, écologiques et pratiques de notre invention dans le domaine de production de biogaz. Nous soulignons la réduction des coûts énergétiques, les faibles émissions de gaz à effet de serre et le confort accru pour les utilisateurs.

Nous adoptons une approche de marketing de contenu en publiant régulièrement des articles informatifs sur notre blog, où nous partageons des conseils d'efficacité énergétique, des informations sur les dernières technologies et des études de cas. Ainsi que le contact par téléphone et e-mail les différentes institutions concernées.

Nous utilisons également les réseaux sociaux pour interagir avec notre public cible, en répondant à leurs questions et en partageant du contenu pertinent.

Chapitre IV : Le guide du projet

Pour atteindre notre public spécifique, nous utilisons des publicités en ligne ciblées sur des plateformes telles que Google Ads et les réseaux sociaux. Nous encourageons également nos clients satisfaits à laisser des témoignages et des avis positifs en ligne pour renforcer notre réputation. En combinant toutes ces stratégies, nous visons à positionner notre entreprise comme un acteur clé, en offrant des solutions de qualité supérieure, respectueuses de l'environnement et économiquement avantageuses.

IV.4 Quatrième axe : plan de production et d'organisation

IV.4.1 L'Approvisionnement :

Installations des dispositifs de contrôle tels que : les électrovannes, Arduino et les thermostats au niveau des réseaux de distribution.

Dans le processus d'achat, nous traitons directement avec les importateurs (fournisseurs), ce qui est un avantage concurrentiel pour notre projet. Notre entreprise va choisir trois grands importateurs et fabricants qui vont nous fournir les produits nécessaires de bonne qualité et avec de très bons prix pour la conception des biodigesteurs :

- Kompass
- Lafarge Algérie
- ETS CHETOUANE

IV.4.2 La main d'œuvre

Nous débutons notre projet avec création de 3 postes de travail selon les tâches suivantes :

- Technicien d'installation et maintenance : 1 poste
- Responsable de projet : 2 postes

IV.4.3 Les Principaux partenaires

Les partenaires les plus importants dans notre cas sont les fournisseurs, au regard de l'importance de leurs prestations pour la réussite du projet. Les incubateurs universitaires aussi fournissent une aide précieuse aux projets, sans oublier le poids des structures de financement...

IV.5 Cinquième axe : plan financier

Les Coûts et les charges

- Quartier général

Tableau IV.6 : les coûts de location

Caractéristiques	Superficie	Nature	Position	Le coût (mois)
Local	100m ²	Location	Mostaganem	50000DA

- Equipements de bureau

Il s'agit des meubles au bureau et le coût de ce matériel se détaille dans le tableau ci-après.

Tableau IV. 7 : les prix de matériel bureaux utilisé et matériel informatique en DA.

Rubrique	Nombre	Prix unitaire	Total (DA)	Fournisseurs
Chaise bureau	2	19800	39600	Le confort
Table de bureau	2	49800	99600	Vente de mobilier
Armoire	2	20500	41000	
Chaise en bois	4	5800	23200	
PC ordinateur	1	100000	100000	Dzduino
Total	11	195900	303400	

Tableau IV 8 : services nécessaires par année. Déclaration Services requis pour le projet

Déclaration	Services requis pour le projet (DA)
Electricité	35000
L'eau	2400
Le téléphone	45000
L'internet	48000
Total	130400

Chapitre IV : Le guide du projet

Le personnel de l'entreprise et leurs salaires

Tableau IV.9 : représentation des taches de personnels d'entreprise et leur salaire en DA

Poste	Effectifs	Salaire net	Salaire net annuelle
Responsables	2	50000	1200000
Technicien de maintenance et installation	1	30000	360000

L'achat consommé

Tableau IV.10: l'achat consommé

Nom de la pièce	Prix	Nombre	Prix net
Bain -marie	27000		-
Compresseur	27500	1	27500
Réservoir de stockage	-	1	-
Y PVC 80	250		-
Mouchant PVC 110/80	250	2	500
Reduction PVC 90/1102	200	2	400
Mouchant PVC 80	170	2	340
Bouchant PVC 80	120	3	360
Colle PVC 125ml	400	1	400
Baril 100 MI			-
Thermostat	2000	1	2000
Pressostat	2000	1	2000
Buton de poussoir rouge	250	1	250
Buton de poussoir noire	250	1	250

