

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saida



كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

Installation d'un biodigester pour la production de biogaz et biofertilisants

Un projet soumis en partie pour répondre aux exigences Pour le diplôme de Master en Sciences Biologiques - Diplôme Startup, dans le cadre de la résolution ministérielle 12-75.

Présenté par :

- Mr : Hanafi Ilham
- Mr : Fares wissem

Devant le jury composé de :

Président	Mme.CHAHROR	Pr Université UMTS
Examinateur	Mr. BENABBOU Taha Ahmed	MCA Université UMTS
Examinateur	Mr. BENZAI Yacine	MCB Université UMTS
Rapporteur	Mr. BELLIL Yahia	MCB Université UMTS

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

J'exprime ma gratitude au Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, les connaissances et la capacité de me lancer dans ce voyage de recherche, et j'exprime ma sincère gratitude à mes parents pour leur soutien et leurs encouragements indéfectibles tout au long.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon mentor, le Dr Belil, dont les conseils et le soutien indéfectible ont été inestimables tout au long de cette entreprise.

Je remercie chaleureusement les experts qui ont accepté d'examiner ces travaux, le Dr Benrguig, le Dr Benabbou, le Dr Benzai et le Dr Djellouli N.

En outre, je tiens à remercier le Département de biologie et l'incubateur d'entreprises de l'Université de Saïda, le Dr Moulay Tahar, Algérie, pour m'avoir accordé l'accès aux installations du laboratoire et pour les encouragements qu'ils m'ont apportés

Dédicace

La gratitude est offerte au Divin, sans qui cet effort n'aurait pas abouti. J'adresse mes sincères remerciements à ma mère bien-aimée, dont les rêves et les prières m'ont conduit à cette réalisation capitale. Ma sincère gratitude va également à mon père bien-aimé, qui m'a soutenu de tout cœur.

Avec une profonde affection et gratitude, je dédie cet ouvrage à mes sœurs bien-aimées, Siham et Nesrine, et à mon cher frère Abdelkarim. Votre soutien, votre amour et vos encouragements inébranlables ont été une source constante de force et d'inspiration tout au long de mon parcours. Ce dévouement témoigne du lien que nous partageons et de la motivation sans fin que vous m'avez apportée.

Je suis profondément reconnaissant envers mes proches qui ont démontré une confiance inébranlable en mes capacités et m'ont encouragé tout au long des joies et des défis de la vie.

Cette dédicace est dédiée à Racha, Amani, Wissem, Younes et Mohamed.

Je dois reconnaître le rôle central joué par M. Chohra Younes, dont le soutien a été déterminant dans la réussite de cette tâche.

Ce modeste ouvrage leur est dédié à tous.

Dédicace

A mon cher père, pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières
tout au long de mes études,

A ma chère maman, que Dieu ait pitié d'elle

À ma deuxième mère, WARDA pour son soutien et sa gentillesse tout au long de mon
parcours académique

A mes chères sœurs AMIRA, HOURIA pour leur encouragement et leur soutien moral

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

A pour mes copines RACHA, AMANI, ILHAM et Mohamed

Je dois reconnaître le rôle central joué par Mr. CHOHRA YOUNES, dont le soutien a été
Déterminant dans la réussite de cette tâche ce modeste ouvrage.

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

AGV : acide gras

ADEM : Agence pour l'Environnement et la Maîtrise de l'Énergie

BN : Bouillon nutritive

BMP : potentiel méthanogène

Bio GNV : Gaz Naturel pour Véhicules

CO₂ : dioxyde de carbone

CH₄ : méthane

C : carbone

EDF : 'Électricité de France

GN : Gélose nutritive

H₂S : l'hydrogène sulfuré

H₂ : l'hydrogène

IRENA : l'Agence internationale de l'énergie renouvelable

MB : la matière brute

MO : la matière organique

MS : la matière sèche

NOX : oxydes d'azote

N₂ : azote

NH₃ : ammoniac

Liste des abréviations

PRFV : Plastique Renforcé de Fibres de Verre

TSC : Tryptone Sulfite Cyclo-sérine

PDA : Potato dextrose agar

PCA : Plate Count Agar

PCCE : production combinée de chaleur et d'électricité

PH : potentiel hydrogène

STEP : station d'épuration des eaux usées

TRH : temps de rétention hydraulique

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Les types renouvelables.....	8
Figure 2: Production et consommation d'énergies renouvelables dans le monde.....	11
Figure 3: Valorisation du biogaz dans le secteur résidentiel	13
Figure 4: L'utilisation du biogaz dans le secteur industriel	15
Figure 5: Schématisation des circuits de la méthanisation	16
Figure 6: Comparatif gaz naturel biométhane	18
Figure 7: Les avantages du biométhane	19
Figure 8: Production du biogaz	21
Figure 9: Les produits de la biométhanisation	21
Figure 10: La digestion anaérobie est le plus souvent décrite par quatre phases de dégradation successive.....	24
Figure 11: L'action des biofertilisants sur les plantes	32
Figure 12: Types de biodigesteurs	35
Figure 13: Modèles d'agitateurs utilisés dans les bioréacteurs avec agitation mécanique	47
Figure 14: Vue satellite de la ferme	Error! Bookmark not defined.
Figure 15: Matériel utilisée dans l'installation de biodigesteur	53
Figure 16: Installation du biodigesteur.....	55
Figure 17: Préparation de la matière première	56
Figure 18: Lancement de la fermentation.....	56
Figure 19: L'évolution de pH dans le digesteur	64
Figure 20: La production cumulée du biogaz dans le digesteur	65
Figure 21: Test de l'inflammabilité du biogaz	66

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Type de méthanisation selon la teneur en matière sèche _____	25
Tableau 2: Familles de déchets solides utilisés pour la méthanisation _____	26
Tableau 3: Les caractéristiques microscopiques des isolats bactériens _____	67
Tableau 4: Compétences et formation de l'équipe _____	76
Tableau 5: Chronologie des activités de démarrage _____ Error! Bookmark not defined.	
Tableau 6: Analyse de concurrent _____	81
Tableau 7: Numéro d'entreprise d'un biodigester simple _____	90
Tableau 8: Numéro d'entreprise d'un biodigester développée _____	90

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION	14
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	1
Chapitre 1 : Energies Renouvelables.....	4
1.1 Définition	4
1.2 Différent types d'énergies	4
1.2.3. Énergie hydraulique.....	6
1.2.5. Géothermie	7
1.3. Importance d'énergies renouvelables	8
1.4. Biogaz.....	12
1.5. Utilisations du biogaz dans les secteurs.....	12
1.6. Avantages environnementaux du biogaz par rapport aux combustibles fossiles.....	16
Chapitre 02 : Biogaz et ses applications	20
2.1 Définition du biogaz.....	20
2.2 Processus de production.....	21
2.4. Composition des matières premières utilisées.....	27
2.5. Bio fertilisants et leur importance.....	28
2.5.1 Définition.....	28
2.6. Les différents types des bio fertilisants	28
2.7. Effets bénéfiques des bio fertilisants sur la fertilité des sols.....	30
Chapitre 3 : Biodigesteurs et leurs caractéristiques	33
3.1 Définition	33
3.2. Fonctionnement d'un bio digesteur.....	33
3.3. Types de bio digesteurs :	34
3.4. Paramètres influençant la production de biogaz et de bio fertilisants	35
3.5. Facteurs clés dans la conception et l'installation de biodigesteurs.....	38
3.6. Taille optimale du biodigesteur en fonction des besoins.....	40
3.7. Le choix de matières premières pour la bio méthanisation	42
3.8. L'aspect microbiologique	44
3.9 Système d'agitation pour la digestion anaérobie	45
3.10 Méthodes de contrôle.....	47
Matériels Et Méthodes.....	33
Résultats et discussion	62

Sommaire

5.7 Discussion	69
Conclusion.....	62
Plan d'affaires	71
1.0 Aperçu du projet	73
1.1 Idée de projet (solution proposée).....	73
1.2 Proposition de valeur.....	74
1.3 Équipe de travail	75
1.4 Objectifs.....	76
1.5 Calendrier de réalisation du projet.....	Error! Bookmark not defined.
2.0 Aspects innovants	78
2.1 Nature des innovations	78
2.2 Domaines d'innovations	79
3.0 Analyse du marché.....	80
3.1 Affichage des segments de marché.....	80
3.2 Analyse des concurrents.....	80
3.3 Stratégie marketing	82
4.0 Plan et organisation de production.....	85
4.1 Le processus de production.....	85
4.2 Fourniture.....	87
4.3 Travail	88
4.4 Partenariats majeurs.....	Error! Bookmark not defined.
5.0 Plan financier	89
5.1 Coûts et charges.....	89
5.2 Numéro d'entreprise.....	90
5.3 Tableau de calcul des résultats attendus.....	Error! Bookmark not defined.
5.4 Plan de trésorerie.....	91
Bibliographie.....	100

Résumé

En Algérie, malgré les richesses en hydrocarbures, l'approvisionnement en énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, etc.) reste l'un des problèmes majeurs des régions enclavées. Cette situation a engendré une consommation accrue en bois, une dégradation poussée des forêts, une érosion des sols et une détérioration du climat et de l'environnement. La production du biogaz et plus précisément le bio méthane, permettra une préservation de l'environnement et un développement durable des zones rurales et des régions enclavées, ainsi qu'une diversification des ressources énergétiques. Par ailleurs, cette manière organique, au niveau local, permettra de produire de l'énergie à moindre coût pour les applications domestiques et des engrais à haut potentiel fertilisant (boues stabilisées) comme amendements pour les terres agricoles. Le bio méthane reste une énergie méconnue en Algérie, cela malgré plusieurs tentatives d'utilisation qui ont été entreprises depuis les années quarante, et même si elle ne fait pas partie de nos traditions socioculturelles et économiques, elle doit représenter la meilleure solution pour les problèmes déjà évoqués. Notre étude est portée sur la production du bio méthane à partir des bouses de vaches. Pour cela un dispositif expérimental a été conçu et réalisé, il est constitué d'un digesteur de 30 litres et d'un système d'agitation du substrat avec un système d'échauffement. Cette étude a révélé que la méthanisation de la bouse de vache en Algérie offre un potentiel considérable pour la production de biogaz renouvelable et de biofertilisants. La bouse de vache, riche en matière organique, est une source idéale pour la méthanisation, avec des résultats optimaux obtenus à des températures spécifiques (39C°) et un contrôle du pH (6.5 _ 7.5). Les tests ont montré que le biogaz produit est inflammable, ce qui le rend utilisable. Cette approche offre des opportunités précieuses pour la gestion durable des déchets agricoles, la production d'énergie renouvelable et l'amélioration de la fertilité des sols. Cela contribue à la transition vers une économie verte en Algérie, répondant aux besoins énergétiques tout en réduisant l'impact environnemental des déchets agricoles.

Les mots clés : Bio digesteur, Bouse de vache, Bio fertilisants, Biogaz, bio méthane,

Installation, production

Abstract

In Algeria, despite the wealth of hydrocarbons, the supply of fossil fuels (oil, natural gas, etc.) remains one of the major problems of landlocked regions. This situation has led to increased wood consumption, extensive forest degradation, soil erosion and deterioration of the climate and environment. The production of biogas, and more precisely biomethane, will allow preservation of the environment and sustainable development of rural areas and isolated regions, as well as diversification of energy resources. Furthermore, this organic way, at the local level, will make it possible to produce energy at lower cost for domestic applications and fertilizers with high fertilizing potential (stabilized sludge) as amendments for agricultural land. Biomethane remains a little-known energy in Algeria, despite several attempts at its use which have been undertaken since the 1940s, and even if it is not part of our socio-cultural and economic traditions, it must represent the best solution for the problems already mentioned. Our study focuses on the production of biomethane from cow dung. For this, an experimental device was designed and built, it consists of a 30 liter digester and a substrate stirring system with a heating system. This study revealed that the anaerobic digestion of cow dung in Algeria offers considerable potential for the production of renewable biogas and biofertilizers. Cow dung, rich in organic matter, is an ideal source for anaerobic digestion, with optimal results obtained at specific temperatures (39C°) and pH control (6.5 _ 7.5). Tests have shown that the biogas produced is flammable, making it usable. This approach offers valuable opportunities for sustainable agricultural waste management, renewable energy production and improved soil fertility. This contributes to the transition to a green economy in Algeria, meeting energy needs while reducing the environmental impact of agricultural waste.

Key words: Bio digester , Bio fertilizers, Biogas, bio methane, Cow dung,

Installation, production

ملخص

في الجزائر، على الرغم من ثروة الهيدروكربونات، يظل توفير الوقود الأحفوري (النفط والغاز الطبيعي وما إلى ذلك) إحدى المشاكل الرئيسية للمناطق غير الساحلية. وقد أدى هذا الوضع إلى زيادة استهلاك الأخشاب، وتدهور الغابات على نطاق واسع، وتآكل التربة، وتدهور المناخ والبيئة. إن إنتاج الغاز الحيوي، وبشكل أكثر دقة الميثان الحيوي، سيسمح بالحفاظ على البيئة والتنمية المستدامة للمناطق الريفية والمناطق المعزولة، فضلاً عن تنويع موارد الطاقة. علاوة على ذلك، فإن هذه الطريقة العضوية، على المستوى المحلي، ستمكن من إنتاج الطاقة بتكلفة أقل للتطبيقات المنزلية والأسمدة ذات القدرة التسميدية العالية (الحمأة المستقرة) كتعديلات للأراضي الزراعية. لا يزال الميثان الحيوي طاقة غير معروفة في الجزائر، على الرغم من المحاولات العديدة لاستخدامها منذ الأربعينيات، وحتى لو لم يكن جزءاً من تقاليدنا الاجتماعية والثقافية والاقتصادية، فإنه يجب أن يمثل الحل الأفضل للمشاكل الموجودة بالفعل. مذكور. تركز دراستنا على إنتاج الميثان الحيوي من روث البقر. ولهذا تم تصميم وبناء جهاز تجريبي يتكون من هاضم سعة 30 لتر ونظام تحريك الركيزة مع نظام التسخين. كشفت هذه الدراسة أن الهضم اللاهوائي لروث الأبقار في الجزائر يوفر إمكانات كبيرة لإنتاج الغاز الحيوي المتجدد والأسمدة الحيوية. يعتبر روث البقر، الغني بالمواد العضوية، مصدرًا مثاليًا لعملية الهضم اللاهوائي، مع الحصول على أفضل النتائج عند درجات حرارة محددة (39 درجة مئوية) والتحكم في درجة الحموضة (6.5 _ 7.5). وقد أظهرت الاختبارات أن الغاز الحيوي المنتج قابل للاشتعال، مما يجعله صالحًا للاستخدام. ويتيح هذا النهج فرصاً قيمة للإدارة المستدامة للنفايات الزراعية، وإنتاج الطاقة المتجددة، وتحسين خصوبة التربة. ويساهم ذلك في التحول إلى الاقتصاد الأخضر في الجزائر، مما يلبي احتياجات الطاقة مع تقليل الأثر البيئي للنفايات الزراعية.