Chapitre IV : Le guide du projet

Sélecteur	350	1	350
Bouton marche / arrêt	350	2	700
Bouton de sécurité	300	1	300
Fusible	300	1	300
Armoire	350	1	350
Prise	220	1	220
Tuyau compresseur	170	3	510
Flexible compresseur	650	3	1950
Baril		1	
Ciment	470	1	470
Gravier	200	1	200
Sable	200	1	200
Tamiseur	2600	1	26000
Tuyau thermostatisation	200	3	600
Total	66750	37	66150

Conclusion générale

La réalisation de notre biodigesteur s'inscrit dans le cadre de développement durable. Il offre une solution innovante pour la valorisation des déchets ménagers organiques en biogaz qui permet de répondre aux besoins énergétiques et en digestat riche en matière organique utilisé comme fertilisants par amendement des sols par les agriculteurs.

Comme il contribue aussi à relever des défis environnementaux majeurs tels que les gaz à effet de serre.

En transformant les déchets organiques en biogaz et biodigestats, ce biodigesteur permet une utilisation domestique ainsi que certaines institutions avec un système de régulation automatique.

Cet œuvre encourage la poursuite des recherches et l'innovation dans ce domaine afin de maximiser les bénéfices environnementaux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

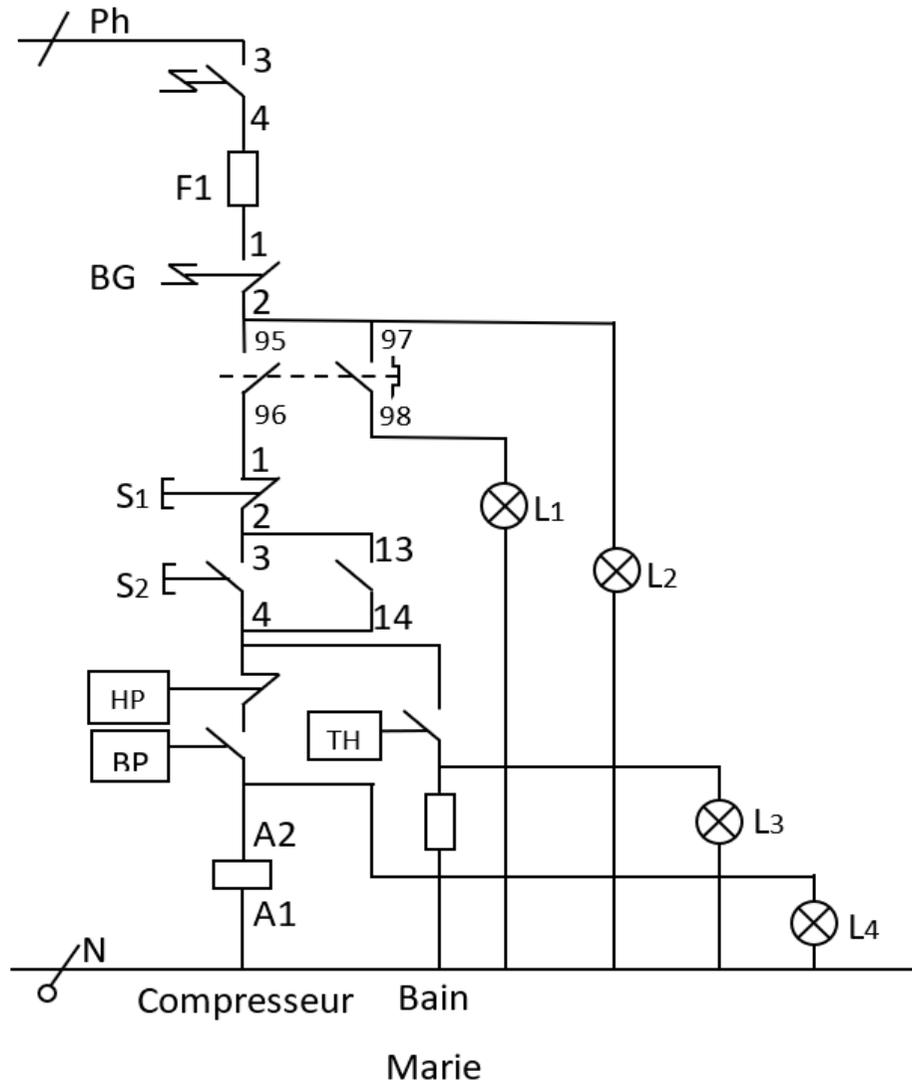
- [1].hess, j. (2007). Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation . Nice FRANCE , Université Nice Sophia Antipolis, france : Doctoral dissertation.
- [2].Angeli, J.-R. B. (2019). Etude de faisabilité de la micro-méthanisation par co-digestion à l'échelle des quartiers. ECOLE DOCTORALE N° 602, france .
- [3].Gomes, R. H., Jovani Taveira, Fabio Neves, Cassiano Moro , & Antonio Carlos. (2021). Biodigester location problems, its economic–environmental–social aspects and techniques: Areas yet to be explored, p. 11.
- [4].Laperrière, W. (2017). Évaluation des limites d'un digesteur biogaz pour une utilisation flexible dans un réseau local de production d'énergie (Doctoral dissertation, Université Montpellier).
- [5].LEJARS, L. (2010). La valorisation des effluents et produits d'exploitation par la méthanisation. Exemple d'un cas concret dans le Loiret: le GAEC Beets. . Beets. Fourrages (Versailles), (203), 175-181.
- [6].Pépin, T. H., Martin, J., Conversion biochimique de la biomasse : Aspects technologiques et environnementaux. Working Paper n°3, UCL Université Catholique de Louvain (2003).
- [7].Truong, L.V-A. (2004). Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec.
- [8].Bollon, J. (2012). Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche : essais expérimentaux et modélisation. thèse. Ecole doctorale de Chimie de Lyon (Chimie, Procédés, Environnement), france.
- [9].R, M. (2008). La méthanisation. Édition TEC&DOC.
- [10].Albasi, M. C., Dumas, E. M. C., Chargée de Recherches, I. N. S. A., Fick, M. M., UL, L., Olmos, M. E., ... & UL, L. (2017). Etude du procédé de méthanation en digesteur anaérobie à l'échelle pilote. Impact du mélange et du transfert gaz-liquide sur les performances de production de biogaz.
- [11]. Görisch., & Helm, M. (2008). La production de Biogaz, Ulmer, Paris.
- [12]. D.J, B.Keller. J, Kalyuzhnyi. S, Pavlostathis, S.G, S.G, Rozzi, A, Sanders.H, Vavilin. V.A. (2002). The iwa anaerobic digestion model n°1 (adm1). Water Science and Technology.
- [13]. Tou, I.S. Igoud , & A. Touzi. (2001). Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales. 6.
- [14]. Tong. X, Smith. L.H, McCarthy, P.L., (1990), Methane fermentation of selected lignocellulosic materials.
- [15]. Ouedrago.R.B. (1994). Traitement des ordures ménagères au Sénégal. Sénégal: Thèse.
- [16]. Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B.M., and Williams, R.B. (2008). Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. In California Natural Resources Agency. Department of Resources Recycling and Recovery. Biochemical Conversion Processes. Anaerobic Digestion, [En Ligne]. <http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/Organics/2008011.pdf> (Page consultée le 2 mars 2010).