الكلمات المفتاحية: الهاضم الحيوي، الغاز الحيوي، الميثان الحيوي، الإنتاج، الأسمدة الحيوية، تركيب، روث البقر

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Introduction

Le développement socio-économique qui s'est produit aux XXIIème et XXIIIème siècles aurait été impossible sans énergie. En effet le charbon, le pétrole, le gaz naturel et divers autres sources d'énergie ont été le moteur de l'économie mondiale. (Tou.I, 2001)

Actuellement, l'énergie est disponible en grande quantité, et reste relativement bon marché. Elle permet à de nombreuses populations de jouir de très hauts niveaux de confort, de productivité et de mobilité. L'accès à ces grandes quantités d'énergie et leur exploitation est cependant inégalement réparti entre les régions et les pays. (Tou.I, 2001)

C'est le cas en Algérie, malgré les richesses en hydrocarbures, l'approvisionnement en combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel,..) reste l'un des problèmes majeurs des régions enclavées et plus particulièrement les régions montagneuses et celles du sud, ce qui a engendré une consommation accrue en bois, une dégradation poussée des forêts, une érosion des sols et une détérioration du climat et de l'environnement.

Pour répondre aux besoins en énergie de notre pays, afin d'assurer sa pérennité, réduire sensiblement la pollution locale et l'effet de serre, pour la préservation de l'environnement, la prospection et le développement de nouvelles sources d'énergie ont été entrepris notamment l'énergie de la biomasse et plus précisément le biogaz.

Cette énergie renouvelable largement disponible, peu coûteuse et non polluante est utilisée pour compléter l'énergie fossile non renouvelable.

La valorisation des déchets organiques et principalement les déjections animales (bouse de vache) pour la production de biogaz (bio méthanisation) pourrait être considérée comme une solution économique, décentralisée et écologique à ces problèmes à travers une autonomie énergétique et un développement agricole durable des zones rurales.

La production d'énergie à partir de la matière organique de diverses origines : matière végétale, déjections animales, sous produits de l'industrie agro-alimentaire,..., au moyen de procédés de fermentation anaérobie dans des digesteurs appropriés (bio méthanisation), permettra une meilleure gestion des déchets, une préservation de l'environnement et un développement ainsi qu'une diversification des ressources énergétiques (énergies alternatives). Par ailleurs, cette matière organique, au niveau local, permettra de produire de

INTRODUCTION

l'énergie à moindre coût pour la cuisson, le chauffage, l'éclairage, et des engrais à haut potentiel fertilisant (boues stabilisées) comme amendements pour les terres agricoles.

Le bio méthane reste une énergie méconnue en Algérie et même si elle ne fait pas partie de nos traditions socioculturelles et économiques, elle doit représenter la meilleure solution pour les problèmes déjà évoqués.

Objectif : Dans ce travail de recherche, il s'agit de valoriser la matière organique générée par les activités agricoles et plus particulièrement par l'élevage à travers l'utilisation des déjections animales (bouses de vaches) en tant que substrat pour la production de bio méthane, et par la suite l'utilisation de la matière organique comme engrais agricoles de très forte valeur énergétique (Bio fertilisants).

La réalisation de cet objectif de recherche permettra de définir une politique d'implantation de bio digesteur à l'échelle nationale. Pour cela, il fallait expérimenter un bio digesteur semi-pilote pour la production de biogaz à partir des déjections bovines, de le développer et d'optimiser le procédé de production, pour une application domestique.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Energies Renouvelables

1.1 Définition

Les énergies renouvelables (ou EnR) désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie à partir de sources ou de ressources théoriquement illimitées, disponibles sans limite de temps ou reconstituables plus rapidement qu'elles ne sont consommées. **(Fadila, 2022)**

On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables à l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel... Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine. **(Fadila, 2022)**

Les énergies renouvelables sont également parfois désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres », par abus de langage. En effet, si les énergies renouvelables ont bien souvent des avantages écologiques, elles ne sont pas pour autant « vertes » ou « propres » dans le sens où elles ont aussi des conséquences environnementales importantes **(Freris, 2019)**. Utiliser les énergies renouvelables présente de nombreux avantages. Cela aide à lutter contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. Cela participe de plus à une gestion intelligente des ressources locales et à la création d'emplois. **(Freris, 2019)**.

1.2 Différent types d'énergies

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources différentes.

1.2.1. Énergie solaire

Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire. On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) : l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité.

Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques) : la chaleur des rayons solaire est captée est rediffusée, et plus rarement sert à produire de l'électricité (**Caille, 2017**).

L'énergie solaire est la plus abondante de toutes les ressources énergétiques et peut même être exploitée par temps nuageux. La vitesse à laquelle l'énergie solaire est interceptée par la Terre est environ 10 000 fois supérieure à la vitesse à laquelle l'humanité consomme de l'énergie (**Caille, 2017**).

Les technologies de l'énergie solaire permettent de produire de la chaleur, du froid, de l'éclairage naturel, de l'électricité et des carburants pour une multitude d'applications. Elles consistent à convertir la lumière du soleil en énergie électrique, soit au moyen de panneaux photovoltaïques, soit au moyen de miroirs qui concentrent le rayonnement solaire (**Caille, 2017**).

Même si tous les pays ne disposent pas de la même quantité d'énergie solaire, l'énergie solaire directe peut contribuer de manière importante au bouquet énergétique de chaque pays (**Gisèle, 2000**).

Les coûts de fabrication des panneaux solaires ont chuté de façon spectaculaire au cours de ces dix dernières années : non seulement sont-ils devenus abordables, mais il s'agit souvent de la forme d'électricité la moins chère. Les panneaux solaires ont une durée de vie d'environ 30 ans et se déclinent en différentes teintes selon le type de matériau utilisé pour leur fabrication. (Gisèle, 2000)

1.2.2. Énergie éolienne

Dans le cas de l'énergie éolienne, l'énergie cinétique du vent entraîne un générateur qui produit de l'électricité. Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables éoliennes : les éoliennes terrestres, les éoliennes off-shore, les éoliennes flottantes... Mais le principe reste globalement le même pour tous ces types d'énergies renouvelables (**Pierre L. Kunsch, 2016**).

Pour l'énergie éolienne, le principe consiste à exploiter l'énergie cinétique de l'air en mouvement à l'aide de grandes éoliennes situées sur des zones terrestres (éoliennes terrestres), ou bien en mer ou en eau douce (éoliennes en mer). Si l'énergie éolienne est utilisée depuis des millénaires, les technologies terrestres et en mer ont évolué au cours de ces

quelques dernières années de manière à maximiser l'électricité produite, grâce à des turbines plus hautes et à des rotors de plus grand diamètre (**Pierre L. Kunsch, 2016**).

Bien que la vitesse moyenne du vent varie considérablement d'un endroit à l'autre, le potentiel technique de l'énergie éolienne dans le monde est supérieur à la production mondiale d'électricité et, dans la plupart des régions, le potentiel est amplement suffisant pour permettre un déploiement important de l'énergie éolienne (**Multon, 2012**).

De nombreuses régions du monde connaissent des vents forts, mais les meilleurs endroits pour produire de l'énergie éolienne sont parfois éloignés. L'énergie éolienne en mer présente un immense potentiel (**Multon, 2012**).

1.2.3. Énergie hydraulique

L'énergie cinétique de l'eau (fleuves et rivières, barrages, courants marins, marées) actionnées par des turbines génératrices produit de l'électricité. Les énergies marines font partie des énergies hydrauliques (**Benoit, 2000**).

1.2.4. Biomasse

L'énergie est issue de la combustion de matériaux dont l'origine est biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques) (**Chabot, 2001**). On en distingue trois catégories principales :

- Le bois
- Le biogaz
- Les biocarburants

La bioénergie est produite à partir de diverses matières organiques qui constituent la biomasse, telles que le bois, le charbon de bois, les déjections animales et autres effluents d'élevage pour la production de chaleur et d'électricité, et les cultures agricoles pour les biocarburants liquides. La biomasse est principalement utilisée en milieu rural pour la cuisson, l'éclairage et le chauffage de locaux, et généralement par les populations pauvres des pays en développement (**Tritz, 2012**).

Les systèmes de biomasse modernes comprennent les cultures ou les arbres prévus à cet effet, les résidus de l'agriculture et de la sylviculture, ainsi que divers flux de déchets organiques.

La production d'énergie par la combustion de la biomasse génère des émissions de gaz à effet de serre, mais à des niveaux inférieurs à ceux résultant de la combustion de combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole ou le gaz. Toutefois, il convient de n'utiliser la bioénergie que dans certains cas, compte tenu des potentiels effets néfastes sur l'environnement liés à l'augmentation à grande échelle des plantations forestières et bioénergétiques, ainsi qu'à la déforestation et au changement d'affectation des sols qui en résultent (**Martinez, 2021**).

1.2.5. Géothermie

L'énergie est issue de la chaleur émise par la Terre et stockée dans le sous-sol. Selon la ressource et la technologie mise en œuvre, les calories sont exploitées directement ou converties en électricité (**Bertrand A. , 2006**).

L'énergie géothermique consiste à utiliser l'énergie thermique accessible provenant de l'intérieur de la Terre. La chaleur est extraite de réservoirs géothermiques par l'intermédiaire de puits ou par d'autres moyens (**Bertrand A. , 2006**).

Les réservoirs qui sont naturellement suffisamment chauds et perméables sont appelés « réservoirs hydrothermaux », tandis que ceux qui sont suffisamment chauds, mais que l'on améliore par stimulation hydraulique, sont appelés « systèmes géothermiques améliorés » (**Chabot, 2001**).

Une fois à la surface, des fluides à différentes températures peuvent être utilisés pour produire de l'électricité. Les technologies de production d'électricité à partir de réservoirs hydrothermaux sont matures et fiables : elles fonctionnent depuis plus d'une centaine d'années (**Chabot, 2001**).



Figure 1: Les types renouvelables (Anonyme, *Les énergies renouvelables*, 2023)

1.3. Importance d'énergies renouvelables

D'après l'Agence Internationale de l'Énergie, environ 14.5% de la demande en énergie primaire dans le monde est assurée par les énergies renouvelables (**Layachi, 2023**). C'est un premier pas, néanmoins, cela signifie également qu'environ 85% des besoins sont couverts par des ressources non renouvelables comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore le nucléaire. En d'autres termes, la grande majorité de la consommation d'énergie mondiale est pourvue par des énergies non durables, polluantes et épuisables. Et ça, c'est un vrai problème pour la planète. (**Layachi, 2023**)

En effet, que ce soit le pétrole, le charbon, le gaz ou le nucléaire, toutes les formes d'énergies non renouvelables (dont nous dépendons encore trop) ont des conséquences néfastes sur l'environnement (**Collard, 2015**). Les énergies fossiles, par exemple, sont responsables de près de 80% des émissions de gaz à effet de serre sur la planète depuis 1870. À ce titre, elles sont les principales causes du réchauffement climatique, qui perturbe les équilibres climatiques et détruit de nombreux écosystèmes. (**Collard, 2015**)

Ces énergies sont aussi principales responsables de la pollution de l'air notamment aux particules fines, qui causent chaque année près de 420 000 décès prématurés en Europe (Lyana, 2019). Quant au nucléaire, outre les risques d'accidents mis en lumière par les

catastrophes de Tchernobyl ou de Fukushima, il contribue à produire de nombreux déchets radioactifs qui sont difficiles à traiter et à gérer (un inconvénient de taille nous direz-vous). En résumé : ces énergies non renouvelables sont une vraie problématique pour l'environnement. **(Lyana, 2019)**.

Avec les énergies renouvelables, c'est tout le contraire, Les avantages des énergies renouvelables sont nombreux (et leurs inconvénients peu nombreux) : elles sont inépuisables sur l'échelle du temps humain, elles sont plus écologiques que les ressources non durables et elles sont sûres. **(Cadiergues, 2019)**

Par exemple, contrairement aux énergies fossiles, les énergies renouvelables émettent très peu de gaz à effet de serre : selon les données du GIEC, pour produire 1 kWh d'électricité avec des éoliennes, on n'émet que 11 g de CO₂, soit près de 75 fois moins qu'avec le charbon, qui émet environ 820 g de CO₂ ! De plus, contrairement aux énergies fossiles ou au nucléaire, les énergies renouvelables n'utilisent pas des matériaux épuisables comme le pétrole ou l'uranium. **(Layachi, 2023)**

Pour le pétrole, on estime (grâce aux revues statistiques de la BP) que les réserves prouvées pourraient nous permettre de tenir encore environ 50 ans seulement au rythme de consommation actuel. Au contraire, les énergies renouvelables reposent sur le soleil ou le vent, qui ne sont pas prêts de s'épuiser et sont, comme nous l'avons dit plus haut, inépuisables à échelle du temps humain. **(Cadiergues, 2019)**

1.3.1. Ressources inépuisables

Les sources d'énergie renouvelables, comme leur nom l'indique, sont renouvelables, c'est-à-dire que, d'une certaine manière, et à l'inverse des énergies comme le pétrole, gaz ou le charbon, elles sont inépuisables **(Decrouy, 2023)**. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles il est judicieux de commencer à miser sur les énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne, car cela minimise le risque que les générations futures soient à court de ressources énergétiques et qu'elles aient à faire face à un changement climatique encore pire que celui qui est en train de se produire. **(Decrouy, 2023)**

1.3.2. Lutte contre le changement climatique

Grâce aux énergies renouvelables, car elles ne rejettent presque pas de CO₂, on peut commencer à mettre en œuvre des actions concrètes qui permettent de commencer à lutter contre le changement climatique qui nous menace tous. Par conséquent, on peut, d'une certaine manière, les qualifier d'énergies propres qui réduisent également les effets du changement climatique. **(Decrouy, 2023)**

1.3.3. Autosuffisance énergétique

Les énergies renouvelables, contrairement aux combustibles fossiles, ne sont pas aussi volatiles en termes de prix, car les coûts de production sont prévisibles et peuvent être planifiés **(Maïouf, 2014)**. Ce point est extrêmement important car, selon le contexte, les énergies conventionnelles sont très volatiles et elles ont donc tendance à être très coûteuses à petite et grande échelle **(Maïouf, 2014)**. Mais s'il y a une chose qui constitue un avantage différentiel pour les économies locales, c'est que les énergies renouvelables peuvent être produites dans le monde entier, ce qui permet à toutes les régions du monde de s'assurer une certaine indépendance énergétique qui est impossible avec les énergies fossiles, qui doivent être importées dans les endroits du monde qui en sont dépourvues. **(Maïouf, 2014)**

1.3.4. Avantages pour l'économie du pays

Bien que nous ayons déjà dit que les énergies renouvelables sont avantageuses pour les petites économies, il faut aussi dire qu'elles sont avantageuses pour les économies nationales **(Dahmoun, 2021)**. Selon les données de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA), doubler la part des énergies renouvelables dans le monde pour atteindre 36 % de la consommation d'ici à 2030 signifierait une augmentation substantielle de l'emploi dans le secteur, qui passerait de 9,2 millions de salariés (actuellement à 24 millions), ce qui correspondrait à une augmentation de l'économie mondiale de 1,1 %. En bref, grâce aux énergies renouvelables, de nouvelles entreprises peuvent être créées, la dépendance énergétique vis-à-vis de tiers est réduite et elles contribuent à la création d'emplois jusqu'à 5 fois plus qu'avec les énergies conventionnelles. **(Decrouy, 2023)**

1.3.5. Énergies sûres

Un autre avantage de l'utilisation des énergies renouvelables est qu'elles sont sûres, c'est-à-dire qu'elles ne présentent pas vraiment de risque pour notre santé. Un avantage absolument indéniable par rapport aux énergies non renouvelables. **(Bahetta & Hasnaoui, 2021)**

1.3.6. Énergies compétitives et adaptées

Les nouvelles technologies permettent d'obtenir des énergies renouvelables sans provoquer d'impact négatif majeur, de manière durable et respectueuse de l'environnement et avec une nette amélioration de l'efficacité **(Bahetta & Hasnaoui, 2021)**. Cela signifie que l'énergie solaire et l'énergie éolienne peuvent devenir des sources d'énergie renouvelable sûres, compétitives et adaptées au monde entier **(Dessus, 2017)**. Grâce à certaines plateformes spécialisées, tout le monde peut obtenir des conseils sur les tarifs de l'électricité et du gaz offerts grâce aux énergies renouvelables de différentes entreprises, ce qui permet de bien faire son choix et de trouver l'offre qui s'adapte le mieux à vos besoins et à ceux du monde. **(Dessus, 2017)**

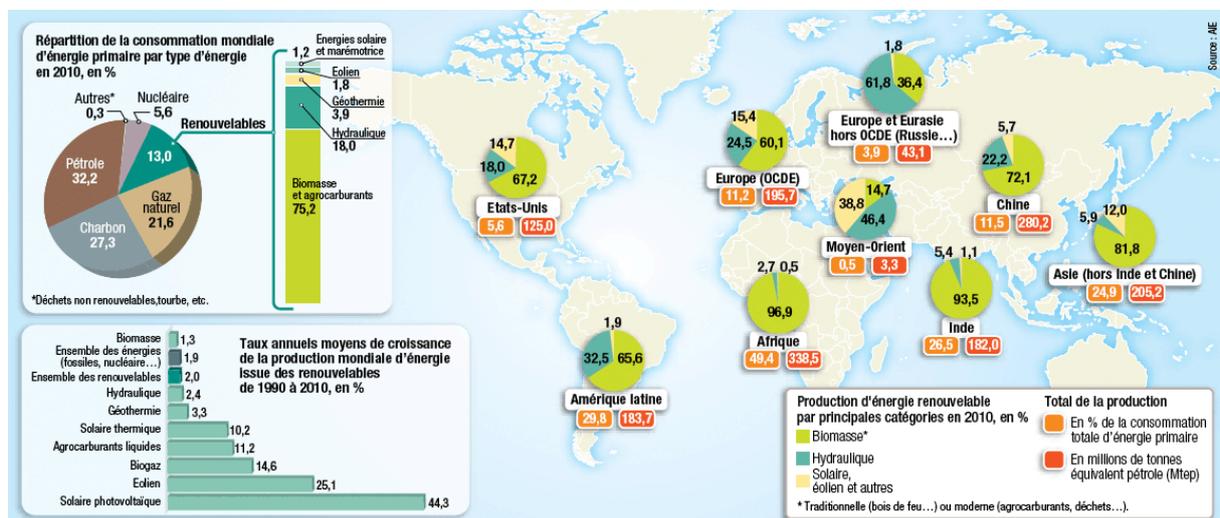


Figure 2: Production et consommation d'énergies renouvelables dans le monde
(Anonyme, Production et consommation d'énergies renouvelables dans le monde, 2012)

1.4. Biogaz

Le biogaz est un gaz combustible produit par la décomposition anaérobie (en l'absence d'oxygène) de matières organiques telles que les déchets agricoles, les résidus alimentaires, les boues d'épuration, les déchets organiques municipaux et d'autres biomasses. La décomposition anaérobie est un processus naturel qui se produit dans des conditions anaérobies, telles que les marais, les lacs de barrage, les décharges et les systèmes de digestion anaérobie (Anonyme, 2021).

Le biogaz est principalement composé de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂), avec de petites quantités d'autres gaz tels que l'azote, l'hydrogène sulfuré (H₂S) et de la vapeur d'eau. Le méthane est le composant principal du biogaz et est un gaz à effet de serre potentiellement puissant (Héroux, 2008).

1.5. Utilisations du biogaz dans les secteurs

L'utilisation du biogaz, une source d'énergie renouvelable résultant de la décomposition naturelle de matières organiques, a gagné en importance ces dernières années en tant que solution prometteuse pour répondre aux besoins énergétiques tout en réduisant notre empreinte carbone. Issu de processus anaérobies de bio méthanisation, le biogaz offre une alternative écologique et polyvalente aux combustibles fossiles traditionnels. Son adoption trouve des applications diverses dans de nombreux secteurs, dont le résidentiel, industriel, agricole (Laurie, 2021). Cette transformation énergétique ouvre la voie à un mode de vie plus durable, contribuant à la fois à la gestion des déchets organiques et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans cette perspective, explorons les multiples facettes de l'utilisation du biogaz dans les différents secteurs et son rôle dans la transition vers une société plus respectueuse de l'environnement (Laurie, 2021).

1.5.1. Résidentiel

L'utilisation du biogaz peut suivre différents processus de valorisation énergétique :

- à l'état brut, le biogaz est utilisé dans la production de chaleur et/ou d'électricité pour alimenter les collectivités et les zones d'habitation environnantes aux sites de production ;

- après traitement du biogaz, celui-ci est débarrassé de ses impuretés et devient du biométhane qui peut être utilisé comme le gaz naturel ou comme biocarburant (**Laurie, 2021**).

Le biogaz brut peut être brûlé directement sur le site de production dans une installation spécialement prévue pour :

La production de chaleur qui est transmise à un fluide caloporteur qui se déplace dans un circuit fermé alimentant des bâtiments proches (serres agricoles, industries, bâtiments publics, etc.) ;

La production d'électricité grâce à la chaleur de combustion (de la vapeur d'eau est créée, celle-ci entraîne un alternateur qui génère un courant électrique). Cette électricité issue de la méthanisation peut être consommée sur place ou revendue à EDF et injectée sur le réseau de distribution d'électricité ;

La production d'électricité et de chaleur simultanée, appelée la cogénération. L'installation est pensée pour pouvoir générer de l'électricité et récupérer la chaleur qui se dégage lors de la combustion du biogaz. Cette technique est celle qui a le meilleur rendement. (**Fouché, 2023**)

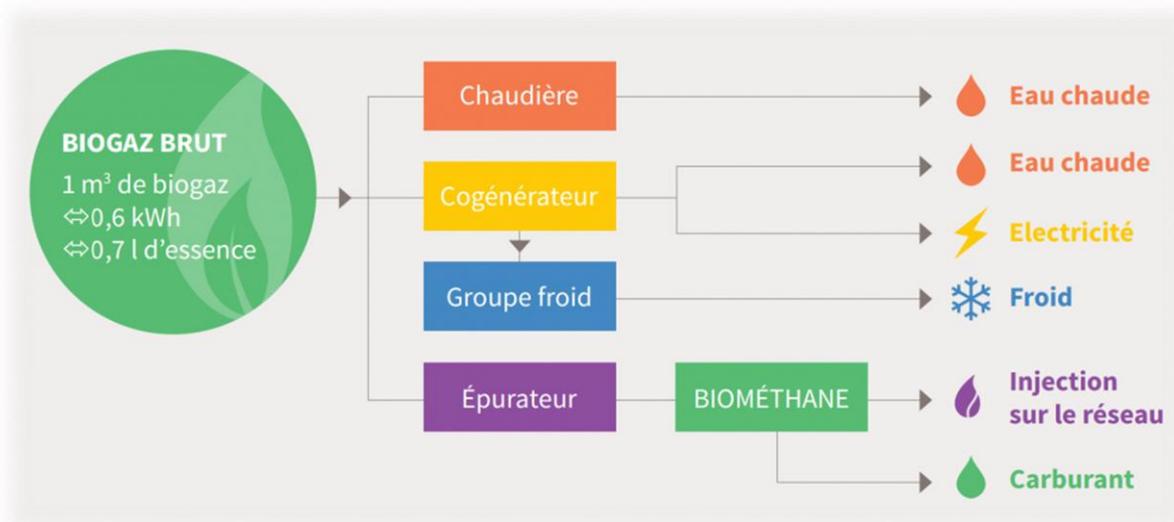


Figure 3: Valorisation du biogaz dans le secteur résidentiel (**anonyme, Le biogaz, 2015**)

1.5.2. Industriel

L'utilisation du biogaz dans le secteur industriel offre une série d'avantages environnementaux et économiques (**Pinard, 2011**). Le biogaz, produit par la décomposition anaérobie de matières organiques, peut être transformé en une source d'énergie renouvelable polyvalente pour répondre aux besoins énergétiques de diverses industries (**Pinard, 2011**). Voici quelques-unes des principales utilisations du biogaz dans le secteur industriel :

- Production d'énergie : Le biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité et de la chaleur dans les installations industrielles. Il peut être brûlé dans des moteurs ou des turbines pour générer de l'électricité, qui peut ensuite être utilisée pour alimenter les opérations de l'usine ou être injectée dans le réseau électrique local (**Bernet, 2015**).
- Cogénération : La cogénération, également appelée production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE), consiste à produire simultanément de la chaleur et de l'électricité à partir du biogaz. Cette approche améliore l'efficacité énergétique en utilisant la chaleur résiduelle générée par la production d'électricité pour des processus industriels ou le chauffage des installations (**Bernet, 2015**).
- Chauffage industriel : Le biogaz peut être utilisé comme source de chaleur pour les procédés industriels tels que la production de vapeur, le séchage et d'autres opérations nécessitant une température élevée.
- Alimentation de chaudières : Dans certaines industries, le biogaz peut être utilisé pour alimenter des chaudières industrielles, remplaçant ainsi les combustibles fossiles traditionnels tels que le charbon, le mazout ou le gaz naturel.
- Gestion des déchets : L'utilisation du biogaz encourage la valorisation des déchets organiques, tels que les résidus alimentaires et agricoles, en les transformant en une ressource énergétique. Cela peut réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges et les sites d'enfouissement.
- Industries chimiques : Certaines industries chimiques peuvent utiliser le biogaz comme source d'énergie pour alimenter leurs procédés de fabrication, contribuant ainsi à une production plus durable. (**Mendel, 2018**)

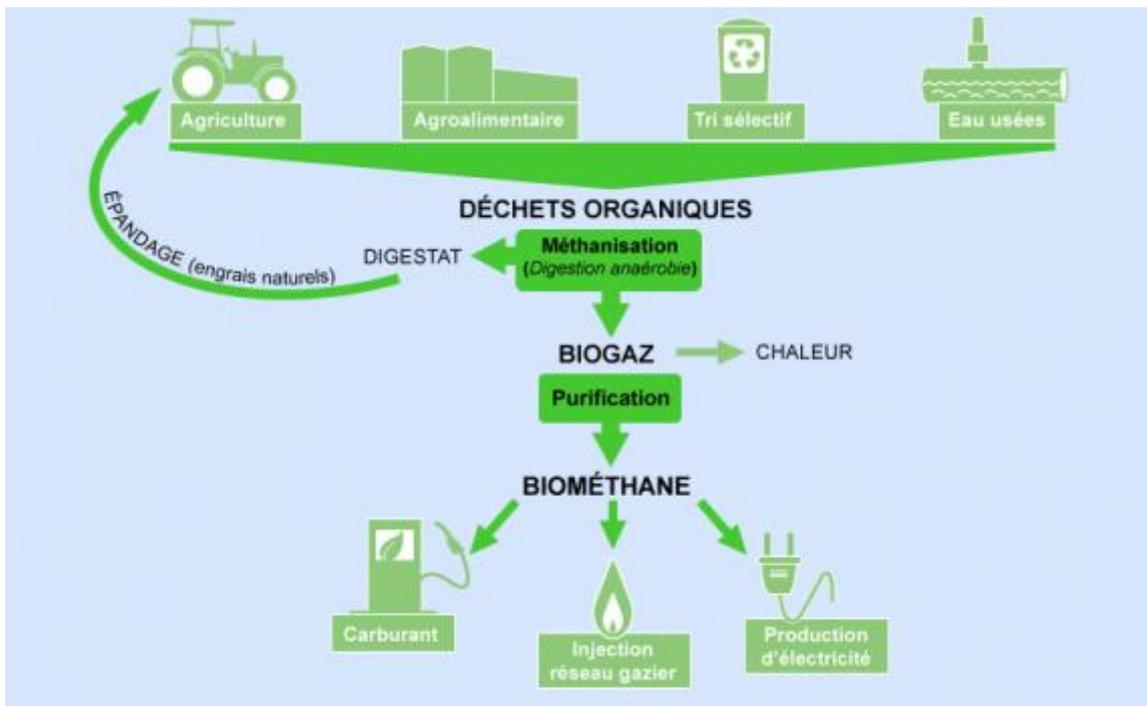


Figure 4: L'utilisation du biogaz dans le secteur industriel (Anonyme, la filière biométhane, 2012)

1.5.3. Agricole

- Production d'énergie : Le biogaz peut être généré en digérant les déchets organiques grâce à un processus de fermentation anaérobie. Ce biogaz peut ensuite être brûlé pour produire de l'électricité et de la chaleur, qui peuvent être utilisées sur la ferme pour alimenter les bâtiments, les équipements agricoles et les systèmes de chauffage. **(Barth.D, 2018)**
- Fertilisation : Le résidu du processus de digestion anaérobie, appelé digestat, est riche en éléments nutritifs. Il peut être utilisé comme engrais pour améliorer la qualité des sols et la croissance des cultures.
- Réduction des odeurs et des nuisances : La fermentation anaérobie des déchets organiques pour produire du biogaz peut contribuer à réduire les odeurs et les nuisances potentielles associées au stockage du fumier animal.
- Gestion des déchets : L'utilisation du biogaz permet de gérer plus efficacement les déchets agricoles en les transformant en une ressource énergétique utile plutôt qu'en un problème de gestion. **(Barth.D, 2018)**

- Agriculture circulaire : L'intégration du biogaz dans l'exploitation agricole peut contribuer à une approche plus circulaire de l'agriculture, en transformant les déchets en ressources et en réduisant l'impact environnemental.