Références bibliographiques

- [17]. Marache.L.E. (2001). La méthanisation des effluents et déchets organiques : toulouse, france: thèse de doctorat, université Paul-Sabatier.
- [18]. Bollon, J. (2012). Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche : essais expérimentaux et modélisation. thèse. Ecole doctorale de Chimie de Lyon (Chimie, Procédés, Environnement), france.
- [19]. Hajjaji, N., Pons, M. N., Renaudin, V., & Houas, A. (2010). Production du biogaz par digestion anaérobie : Aspects technologiques et environnementaux. Séminaire de l'Ecole Doctorale RP2E « Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits et Environnement.
- [20]. farge, L. (1995). Le Biogaz, procédés de fermentation méthanique. masson.
- [21]. Truong, L.V-A. (2004). Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Québec.
- [22]. Almansour, E. (2011). Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz. france: thèse de doctorat université de bordeaux.
- [23]. Houot, S., Pons, M. N., Pradel, M., & Tibi, A. (2016). Recyclage de déchets organiques en agriculture: Effets agronomiques et environnementaux de leur épandage. Editions Quae.
- [24]. Derbal.K. (2015). digestion anaérobie des déchets solides mélanges avec les boues de station d'épuration. l'Université Mentouri de Constantine, génie de l'environnement, Algérie: mémoire doctorat science en génie de l'environnement.
- [25]. Amarante, J. A. L. (2010). IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE.
- [26]. Bouazzouni, N., & Sadoudi, T. (2021). Etude préliminaire sur la valorisation du roseau commun dans le processus de la biodigestion de la boue de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [27]. Guendouz, J. (2008). Contribution à la recherche d'outils pour l'étude et le suivi des réacteurs de méthanisation par voie sèche. Montpellier: Montpellier II.
- [28]. Boutouta.I. (2012). valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville blida. université blida, algerie .
- [29]. Haryanto, A., Udin Hasanudin, Chandra Afrian, & Iskandar Zulkarnaen. (2018). Biogas production from anaerobic codigestion of cowdung and elephant grass (*Pennisetum Purpureum*) using batch digester. 141.
- [30]. Hojnacki, A., Luyao Li, Nancy Kim, Claire Markgraf, & Drew Pierson. (2011). Biodigester Global Case Studies. China , india ,Central America,Brazil .
- [31]. AKBI.amine , La bioénergie en Algérie : Un gisement important, et des bénéfices environnementaux.
- [32]. UNE TECHNOLOGIE D'ÉPURATION ÉPROUVÉE. (2024, mai 1). Récupéré sur agrikompe: (<https://www.agrikomp.com/fr/installations/agripure/>).

Annexes

Schéma de commande



L1 : Panne

L2 : Mise sous tension

L3 : Chauffage

L4 : Compresseur

F1 : Fusible

BG : Bouton d'urgence

S1 : Bouton de poussoir marche « Rouge »

L4 : Bouton de poussoir arrêt « Noire »