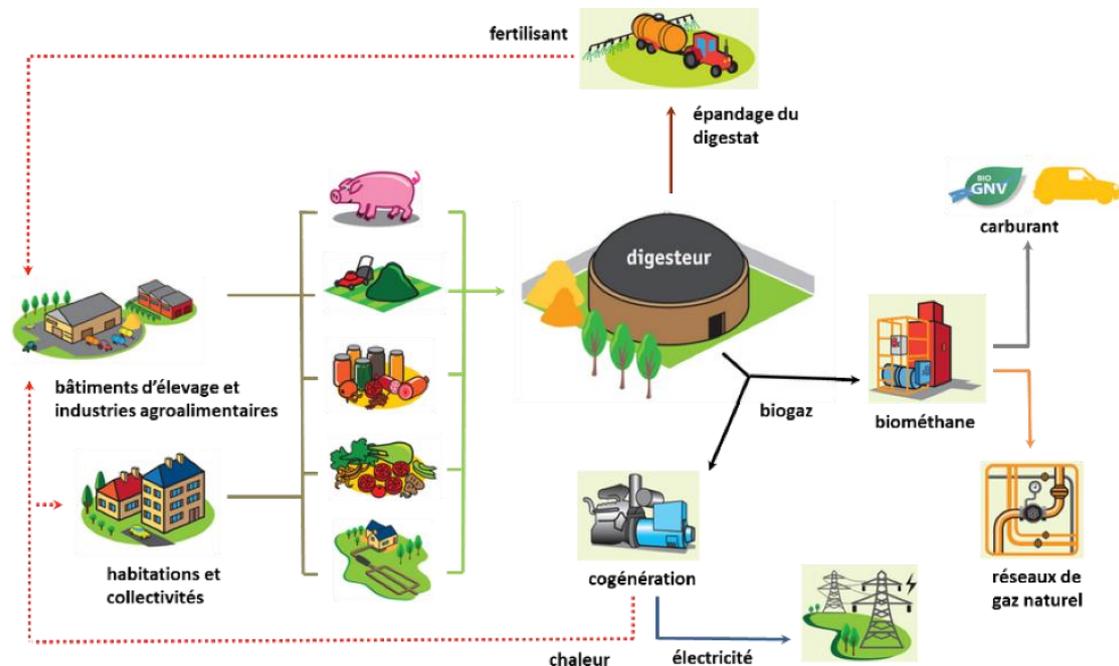


Figure 5: Schématisation des circuits de la méthanisation (Gould, 2020)

1.6. Avantages environnementaux du biogaz par rapport aux combustibles fossiles

Le biogaz présente plusieurs avantages environnementaux significatifs par rapport aux combustibles fossiles. Voici quelques-uns des principaux avantages : Le biogaz présente plusieurs avantages environnementaux significatifs par rapport aux combustibles fossiles. Voici quelques-uns des principaux avantages :

1.6.1. 10 fois moins de CO₂

En premier lieu, la combustion du biogaz produit 10 fois moins de CO₂ que le gaz naturel, indique Laurence Poirier-Dietz. Ce qui implique une forte réduction de la pollution atmosphérique, mais aussi une réduction des gaz à effet de serre en empêchant au méthane d'accéder à l'atmosphère. De plus, la méthanisation des déchets organiques laisse derrière elle un résidu très utile : le digestat, qui peut servir comme fertilisant dans les champs à la place des engrais chimiques. (Fauroux, 2022). Donc, Le biogaz présente l'avantage d'être bien plus écologique que son équivalent fossile (le gaz naturel). En effet le biogaz émet 10 fois moins

de CO₂ que le gaz naturel permet les mêmes usages (chauffage, cuisson, etc.). Le bio méthane issu du biogaz est injecté dans le réseau de gaz français au même titre que le gaz naturel.

1.6.2. Une énergie verte

Le biogaz est également beaucoup plus écologique que sa contrepartie, le gaz naturel. Ce dernier doit en effet être extrait du sous-sol par des procédés complexes et souvent polluants, comme la fracturation hydraulique, dont on parle beaucoup dans le domaine du pétrole. Et puis le gaz naturel n'est pas une source d'énergie renouvelable ; comme pour les autres hydrocarbures, les réserves s'épuisent à grande vitesse. Au contraire, le biogaz peut être produit indéfiniment, puisqu'il s'inscrit dans un cercle vertueux ; tant qu'il y aura de l'agriculture, il y aura des gisements de biogaz. (Fauroux, 2022)

1.6.3. Valorisation des déchets organiques

Le biogaz permet de valoriser les déchets organiques tels que les résidus alimentaires, le fumier animal et les déchets agricoles en les transformant en une ressource utile plutôt qu'en les laissant se décomposer et libérer du méthane dans l'atmosphère. Cela contribue à réduire la quantité de déchets envoyés dans les décharges et à minimiser les émissions de gaz à effet de serre associées à leur décomposition.

1.6.4. Utilisation d'une ressource renouvelable

Les combustibles fossiles sont des ressources limitées qui s'épuisent au fil du temps. En revanche, le biogaz est produit à partir de matières organiques renouvelables telles que les déchets alimentaires, les résidus agricoles et les eaux usées. Cela en fait une source d'énergie continue et durable à long terme. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023)

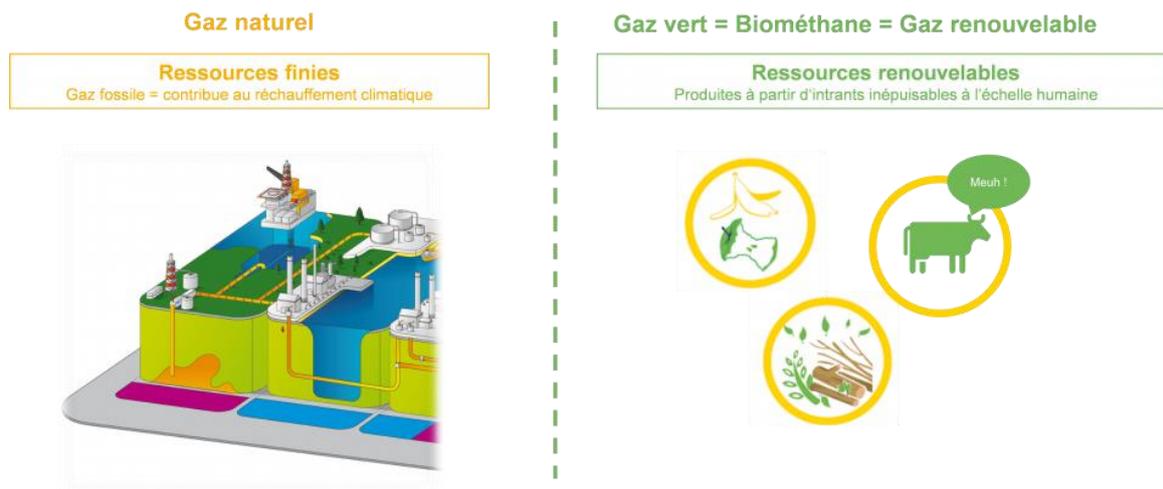


Figure 6:Comparatif gaz naturel bio méthane (Carson, Le biométhane , 2022)

1.6.5. Moindre dépendance aux importations d'énergie

En utilisant le biogaz produit localement, les régions peuvent réduire leur dépendance aux importations de combustibles fossiles, ce qui peut avoir des avantages économiques et sécuritaires. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023)

1.6.6. Amélioration de la qualité de l'air

La combustion du biogaz produit moins de polluants atmosphériques nocifs tels que les oxydes d'azote (NOx) et les particules fines par rapport à la combustion de combustibles fossiles, ce qui contribue à améliorer la qualité de l'air et la santé humaine. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023)

1.6.7. Protection des écosystèmes

En réduisant la quantité de déchets organiques déposés dans les écosystèmes naturels, l'utilisation du biogaz aide à prévenir la pollution des sols et des cours d'eau, préservant ainsi les écosystèmes locaux. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023)

1.6.8. Promotion d'une économie circulaire

L'utilisation du biogaz encourage la transition vers une économie circulaire où les déchets sont transformés en ressources utiles, créant ainsi des boucles de production plus durables. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023)

1.6.9. Contribution à la lutte contre le changement climatique

En réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en offrant une alternative renouvelable aux combustibles fossiles, le biogaz joue un rôle essentiel dans la réduction des impacts du changement climatique. (Carson, Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz, 2023).

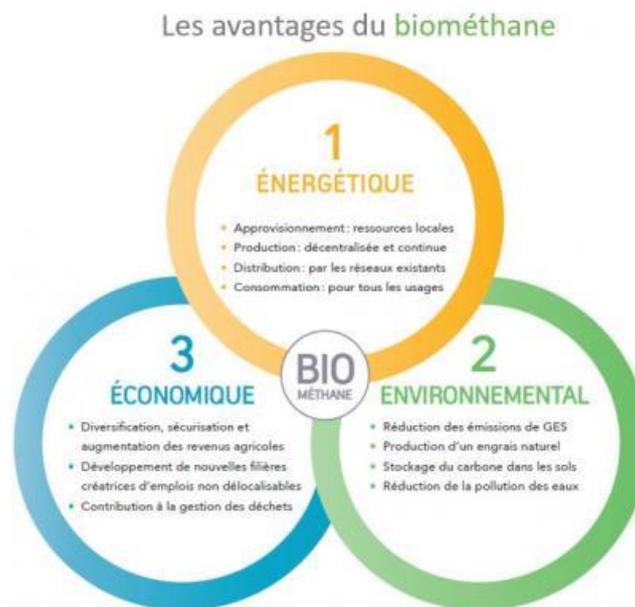


Figure 7: Les avantages du bio méthane (Carson, Le biométhane , 2022)

Chapitre 02 : Biogaz et ses applications

2.1 Définition du biogaz

Le biogaz est un gaz issu de la méthanisation de matières organiques fermentescibles, par exemple de déchets et d'effluents d'élevage (fumier, résidus de récoltes, etc.) ou de déchets municipaux (boues de stations d'épuration des eaux urbaines, déchets alimentaires, etc.). Il comporte principalement du méthane (CH₄) comme le gaz naturel ainsi que du dioxyde de carbone (CO₂) (**anonyme, 2021**).

Comme son nom l'indique, le biogaz est un gaz combustible écologique qui se compose :

- ✚ entre 50 et 70 % de méthane (CH₄) ;
 - ✚ entre 20 et 50 % de dioxyde de carbone (CO₂) ;
 - ✚ quelques traces d'ammoniac (NH₃), de sulfure d'hydrogène (H₂S) et de di azote (N₂).
- (**Collard, 2015**)

Le biogaz est comptabilisé parmi les énergies renouvelables car il est issu de déchets organiques qui ne seraient pas valorisés par ailleurs. La production de biogaz s'intègre ainsi dans une logique d'économie circulaire (**Héroux, 2008**).

Concrètement, la décomposition des matières organiques en biogaz s'effectue grâce à l'action de bactéries agissant en milieu anaérobie, c'est-à-dire privé d'oxygène. Cette réaction se produit spontanément dans des décharges et dans les marais où l'on peut observer des bulles à la surface de l'eau, mais elle peut aussi être provoquée dans des méthaniseurs. Précisons que la production de biogaz s'accompagne également de celle d'un « digestat », résidu solide ou liquide utilisable comme fertilisant (**anonyme, 2021**).

Comme le gaz naturel, le biogaz est principalement transformé en chaleur et en électricité. Il peut être purifié pour être injecté sur les réseaux (on le qualifie alors également de « bio méthane ») ou utilisé comme carburant pour véhicules « bioGNV » (**Héroux, 2008**).

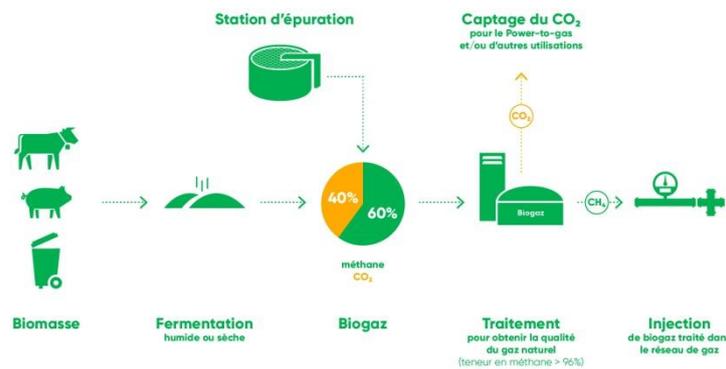


Figure 8: Production du biogaz (romandie, 2023)

2.2 Processus de production

La méthanisation est un procédé complexe. Le principe est le suivant : les déchets organiques sont stockés dans une cuve cylindrique et hermétique que l'on appelle « digesteur » ou « méthaniseur » dans laquelle ils sont soumis à l'action de micro-organismes (bactéries) en l'absence d'oxygène (Marc martin, 2023).

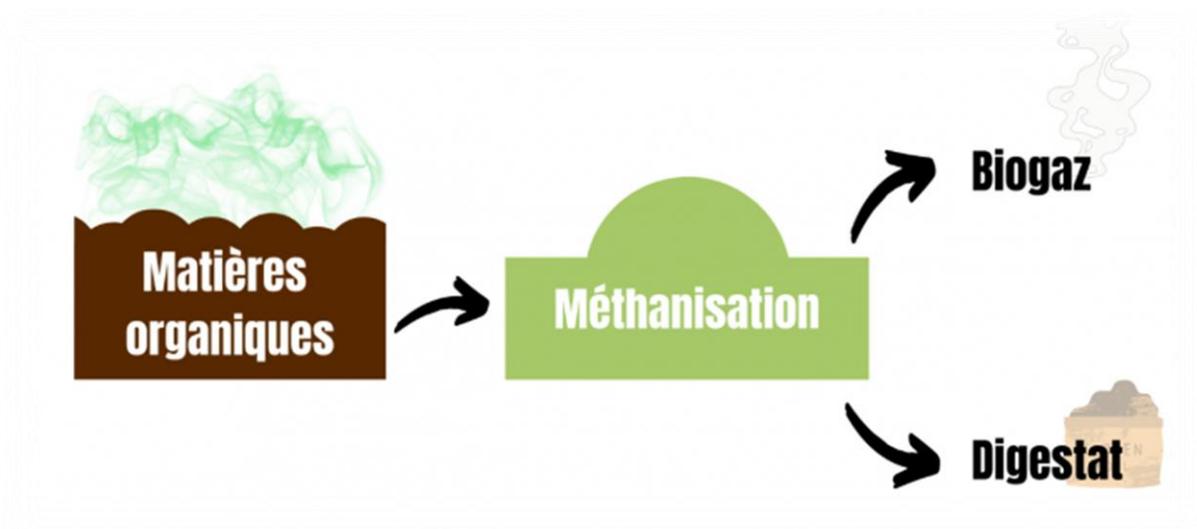


Figure 9: Les produits de la bio méthanisation (Lucas, 2023)

Les réactions biologiques mises en jeu par la méthanisation sont complexes mais globalement on repère quatre grandes étapes :

✚ L'hydrolyse:

Dégrade les macromolécules organiques (protéines, lipides...) en monomères (sucres simples, acides aminés, acides gras...) : durant cette phase, des bactéries dites hydrolytiques produisent des enzymes qui vont dégrader la matière organique fraîche (les polymères) en fragments plus petits et solubles (les monomères) (**Thivend, 2008**). Les vitesses de dégradation dépendent des matières à dégrader. Les glucides sont dégradés en premier, puis viennent les protéines et lipides et enfin la cellulose (paroi des cellules végétales). Afin d'accélérer l'hydrolyse, le milieu doit être souvent agité pour homogénéiser la solution. Cette étape prend quelques heures et la présence ou non d'oxygène dans le milieu n'y est pas déterminant (contrairement aux trois étapes suivantes pour lesquelles la présence d'oxygène est bloquante). (**Thivend, 2008**)

✚ L'acidogène:

Permet de faire fermenter les monomères ainsi obtenus : les bactéries acidogènes dégradent les monomères de la matière organique en acides et en alcool. Cette étape prend quelques heures. (**Thivend, 2008**)

✚ L'a céto-genèse:

Elle convertit les molécules obtenues en molécules précurseurs de la méthanogènes : les acides synthétisés dans la phase d'acidogènes sont de la forme des acides gras volatiles qui sont ensuite transformés en acide acétique, en H₂ et en CO₂ qui serviront ensuite aux bactéries méthanogènes. Les bactéries méthanogènes vivent fixées aux bactéries a céto-gènes. Un brassage lent est ainsi recommandé, afin de préserver ce lien. Cette étape prend quelques jours (moins d'une semaine). (**Thivend, 2008**)

✚ La méthanogènes:

Elle permet la formation de biogaz : cette étape est la dernière de la digestion anaérobie. On distingue deux types de bactéries méthanogènes en fonction des molécules sur lesquelles elles agissent : les hydrogénotrophes utilisent le H₂ et le CO₂ alors que les acétoclastes utilisent l'acide acétique. Dans les deux cas, les substrats sont transformés en méthane. C'est

ainsi que l'on obtient du biogaz, composé de CH₄ (60%), CO₂ (40%) avec des traces de H₂S, NH₃ et H₂. Cette étape prend entre une et deux semaines (**Selosse, 2000**).

Comme tout procédé, la digestion anaérobie dépend fortement du choix des matières entrantes (intrants). Il est important de connaître la teneur des intrants en matière organique ainsi que leur biodégradabilité anaérobie. Cette dernière permet d'évaluer la quantité maximale de méthane que peut produire leur dégradation : le potentiel méthanogène. Le mélange d'intrants en co-digestion peut améliorer l'efficacité du procédé. (**Thivend, 2008**)

Trois formes différentes de bactéries sont actives au cours du processus de digestion anaérobie : les bactéries fermentatives (Les principales espèces appartiennent aux genres *Clostridium*, *Bacillus*, *Ruminococcus*, *Enterobacteroides*, *Propionibacterium* et *Butivibrio*), les acétogènes (Elle représente l'activité de trois groupes de bactéries : les homoacétogènes des genres *Clostridium*, *Acetobacterium*, *Sporomusa*, *Acetogenium*, *Acetoanaerobicum*, *PelobacterButyribacterium*, *Eubacterium...* , les syntrophes des genres *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Syntrophus...* et les sulfato-réductrices des genres *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas*) et les méthanogènes (Selosse, 2000). L'efficacité de ces différentes bactéries, et donc in fine le rendement en gaz du digesteur, est directement affectée par la température et le pH. Il est donc important de trouver le bon équilibre pour assurer un équilibre dynamique entre les trois groupes bactériens.

Comme tout procédé biologique, la digestion anaérobie est sensible à différents paramètres qui peuvent modifier la stabilité du processus mais également la vitesse de production de biogaz :

La température : le mode mésophile (30°C - 40°C) est le plus utilisé. Le mode thermophile (entre 50 °C et 65°C) est plus énergivore mais permet d'accélérer l'hydrolyse des substrats organiques solides.

Le pH : chaque étape nécessite un pH optimal afin d'avoir lieu optimalement. Les deux premières étapes du procédé (hydrolyse et acidogénèse) nécessitent un pH compris entre 4,5 et 6,3 tandis que pour l'acétogénèse et la méthanogénèse il faut un pH plus basique (entre 6,8 et 7,5). Si le pH chute trop dans le digesteur (cela peut arriver dans le cas d'un substrat trop abondant ou trop fermentescible, ce qui entraîne une accumulation d'Acides Gras Volatils lors des deux premières étapes), la production de biogaz peut en pâtir. Le pH varie durant la

digestion anaérobie, du fait des produits des différentes réactions : le carbone et les acides gras modifient en effet les pH des étapes de la digestion anaérobie (Moletta et al., 2015).

La teneur en eau affecte la production de méthane à partir notamment des déchets solides. Il a été démontré que la production de méthane dépendait de la teneur en eau via l'activité des méthanogènes. (Thivend, 2008)

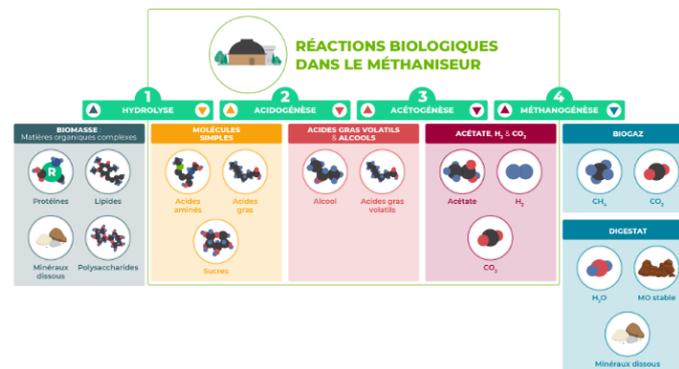


Figure 10: La digestion anaérobie est le plus souvent décrite par quatre phases de dégradation successive (Moletta et al., 2015)

2.3. Les matières premières utilisées

Il existe de nombreuses matières méthanisables, mais toutes ne sont pas réglementées. C'est l'arrêté du 24 juin 2014 (Kingsolver, 2014) qui classe les 4 grandes familles d'intrants qui peuvent être fermentés dans un digesteur (Lucas, 2023) :

- Les déchets ménagers et assimilés en installation de stockage de déchets non dangereux
- Les déchets non dangereux en digesteur ;
- Biodéchets ou déchets ménagers ;
- Déchets organiques agricoles (effluents d'élevage et déchets végétaux) ;
- Déchets de la restauration hors foyer (restaurants, cantines, hôpitaux, etc.) ;
- Déchets organiques de l'industrie agroalimentaire et des autres agro-industries ;
- Les produits agricoles (fumier, lisier, résidus, de cultures, etc.) ;
- Les matières, telles que boues, graisses, liquides organiques, résultant du traitement des eaux usées, traitées en digesteur. (Lucas, 2023)
-

Toutes ces ressources sont réparties en deux parties selon leur teneur en matière sèche :

Tableau 1: Type de méthanisation selon la teneur en matière sèche (Lucas, 2023)

Teneur en matière sèche (MS)	Type de méthanisation
Inférieure à 15%	Par voie humide (ou liquide)
Entre 15 et 40 %	Par voie sèche (ou solide)

Pour faire simple, la matière sèche représente la substance provenant d'une matière organique une fois que son eau a été retirée. Pour un végétal, elle dépasse rarement 10 %. Pour d'autres matières organiques, comme le corps humain, la teneur en matière sèche peut dépasser les 40 %. (Lucas, 2023)

Aujourd'hui, la plupart des ressources méthanisables proviennent de l'agriculture. À en croire l'ADEME, la tendance ne risque pas de s'inverser. (Lucas, 2023)

Un indicateur à suivre : le potentiel méthanogène

Chacune de ces matières premières fermentescibles a son propre potentiel méthanogène (BMP, pour Biochemical Methane Potential), qui correspond au rapport entre la tonne de composant (MB, MO ou MS) mis dans un digesteur / la production de méthane (CH₄), exprimée en mètre cube (m³CH₄). (MB se réfère à la matière brute, MO à la matière organique et MS à la matière sèche.). (Lucas, 2023)

On remarque donc **deux grandes familles de déchets** :

- les déchets solides ;
- les déchets liquides.

2.3.1. Les déchets solides

Oui, le contenu de votre poubelle, vos cartons d'emballage, les déchets industriels ou les restes d'abattoirs peuvent être méthanisés. Avant d'être transformés en digestat et en biogaz, ces déchets solides (qui contiennent au minimum 15 % de matière sèche) doivent d'abord être triés et recueillis pour en extraire la part fermentescible. Voici les principaux déchets solides qui sont utilisés pour le processus de méthanisation. (Lucas, 2023)

Tableau 2: Familles de déchets solides utilisés pour la méthanisation (Lucas, 2023)

Type de déchets	Exemples
Municipaux	<ul style="list-style-type: none"> - Journaux - Emballages - Déchets verts - Déchets alimentaires - Textiles - Sous-produits de l'assainissement urbain - Ect.
Industriels	<ul style="list-style-type: none"> - Déchets de transformation des industries végétales et animales - Fraction ferme,tescible des déchets industriels banals - Boues des industries agroalimentaires - Ect.
Agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - Substrats végétaux solides - Déjections d'animaux - Ect.
Littoraux	<ul style="list-style-type: none"> - Algues vertes

2.3.2. Les déchets liquides

Les effluents liquides représentent des matières intéressantes pour la méthanisation puisqu'ils regroupent des déchets très faciles à trouver, comme les lisiers d'élevage ou les boues de station d'épuration (STEP). (Lucas, 2023)

Certains d'entre eux ont un fort potentiel méthanogène. C'est le cas notamment des graisses, comme les déchets d'abattoir ou celles provenant des stations d'épuration. À la différence des déchets solides, les effluents liquides forment matière homogène, facile à utiliser et qui facilite surtout la transmission de chaleur, un critère indispensable dans ce procédé. (Lucas, 2023)

Mais certains inconvénients sont imputables à ces déchets :

Les installations (stockage, digesteurs, etc.) doivent être volumineuses et les flux à gérer sont nombreux ;

La méthanisation des déchets liquides produit beaucoup de jus et de lixiviats (un liquide résiduel qui apparaît lors du stockage) ;

Le coût de la déshydratation est élevé. **(Lucas, 2023)**

2.4. Composition des matières premières utilisées

2.4.1. Fumier animal :

Composition en matières organiques : Environ 70-80 % de matières sèches.

Contenu typique en carbone (C) : Environ 30-45 %.

Contenu typique en azote (N) : Environ 1-3 %. **(Gould, 2020)**

2.4.2. Déchets alimentaires :

Composition en matières organiques : Variable en fonction des types d'aliments.

Contenu typique en carbone (C) : Variable, généralement entre 20-40 %.

Contenu typique en azote (N) : Variable, généralement entre 1-4 %. **(Bernet, 2015)**

2.4.3. Résidus agricoles :

Composition en matières organiques : Variable en fonction du type de culture et des parties de la plante.

Contenu typique en carbone (C) : Variable, généralement entre 20-50 %.

Contenu typique en azote (N) : Variable, généralement entre 1-3 %. **(Tahar, 2012)**

2.5. Bio fertilisants et leur importance

2.5.1 Définition

Les biofertilisants ou les fertilisants biologique sont définis comme des préparations contenant des cellules vivantes ou des cellules latentes de souches efficaces de micro-organismes qui aident les plantes cultivées à absorber les nutriments par leurs interactions dans la rhizosphère lorsqu'elles sont appliquées à travers les semences ou le sol. Ils accélèrent certains processus microbiens dans le sol et augmentent l'étendue de la disponibilité des nutriments sous des formes facilement assimilables par les plantes (**Annonyme, 2008**). Les biofertilisants contiennent des microorganismes vivants qui colonisent la rhizosphère et augmentent la disponibilité de nutriments et /ou stimulent la croissance des plantes. Ils ont un grand potentiel en tant que sources supplémentaires, renouvelables et respectueuses des nutriments des plantes. Les biofertilisants constituent des éléments importants dans la gestion intégrée de nutrition des plantes (**Irari, 2016**)

2.6. Les différents types des bio fertilisants

2.6.1. Les Engrais

L'engrais est toute matière naturelle ou manufacturée, sèche ou liquide, ajoutée au sol afin d'apporter un ou plusieurs nutriments végétaux (**Chand, 2014**). Ces produits contenant un ou plusieurs éléments végétaux essentiels qui, lorsqu'ils sont ajoutés à un système sol / plante, facilitent la croissance des plantes et / ou augmentent la productivité en fournissant des éléments essentiels supplémentaires à l'usage des plantes (**Jones, 2012**)

2.6.2. Les fumiers

Le fumier est une excellente source de nutriments pour les plantes, car la plupart de ce que mangent les animaux provient des plantes, et la plupart de ce que mangent les animaux passe dans les excréments. Les propriétés physicochimiques et biologiques du fumier font un amendement du sol vraiment incroyable (**Mark, 2015**). Les fumiers stimulent en quantité et en activité la biomasse du sol et augmentent la minéralisation de l'azote. En effet, l'activité des micro-organismes (mesure de l'activité enzymatique) et le niveau de minéralisation de l'azote sont favorisés. Les effets s'expriment sur une courte durée (1 année culturale). Dans ce cas ces derniers influent moins sur le stock en carbone organique du sol (**Gérald et al., 2011**).

2.6.3. Le composte

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques biodégradables, d'origine végétale et/ou animale, sous l'action de populations microbiennes diversifiées (**Mark, 2015**). Les compostes sont principalement utilisés en agriculture pour augmenter ou maintenir la concentration de matière organique du sol. Leur comportement après incorporation au sol dépend de la stabilité de leur matière organique (OM) (**Francou, 2004**). **Shafawati et Siddiquee (2013)**, ont défini le composte comme un bioprocédé interdépendant de la transformation de la matière organique en produits utiles par la décomposition de la matière organique par l'action de divers organismes ; micro et macroorganisme réunissant la récupération, le recyclage, le traitement et l'élimination des déchets d'origine naturelle.