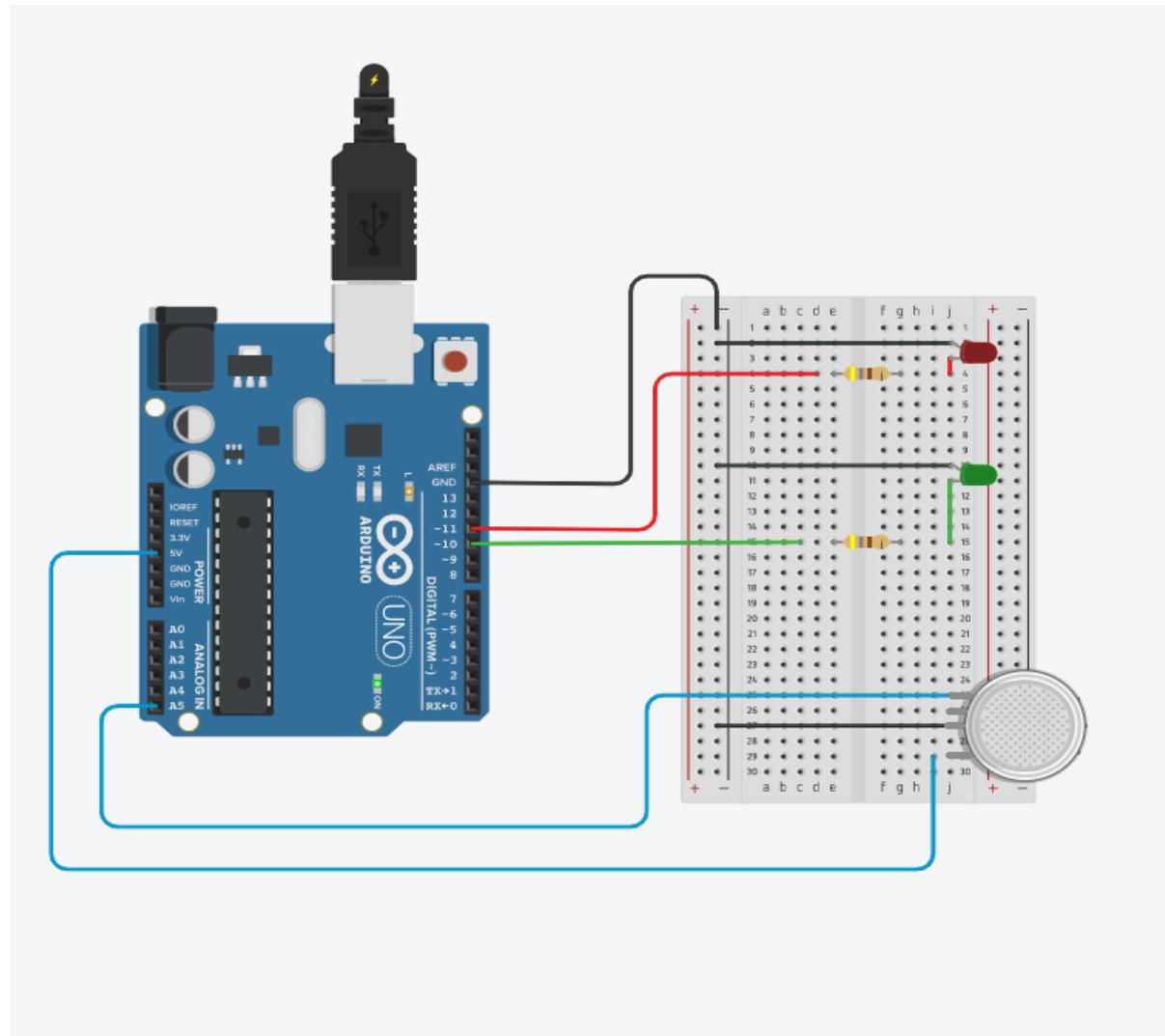
TH : Thermostat

HP, BP : Pressostat haute pression basse

Pression

Ph / N : Phase / Neutre

Schéma d'Arduino



Partenaires clés	Activités Clés	Propositions de valeur	Relation Client	Clients
<p>Annexe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs des matériels pour le montage 	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche et développement pour 	<ul style="list-style-type: none"> • Une solution innovante pour la 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation gratuite sur l'utilisation du 	Individu :
<ul style="list-style-type: none"> • Les distributeurs pour la commercialisation des biodigesteurs 	<ul style="list-style-type: none"> • améliorer l'équipement • L'achat du matériel • Fabrication et production de l'équipement • Évaluation les performances de l'Equipment et apporter des améliorations si nécessaire • Test de l'équipement avant le vent • Assurer la conformité réglementaire avec les lois environnementales et énergétique • L'emballage • Le stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • production de biogaz durable. • Système automatique compact et combiné avec 7 opérations • Minimiser le risque et réduction des couts des essais 	<ul style="list-style-type: none"> • notre matériel. • Proposer une garantie. • Livraison et Installation gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Particulier • Chercheurs au laboratoire • Agricoles Entreprise <ul style="list-style-type: none"> • STEP • CET
	Ressources clés		Canaux	

Annexe

	<ul style="list-style-type: none">• Ressources matérielles : Locale, Matériels : pompe, réservoir à gaz, ... etc.• Ressources humaines : Ingénieurs et techniciens• Ressources financières : crédit, associe		<ul style="list-style-type: none">• Par téléphone• Création d'un site w• Publicité les réseaux sociaux : des pages et / ou groupes pour la vente du matériel industriels• Publicité dans les points de vente du matériel industriels et les laboratoires	
Coûts		Revenus		

Annexe

Investissement :

- Matériels d'installation

Exploitation :

- Matière première
- Transport
- Personnel
- Marketing

- Vente directe
- Des contrats
- Maintenance
- Pièces de rechanges