L'utilisation des composts en agriculture biologique est possible, lorsque les besoins sont reconnus par l'organisme de contrôle. Les composts d'effluents d'élevage (sauf l'élevage hors-sol), de déchets verts et de biodéchets peuvent être utilisés en agriculture biologique. Cependant, ces derniers doivent avoir des teneurs très faibles en métaux (**Francou, 2004**). Les composts peuvent être utilisés comme un milieu de culture pour produire des plants de haute qualité, augmentant ainsi le succès des cultures après la transplantation (**Ros et al., 2017**).

Traditionnellement, les matières à composter sont regroupées en deux catégories distinctes : les déchets verts et les déchets bruns. Les déchets verts sont généralement utilisés pour décrire les déchets alimentaires et les déchets de jardin de couleur verte. Les déchets bruns sont utilisés pour décrire les déchets de jardin de couleur brune. Lors de la fabrication du compost, il est essentiel d'avoir un mélange approprié de ces deux types de déchets pour éviter les commandes de mau et produire un compost de la meilleure qualité (**Francou, 2004**). Ces déchets sont maintenant devenus une ressource grâce au développement de processus de compostage rentables et de systèmes efficaces de récupération d'énergie (**Larbi, 2006**).

Les composts sont essentiellement utilisés en agriculture, mais également pour la revégétalisation des sites, ou comme support de culture (**Francou, 2004**). Donc ils doivent être de qualité pour être utilisés avec succès dans la lutte biologique contre les maladies des cultures (**Hoitink et Fahy, 1986**). Un apport raisonné de compost de déchets verts permet le maintien de la matière organique du sol (**Francou, 2004**).

2.7. Effets bénéfiques des bio fertilisants sur la fertilité des sols

De nombreux agriculteurs sont engagés dans une démarche d'agriculture respectueuse de l'environnement. Pour mener à bien leurs cultures, des solutions alternatives sont mises à leur disposition, parmi lesquelles les biofertilisants(**anonyme, 2016**).

Les biofertilisants sont donc des produits composés des micro-organismes vivants, qui disposent de propriétés permettant de stimuler la croissance des plantes. Pour aider les végétaux, ils agissent notamment sur les réserves de nutriments immobilisés dans le sol ou dans l'atmosphère(**anonyme, 2016**).

Plusieurs types de biofertilisants peuvent être différenciés, en fonction des micro-organismes qui les composent. A l'heure actuelle, les micro-organismes identifiés comme ayant les propriétés les plus intéressantes pour une utilisation agricole sont les suivants :

- Les bactéries fixatrices d'azote :

Les bactéries fixatrices d'azote sont, comme leur nom l'indique, des bactéries dont la fonction principale est de capter l'azote présent dans le sol et dans l'air(**anonyme, 2016**).

- Les bactéries solubilisatrices de phosphore :

Les bactéries solubilisatrices de phosphore permettent de solubiliser le phosphore présent dans le sol, c'est-à-dire de le transformer sous une forme soluble et biodisponible pour la plante(**anonyme, 2016**).

Les champignons mycorhiziens sont des champignons qui ont la particularité d'être en symbiose avec les racines de plantes (c'est-à-dire qu'il y a un accord commun entre les deux organismes) (**anonyme, 2016**).

Le sol est une matière vivante composée d'une grande quantité de micro-organismes qui disposent de fonctions et d'intérêts différents. Soutenir cet élément vivant est donc primordial pour que les pratiques agricoles n'altèrent pas son fonctionnement et les multitudes de ressources qu'il nous offre(**anonyme, 2016**).

Si les biofertilisants ne vous semblent pas très familiers lorsque l'on parle d'agriculture raisonnée, ce sont pourtant des solutions respectueuses de l'environnement et de la santé du consommateur qui possèdent de nombreux atouts :

2.7.1. Accompagner la fertilisation classique

Les biofertilisants contribuent à des pratiques culturales plus vertes. Leur action aide la plante à utiliser le capital de nutriments déjà présent dans le sol, mais aussi à convertir le diazote présent en grande quantité dans l'atmosphère. Différents mécanismes sont mis en oeuvre pour cela, selon le type de biofertilisant utilisé : fixation de l'azote atmosphérique, solubilisation du phosphore, et bien d'autres... Les micro-organismes mettent ainsi à disposition de la plante les éléments essentiels à sa nutrition et à sa croissance. **(anonyme, 2016).**

2.7.2. Maintenir et sécuriser le rendement

En plus d'agir sur la biodisponibilité des éléments nutritifs pour la plante, les bactéries de la rhizosphère sont capables de sécréter des molécules et autres substances utiles aux cultures. Ces composés peuvent agir de façon significative sur la croissance, la vigueur et la résistance de la plante aux diverses agressions extérieures (sécheresse, salinité, froid etc). Les biofertilisants représentent donc une solution intéressante pour assurer, maintenir, voire augmenter le rendement de ses cultures. **(anonyme, 2016).**

Si l'on prend le cas de certains types de biofertilisants composés de bactéries fixatrices d'azote, leur action permettra notamment de capter l'azote atmosphérique et les nitrates résiduels du sol, pour les relarguer ensuite au moment opportun à la culture. L'usage de biofertilisants de ce type peut donc permettre de limiter l'apport d'azote minéral dans le sol de plusieurs unités. **(anonyme, 2016).**

2.7.3. Apporter de nouvelles solutions de fertilisation pour l'agriculture :

De par leur origine et composition en micro-organismes vivants, les biofertilisants répondent aux normes de Matières Fertilisantes et Supports de Culture.

Les biofertilisants sont donc conformes aux différentes exigences de l'agriculture conventionnelle, et peuvent être utilisés par la même occasion dans une démarche d'agriculture biologique. **(anonyme, 2016).**

2.7.4. Dynamiser l'activité des sols :

L'objectif premier des biofertilisants est de réhabiliter et améliorer les fonctions et systèmes naturels du sol, en utilisant les ressources de la nature. En amenant des micro-organismes vivants dans sa parcelle, on remet en marche l'activité biologique des sols, on redynamise son activité. Chaque organisme participe à sa manière à la formation et à l'évolution des sols, à travers ses fonctions ou son activité. En fonctionnant ensemble, ils contribuent ainsi à optimiser la fertilité des sols, de manière totalement naturelle. (**anonyme, 2016**).

Par exemple, lorsqu'ils entrent en mouvement ou en interaction avec leur milieu, les micro-organismes permettent de créer une meilleure aération et cohésion du sol. Cette meilleure structuration des sols assure ainsi un environnement plus propice au développement de la plante, et permet de limiter les phénomènes de lessivage et d'érosion. (**anonyme, 2016**).

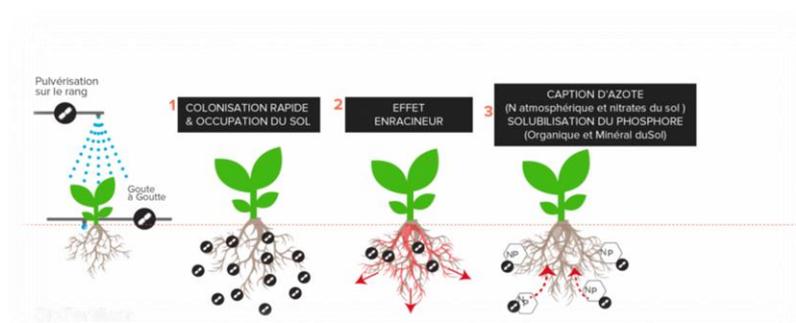


Figure 11:L'action des biofertilisants sur les plantes (**Diamond, 2022**)

Chapitre 3 : Biodigesteurs et leurs caractéristiques

3.1 Définition

Le biodigesteur ou biodigesteur anaérobie est une technologie qui vise à donner une seconde chance à la matière organique pour générer de l'énergie renouvelable ainsi que des engrais naturels. C'est une technique basée sur l'action de micro-organismes, notamment des bactéries, qui décomposent la matière organique en l'absence d'oxygène (Portillo, 2023). Un biodigesteur est un système qui permet la **décomposition anaérobie de matières organiques** telles que les déchets végétaux, le fumier animal, les aliments non consommés et d'autres déchets organiques. L'objectif du biodigesteur est de **produire du biogaz et des engrais naturels**. (Portillo, 2023)

3.2. Fonctionnement d'un bio digesteur

Un biodigesteur fonctionne grâce à un processus de décomposition anaérobie de la matière organique. Voici donc le fonctionnement d'un biodigesteur étape par étape :

3.2.1. Alimentation du bio digesteur :

la première étape consiste à alimenter le biodigesteur en matières organiques biodégradables, notamment le fumier animal, les déchets végétaux, les aliments non consommés. Il est important que cette matière soit bien déchiquetée et décomposée au préalable pour faciliter la décomposition et augmenter l'efficacité du processus.

3.2.2. Digestion anaérobie :

une fois que les matières organiques se trouvent dans le biodigesteur, un environnement anaérobie est créé, c'est-à-dire sans oxygène. Cela est possible grâce à la fermeture hermétique du biodigesteur qui empêche l'air d'y pénétrer. L'absence d'oxygène favorise l'activité des bactéries et autres micro-organismes anaérobies qui décomposent les matières organiques.

3.2.3. Production de biogaz :

lors de la décomposition anaérobie, les micro-organismes décomposent la matière organique et des gaz sont libérés, principalement du méthane (CH₄) et du dioxyde de

carbone (CO₂). Ces gaz sont collectés dans le biodigesteur et le biogaz se forme. Le biogaz, plus léger que l'air, a tendance à s'accumuler au sommet du biodigesteur.

3.2.4. **Stockage et utilisation du biogaz :**

le biogaz produit peut être stocké dans un réservoir ou un système de stockage approprié. De là, il peut être utilisé pour diverses applications, à savoir la production d'électricité, le chauffage, la cuisine ou même comme carburant pour les véhicules. Pour utiliser le biogaz, une canalisation et un système de contrôle sont nécessaires pour transporter le gaz vers les appareils ou les systèmes qui l'utilisent. **(Gisèle, 2000)**

3.2.5. **Production de digestat :**

au cours du processus de décomposition, un sous-produit liquide appelé digestat est également généré. Cette matière est riche en nutriments et peut être utilisée comme engrais naturel dans l'agriculture. **(Portillo, 2023)**

3.3. Types de bio digesteurs :

Les systèmes de digestion peuvent être classés selon 3 critères :

- Le mode d'alimentation du substrat dans le digesteur;
- La voie retenue pour assurer le maintien d'une biomasse importante et un temps de séjour le plus élevé possible pour les microorganismes, et pour améliorer le contact entre la biomasse et le substrat à traiter;
- La séparation des étapes du processus biologique.

Les systèmes de digestion selon le mode d'alimentation : il existe trois modes d'alimentation des digesteurs

3.3.1. **L'alimentation en discontinu ou «batch» :**

le réacteur est complètement rempli de substrat à digérer en une seule opération. Une fois l'anaérobiose est réalisée, la production gazeuse évolue

de façon régulière, mais elle est limitée dans le temps et passe par un maximum, si bien que pour obtenir un débit régulier de biogaz il faut disposer de plusieurs réacteurs en batterie, remplis et vidés à intervalles réguliers. Ce mode d'alimentation utilisé à l'origine pour des

déchets agricoles a été repris pour des applications à la méthanisation de déchets ménagers (Bourat, 2000).

3.3.2. L'alimentation en semi-continue ou «fed-batch» :

ce mode d'alimentation consiste à remplir progressivement le réacteur durant la digestion, sans retirer de substrat avant la fin du processus (Charles. S, 2021).

3.3.3. L'alimentation en continu (système ouvert) :

le substrat est introduit et le produit digéré est extrait de façon progressive et continue, si bien que le volume effectif de biomasse dans le digesteur reste constant. Dans la pratique, la plupart des systèmes fonctionnent selon le mode continu (Charles. S, 2021).

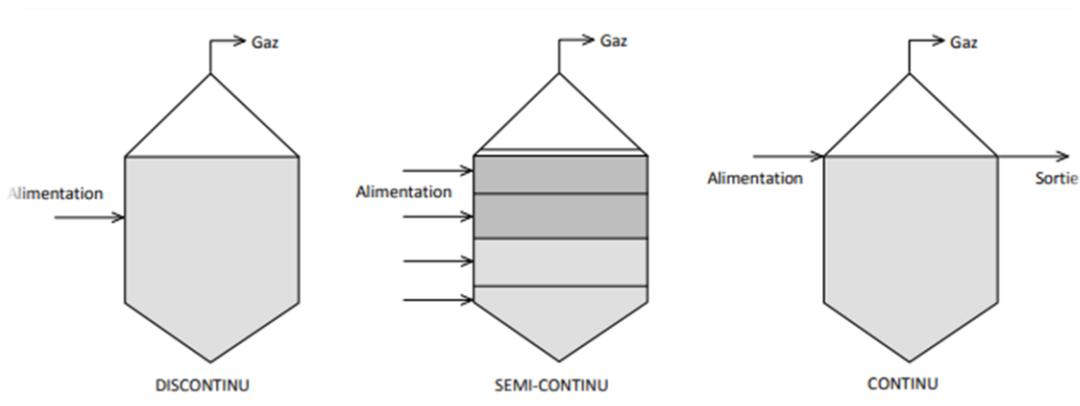


Figure 12:Types de biodigesteurs (Franklin, 2019)

3.4. Paramètres influençant la production de biogaz et de bio fertilisants

La production de biogaz et de biofertilisants à partir de la biomasse dépend de plusieurs paramètres qui peuvent influencer le rendement et la qualité des produits. Voici quelques-uns des paramètres clés à prendre en compte :

✚ 3.4.1 Type de matière première (substrat) :

Le choix de la matière première est essentiel. Les substrats couramment utilisés incluent les déchets organiques tels que les déchets agricoles, les déchets alimentaires, les boues d'épuration, les cultures énergétiques comme le maïs, bouse de vache, et plus encore. La composition et la qualité de la matière première peuvent influencer la production de biogaz et de biofertilisants. (Pinard, 2011)

✚ 3.4.2 Taux de matière sèche (MS) :

Un bon équilibre entre la matière sèche et la matière humide est essentiel. Des taux de MS trop élevés ou trop faibles peuvent affecter la fermentation anaérobie. **(Wellinger, 2013)**

✚ 3.4.3 Ratio carbone/azote (C/N) :

Un rapport C/N adéquat est nécessaire pour favoriser une fermentation anaérobie efficace. Les micro-organismes responsables de la production de biogaz ont besoin d'un rapport C/N équilibré pour fonctionner correctement. **(Adriana Pigosso, 2022)**

✚ 3.4.4 Température :

La température est un facteur critique. La plupart des digesteurs anaérobies fonctionnent à des températures comprises entre 35°C et 55°C. Le contrôle de la température est essentiel pour maintenir l'activité microbienne. **(Bahetta & Hasnaoui, 2021)**

✚ 3.4.5 pH :

Le pH optimal varie en fonction des types de micro-organismes impliqués, mais généralement, un pH neutre à légèrement acide (entre 6,5 et 7,5) est préférable pour la fermentation anaérobie. **(Barth.D, 2018)**

✚ 3.4.6 Mélange et agitation :

Une bonne agitation du mélange dans le digesteur est importante pour favoriser la digestion anaérobie et empêcher l'accumulation de substrats inutilisés. **(Chand, 2014)**

✚ 3.4.7 Temps de rétention hydraulique (TRH) :

Le TRH désigne la durée pendant laquelle les substrats restent dans le digesteur. Il doit être adapté en fonction de la composition du substrat et de la vitesse de digestion souhaitée. **(Bernet, 2015)**

✚ 3.4.8 Inoculation :

L'ajout de cultures de micro-organismes anaérobies actifs peut accélérer le processus de fermentation et améliorer la production de biogaz.

✚ 3.4.9 Prétraitement :

Certains substrats nécessitent un prétraitement physique, chimique ou biologique pour augmenter leur biodisponibilité et faciliter la digestion anaérobie.

✚ 3.4.10 Contrôle des contaminants :

Les inhibiteurs, tels que les métaux lourds, les produits chimiques toxiques ou les antibiotiques, peuvent entraver la digestion anaérobie et doivent être contrôlés. **(Benoit, 2000)**

✚ 3.4.11 Gestion des résidus :

La gestion appropriée des résidus digérés est importante pour éviter les problèmes environnementaux et maximiser l'utilisation des biofertilisants produits.

✚ 3.4.12 Taille et type de digesteur :

Le choix de la conception du digesteur (par exemple, digesteur à agitation, digesteur à lit fixe, digesteur à flux continu, etc.) ainsi que sa taille influencent la capacité de production et la gestion des substrats.

✚ 3.4.13 Quantité et qualité des nutriments :

En plus du C/N, d'autres nutriments tels que le phosphore et le potassium peuvent être nécessaires pour favoriser la croissance microbienne et la qualité du biofertilisant produit.

✚ 3.4.14 Taux d'humidité :

Le taux d'humidité du substrat doit être maintenu dans une plage appropriée pour assurer la fermentation anaérobie. Certains substrats peuvent nécessiter un ajustement.

✚ 3.4.15 Sélection de micro-organismes :

Dans certains cas, des souches spécifiques de micro-organismes peuvent être sélectionnées pour améliorer la performance de la digestion anaérobie. **(Ramanujam, 2018)**

✚ 3.4.16 Analyse de la biomasse :

Des analyses régulières de la biomasse, y compris la composition chimique et microbiologique, sont essentielles pour surveiller et ajuster le processus de digestion anaérobie. **(Ramanujam, 2018)**

3.5. Facteurs clés dans la conception et l'installation de biodigesteurs

La conception et l'installation de biodigesteurs sont des processus complexes qui nécessitent une attention particulière à de nombreux facteurs pour assurer leur efficacité, leur durabilité et leur sécurité. Voici quelques facteurs clés à prendre en compte dans la conception et l'installation de biodigesteurs :

3.5.1. Type de biodigesteur

Il existe plusieurs types de biodigesteurs, notamment les biodigesteurs à flux continu, les biodigesteurs à lit fixe, les biodigesteurs à agitation mécanique, les biodigesteurs à film fixe, etc. Le choix du type dépend des matériaux disponibles, de la quantité de substrat, de la technologie préférée et d'autres facteurs locaux. (romandie, 2023)

3.5.2. Matériaux de construction

Les biodigesteurs peuvent être construits en béton, en acier, en plastique renforcé de fibre de verre (PRFV), en polyéthylène, etc. Le choix des matériaux dépendra de la disponibilité, du coût, de la durabilité et de la résistance aux produits chimiques. (Crick, 2023)

3.5.3. Taille et capacité

La taille du biodigesteur doit être adaptée à la quantité de substrat disponible et aux besoins en biogaz. Une conception adéquate doit prendre en compte la charge organique et le temps de rétention hydraulique (TRH). (Benzer, 2023)

3.5.4. Isolation thermique

Dans les régions où les températures sont basses, l'isolation thermique du biodigesteur peut être nécessaire pour maintenir une température optimale pour la digestion anaérobie. (Kingsolver, 2014)

3.5.5. Système d'alimentation

Un système d'alimentation efficace doit être conçu pour introduire régulièrement le substrat dans le biodigesteur sans obstruer le processus de digestion. (Venter, 2023)

3.5.6. **Système de mélange**

Certains biodigesteurs nécessitent un système de mélange pour garantir une répartition uniforme des micro-organismes et des nutriments dans le biodigesteur.

3.5.7. **Contrôle de la température**

Les biodigesteurs doivent être équipés d'un système de contrôle de la température pour maintenir des conditions optimales de digestion anaérobie.

3.5.8. **Système de collecte de biogaz**

Un système de collecte de biogaz efficace est essentiel pour récupérer le biogaz produit pendant le processus de digestion. **(romandie, 2023)**

3.5.9. **Sécurité**

La sécurité des opérations doit être prise en compte dans la conception, y compris la prévention des fuites de gaz et des débordements. **(Wellinger, 2013)**

3.5.10. **Gestion des sous-produits**

Les résidus de la digestion (digestat) doivent être stockés, gérés et utilisés de manière appropriée, par exemple en tant que biofertilisants.

3.5.11. **Entretien et maintenance**

Les biodigesteurs nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement et leur durabilité. **(Jones, 2012)**

3.5.12. **Conformité réglementaire**

Assurez-vous que la conception et l'installation du biodigesteur sont conformes aux réglementations locales et nationales en matière d'environnement, de sécurité et de santé. **(Jones, 2012)**

3.5.13. **Évaluation de la rentabilité**

Il est important d'évaluer la rentabilité du projet, y compris les coûts initiaux, les coûts opérationnels et les revenus potentiels du biogaz produit.

3.5.14. Consultation d'experts

Dans de nombreux cas, il peut être utile de faire appel à des experts en conception de biodigesteurs pour garantir une conception optimale.

Énergie auxiliaire : Si le biodigesteur nécessite de l'énergie pour le chauffage, le mélange, ou d'autres fonctions, assurez-vous de prévoir une source d'énergie auxiliaire fiable.

3.5.15. Système de contrôle et de surveillance

Intégrez un système de contrôle et de surveillance pour surveiller les conditions de digestion, la production de biogaz et les éventuels problèmes.

3.5.16. Documentation et suivi

Maintenez des enregistrements précis de toutes les opérations, des analyses de la matière première, de la production de biogaz et des performances du biodigesteur pour permettre un suivi et une amélioration continus.

3.5.17. Études de faisabilité

Réalisez une étude de faisabilité pour évaluer la viabilité économique et environnementale du projet de biodigesteur.

3.5.18. Ressources financières

Assurez-vous de disposer des ressources financières nécessaires pour la construction, l'exploitation et la maintenance du biodigesteur sur le long terme.

3.5.19. Évaluation de l'efficacité énergétique

Évaluez l'efficacité énergétique du biodigesteur en mesurant la quantité de biogaz produite par rapport à la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner le biodigesteur. (Mudhoo, 2012).

3.6. Taille optimale du biodigesteur en fonction des besoins

La taille optimale d'un biodigesteur dépend principalement des besoins spécifiques du projet, notamment la quantité de matière première disponible, les objectifs de production de biogaz, les contraintes budgétaires et les ressources disponibles (Bahetta & Hasnaoui, 2021).

Voici quelques étapes pour déterminer la taille optimale d'un biodigesteur en fonction de ces besoins :

3.6.1. Estimation de la quantité de matière première

La première étape consiste à estimer la quantité de matière première (substrat) disponible pour la digestion anaérobie. Il peut s'agir de déchets agricoles, de déchets alimentaires, de boues d'épuration, bouse de vache, de cultures énergétiques, etc. Vous devrez collecter des données sur la production ou la disponibilité de ces substrats sur une base régulière.

3.6.2. Analyse de la composition de la matière première

Effectuez une analyse détaillée de la matière première pour déterminer sa composition chimique, notamment la teneur en matières organiques (potentiel de production de biogaz), la teneur en éléments nutritifs, le rapport carbone/azote (C/N), etc.

3.6.3. Objectifs de production de biogaz

Définissez clairement vos objectifs en termes de production de biogaz. Cela pourrait être lié à la production d'énergie, à la fourniture de chaleur, à la réduction des coûts énergétiques, ou à d'autres besoins spécifiques.

3.6.4. Calcul du débit et du temps de rétention hydraulique (TRH)

En fonction de la quantité de matière première disponible et de vos objectifs de production de biogaz, calculez le débit de matière première que le biodigesteur devra traiter quotidiennement. Le TRH est également un facteur clé à déterminer, car il indique la durée pendant laquelle les substrats restent dans le biodigesteur. Un TRH plus long peut augmenter la production de biogaz.

3.6.5. Sélection du type de biodigesteur

En fonction des données recueillies, choisissez le type de biodigesteur qui convient le mieux à vos besoins, qu'il s'agisse d'un biodigesteur à flux continu, d'un biodigesteur à lit fixe, d'un biodigesteur à agitation mécanique, ou d'un autre type.

3.6.6. Calcul de la capacité du biodigesteur

Une fois que vous avez déterminé le débit et le TRH nécessaires, calculez la capacité du biodigesteur en multipliant le débit quotidien par le TRH. Par exemple, si vous avez besoin de

traiter 10 tonnes de matière première par jour et que le TRH est de 30 jours, vous aurez besoin d'un biodigesteur d'une capacité minimale de 300 tonnes.

3.6.7. Ajustements et optimisations

En fonction de la disponibilité des ressources, des contraintes budgétaires et d'autres facteurs, vous pouvez ajuster la taille du biodigesteur pour répondre aux besoins spécifiques du projet. Parfois, il peut être nécessaire de dimensionner le biodigesteur légèrement plus grand pour permettre une flexibilité opérationnelle ou une croissance future.

La taille optimale d'un biodigesteur dépend étroitement des besoins et des ressources spécifiques du projet. Elle résulte de l'analyse de la quantité et de la composition de la matière première disponible, des objectifs de production de biogaz, du débit de matière quotidien nécessaire, et du temps de rétention hydraulique (TRH) souhaité. En calculant la capacité du biodigesteur en fonction de ces facteurs, on peut déterminer la taille idéale. Il est également important de prendre en compte la flexibilité opérationnelle et la possibilité de croissance future. La consultation d'experts en biodigesteurs peut contribuer à affiner la conception en fonction des besoins spécifiques du projet. (Adriana Pigosso, 2022)

3.7. Le choix de matières premières pour la bio méthanisation

Le choix des matières premières pour la biométhanisation est essentiel pour obtenir un rendement optimal en biogaz et pour minimiser les problèmes potentiels de digestion anaérobie (Seadi, 2008). Voici comment vous devriez faire le choix de matières premières adaptées à la biométhanisation :

3.7.1. Évaluation de la disponibilité locale

Identifiez les sources potentielles de matières premières pour la biométhanisation dans votre région. Cela peut inclure des déchets organiques, des déchets agricoles, des boues d'épuration, des déchets alimentaires, des cultures énergétiques, etc. (Seadi, 2008)

3.7.2. Analyse de la composition chimique

Effectuez une analyse détaillée de la composition chimique des matières premières potentielles. Cela vous permettra de déterminer leur teneur en matières organiques, en matières grasses, en cellulose, en lignine, en azote, en phosphore, en potassium, etc. La

composition en matières organiques fermentescibles est cruciale pour la production de biogaz. (Zhang, 2010)

3.7.3. Rapport carbone/azote (C/N)

Le rapport carbone/azote est important pour l'équilibre nutritionnel des micro-organismes dans le biodigesteur. Idéalement, le rapport C/N devrait être proche de 20-30 pour favoriser une digestion efficace. Vous pouvez ajuster le C/N en mélangeant différentes matières premières. (Appels, 2010)

3.7.4. Potentiel de production de biogaz

Évaluez le potentiel de production de biogaz de chaque matière première en fonction de sa composition. Certaines matières premières peuvent produire plus de biogaz que d'autres en raison de leur teneur en matières organiques fermentescibles.

3.7.5. Compatibilité des matières premières

Assurez-vous que les matières premières que vous choisissez sont compatibles entre elles et ne provoqueront pas de problèmes de coagulation, de flottation ou de séparation dans le biodigesteur.

3.7.6. Dispersion des apports

Planifiez la manière dont vous allez introduire les matières premières dans le biodigesteur pour éviter les obstructions, les canaux de gaz et assurer une répartition homogène.

3.7.7. Disponibilité saisonnière

Tenez compte de la disponibilité saisonnière des matières premières, car cela peut influencer la conception de votre système, notamment la taille du biodigesteur.

3.7.8. Évitez les matériaux toxiques

Évitez d'inclure des matières premières contenant des substances toxiques ou inhibitrices, telles que des pesticides ou des métaux lourds.

3.7.9. Mesure de la quantité disponible

Estimez la quantité de matières premières que vous pouvez collecter ou produire régulièrement pour alimenter le biodigesteur.

3.7.10. Considérations économiques

Évaluez les coûts associés à la collecte, au transport et au stockage des matières premières, ainsi que les revenus potentiels générés par la production de biogaz.

3.8. L'aspect microbiologique

joue un rôle central dans le choix des matières premières pour la biométhanisation, car les micro-organismes anaérobies responsables de la digestion sont très sensibles à la composition des substrats. Voici des informations complémentaires sur cet aspect :

3.8.1. Diversité microbienne :

Dans un biodigesteur anaérobie, une communauté diversifiée de micro-organismes travaille en symbiose pour décomposer les matières premières en biogaz. Il est important de fournir une gamme de substrats qui soutiennent cette diversité pour un processus de méthanisation efficace. **(Franklin, 2019)**

3.8.2. Nutriments essentiels :

Les micro-organismes ont besoin de nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium pour leur croissance et leur activité métabolique. Assurez-vous que les matières premières choisies fournissent ces nutriments de manière équilibrée. **(Franklin, 2019)**

3.8.3. Équilibre acido-basique :

Le pH joue un rôle crucial dans la digestion anaérobie. Les matières premières devraient avoir un pH qui se situe dans la plage optimale pour les micro-organismes méthanogènes, généralement entre 6,5 et 7,5. Un pH inadéquat peut inhiber l'activité des micro-organismes. **(Franklin, 2019)**

3.8.4. Composés inhibiteurs :

Certaines matières premières, en particulier les déchets industriels, peuvent contenir des composés inhibiteurs tels que les métaux lourds, les produits chimiques toxiques ou les agents antimicrobiens qui peuvent nuire à l'activité microbienne. Évitez l'utilisation de telles matières premières. **(Bertrand A. , 2006)**

3.8.5. Degré de biodégradabilité :

Les matières premières biodégradables sont celles qui peuvent être facilement décomposées par les micro-organismes. Le degré de biodégradabilité dépend de la composition chimique des matières premières. Les matières premières riches en cellulose, hémicellulose et lignine, par exemple, peuvent nécessiter des conditions de digestion spécifiques.

3.8.6. Adaptation microbiologique :

Les micro-organismes anaérobies peuvent s'adapter progressivement à de nouveaux substrats. Cela signifie que le choix de matières premières peut influencer la diversité microbienne dans le biodigesteur au fil du temps.

3.8.7. Tests de compatibilité :

Avant de mettre en place un nouveau substrat dans le biodigesteur, il est recommandé de réaliser des tests de compatibilité microbiologique pour évaluer son impact sur la communauté microbienne et le potentiel de production de biogaz.

3.8.8. Optimisation microbiologique :

Des stratégies d'optimisation microbiologique telles que l'ajout de bactéries méthanogènes spécifiques ou l'adaptation de la communauté microbienne peuvent être envisagées pour améliorer la performance du biodigesteur. **(Kleinsteuber, 2013)**

3.9 Système d'agitation pour la digestion anaérobie

Le choix de la bonne technique de mélange est important pour obtenir le rendement le plus élevé possible dans votre digesteur anaérobie. C'est seulement lorsque les agitateurs sont adaptés à la dimension des cuves et aux caractéristiques spécifiques des substrats que la matière en fermentation est brassée de manière homogène. **(Marjolaine, 2018)**

L'agitation est un aspect essentiel des systèmes de biométhanisation, car elle favorise le mélange des matières premières, maintient les micro-organismes en suspension et assure une répartition uniforme des nutriments et des substrats dans le biodigesteur. Voici quelques-uns des systèmes d'agitation couramment utilisés dans la biométhanisation :

✚ 3.9.1 Agitation mécanique :

Les agitateurs mécaniques sont des dispositifs motorisés qui brassent les matières premières à l'intérieur du biodigesteur. Ils peuvent être équipés de pales, d'hélices ou de vis sans fin pour assurer un mélange efficace. Les agitateurs mécaniques sont couramment utilisés dans les biodigesteurs de grande taille.

✚ 3.9.2 Agitation à gaz recirculé :

Dans ce système, une partie du biogaz produit est recirculée dans le biodigesteur pour créer une agitation naturelle en remontant à travers les matières premières. Cela favorise le mélange des substrats et peut réduire la consommation d'énergie associée à l'agitation mécanique.

✚ 3.9.3 Agitation hydraulique :

Les biodigesteurs à agitation hydraulique utilisent le déplacement de l'eau ou du liquide digéré pour provoquer le mélange des matières premières. Ce système peut être mis en œuvre à l'aide de pompes à recirculation ou de dispositifs de brassage.

✚ 3.9.4 Agitation à lit fluidisé :

Certains biodigesteurs utilisent un lit fluidisé pour mélanger les matières premières. Les matières sont maintenues en suspension dans un fluide (généralement de l'eau) par une circulation ascendante ou descendante. Cela permet une répartition uniforme des substrats et un contact optimal avec les micro-organismes.

✚ 3.9.5 Agitation à balayage :

Dans ce système, des dispositifs de balayage (comme des bras rotatifs) sont utilisés pour déplacer les matières premières le long du fond du biodigesteur. Cela contribue à éviter l'accumulation de matières au fond du réacteur.

Le choix du système d'agitation dépend de plusieurs facteurs, notamment la taille du biodigesteur, la viscosité des matières premières, la composition des substrats, les ressources disponibles et les préférences opérationnelles. Il est important de concevoir le système d'agitation de manière à maintenir un environnement optimal pour les micro-organismes méthanogènes, tout en minimisant la consommation d'énergie et les coûts d'entretien.

La conception du système d'agitation doit également tenir compte de la prévention des zones mortes (zones où le mélange est insuffisant) et de la minimisation des forces qui pourraient endommager les micro-organismes fragiles présents dans le biodigesteur. Une conception appropriée contribuera à assurer une digestion efficace et une production de biogaz optimale. (Bernet, 2015)

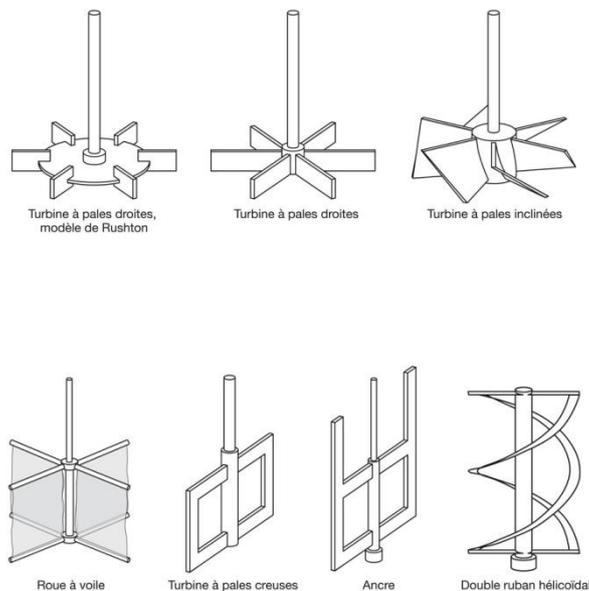


Figure 13: Modèles d'agitateurs utilisés dans les bioréacteurs avec agitation mécanique (Antoine Campeau-Péloquin, 2019)

3.10 Méthodes de contrôle

Le contrôle efficace des procédés de biométhanisation est essentiel pour maximiser la production de biogaz, optimiser la qualité du digestat, et garantir la stabilité du système. Voici quelques-unes des méthodes de contrôle couramment utilisées dans la biométhanisation :

3.10.1 Contrôle de la température :

Le contrôle précis de la température est essentiel, car elle influence l'activité des micro-organismes méthanogènes. Les systèmes de chauffage et de refroidissement peuvent être utilisés pour maintenir la température dans la plage optimale.

3.10.2 Contrôle du pH :

Le pH dans le biodigesteur doit être surveillé et ajusté si nécessaire. Les micro-organismes méthanogènes fonctionnent généralement dans une plage de pH de 6,5 à 7,5. Des ajouts d'agents alcalins ou acides peuvent être utilisés pour réguler le pH. (Chand, 2014)

3.10.3 Surveillance du débit des matières premières :

La surveillance continue du débit des matières premières introduites dans le biodigesteur permet de maintenir un équilibre entre l'apport et la capacité de traitement du réacteur.

3.10.4 Analyse de la composition des gaz :

L'analyse en temps réel de la composition des gaz dans le biodigesteur permet de suivre la production de biogaz et d'ajuster les conditions de fonctionnement en conséquence.

3.10.5 Surveillance de la pression :

La pression à l'intérieur du biodigesteur peut être surveillée pour détecter les variations inattendues qui pourraient indiquer des problèmes, comme des obstructions.

3.10.6 Contrôle de la charge organique :

Le contrôle de la charge organique spécifique (COS) permet de réguler la quantité de matières organiques introduites dans le biodigesteur en fonction de sa capacité. Cela évite la surcharge ou la sous-utilisation. (Martinez, 2021)

3.10.7 Analyse microbiologique :

Des échantillons périodiques de boues peuvent être prélevés pour des analyses microbiologiques afin de surveiller la composition de la communauté microbienne et d'identifier des variations ou des déséquilibres.

3.10.8 Systèmes de contrôle automatisé :

Les systèmes de contrôle automatisé utilisent des capteurs pour surveiller les paramètres clés et ajuster automatiquement les conditions de fonctionnement, tels que la vitesse d'agitation, le chauffage, l'ajout de réactifs, etc.

3.10.9 Systèmes d'alerte et de notification :

Des systèmes d'alerte automatisés peuvent être mis en place pour signaler les conditions anormales ou les problèmes potentiels, permettant ainsi une intervention rapide

3.10.10 Maintenance préventive :

La maintenance régulière des équipements et des systèmes de contrôle est nécessaire pour éviter les pannes imprévues.

3.10.11 Analyse de la qualité du digestat :

Outre la production de biogaz, il est important de surveiller la qualité du digestat pour s'assurer qu'il peut être utilisé en tant que biofertilisant de manière sûre et efficace.

Matériels Et Méthodes

4. Matériels Et Méthodes:

4.1. Description du site

La ferme privée que nous avons visitée offrant un environnement diversifié et adapté à l'élevage de plusieurs types d'animaux. Cette propriété se distingue par sa gestion soignée et son engagement envers le bien-être animal donc offrant un environnement propice à l'étude et à la sélection de matières premières pour notre installation de biodigesteur.

4.2. Localisation

La ferme privée que nous avons visitée située dans daïra de Sidi Boubakir, commune de Sidi Boubakir, Lac Rouge (douwar Khaled), à environ 8 km de la route nationale n°6.

4.3. Superficie

La superficie de la ferme s'étend sur 200 mètres carrés, offrant un espace suffisamment ample pour la réalisation d'observations et d'expérimentations, tout en restant gérable et contrôlable pour assurer des études de qualité.

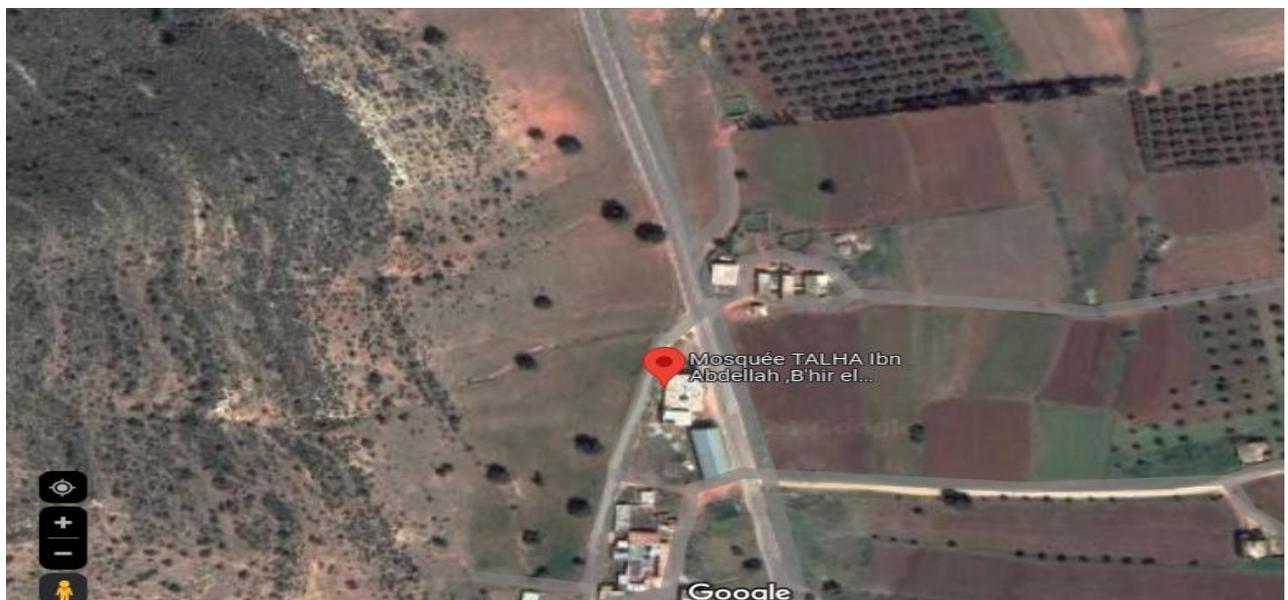


Figure 14: Vue satellite de la ferme

Matériels Et Méthodes

4.4. Diversité des activités agricoles

La ferme se distingue par la diversité de ses activités, combinant l'élevage de vaches, de poulets et de moutons d'un côté, avec une zone de plantation spéciale de l'autre. Cette polyvalence permet d'explorer une variété de matières premières potentielles pour notre appareil conçu.

4.4.1. Zone de plantation

La zone de plantation est spécialement aménagée pour la culture de divers légumes, tels que des pommes de terre, des poivrons verts, des tomates, de la laitue, des oignons et d'autres variétés. Cela illustre l'engagement de l'agriculteur envers l'agriculture durable et l'approvisionnement en produits frais.

Des parcelles bien entretenues et soigneusement organisées permettent de cultiver ces légumes de manière efficace.

L'objectif principal de cette zone est de répondre aux besoins alimentaires de la ferme, mais elle offre également un potentiel de recherche pour l'exploration de matières premières végétales.

4.4.2. Elevage d'animaux

Les secteurs d'élevage des vaches, des poulets et des moutons sont conçus pour garantir le bien-être des animaux, avec des installations modernes et sécurisées.

Les animaux bénéficient de vastes espaces et de conditions de vie appropriées, incluant des abris pour les protéger des intempéries.

Les systèmes d'alimentation et d'approvisionnement en eau sont gérés de manière professionnelle pour répondre aux besoins spécifiques de chaque espèce.

4.5. Collecte d'informations

Pour le choix meilleure de la matière première pour la production de biométhane et de biofertilisants dans notre biodigesteur, voici les étapes que nous avons parcourues lors de notre visite à la ferme privée :

Matériels Et Méthodes

4.5.1. Préparation de la Visite

Avant de nous rendre à la ferme, nous avons effectué des recherches préliminaires sur les méthodes de méthanisation et les matières premières potentielles. Nous avons également préparé un protocole de recherche pour guider notre enquête.

4.5.2. Visite sur le Terrain

Lors de notre visite à la ferme, nous avons commencé par une inspection détaillée de l'ensemble des activités agricoles. nous avons examiné les zones d'élevage des vaches, des poulets et des moutons, ainsi que la zone de plantation de légumes.

4.5.3. Entretien avec l'Agriculteur

Nous avons rencontré l'agriculteur propriétaire de la ferme pour discuter de ses activités et de ses objectifs. Lors de cet entretien, nous avons appris que l'agriculteur cultive une variété de légumes dans sa zone de plantation pour répondre à ses besoins alimentaires et aux besoins de sa famille.

4.5.4. Recherche des Matières Premières Possibles

Nous avons identifié plusieurs matières premières potentielles sur la ferme, notamment les déchets de vache, les déchets de poulet, les déchets de mouton et les légumes cultivés. On a évalué la disponibilité, la quantité et la qualité de ces matières premières pour déterminer leur pertinence pour la production de biométhane et de biofertilisants.

4.5.5. Collecte d'Échantillons

Nous avons prélevé des échantillons de déchets de vache, des excréments spécifiquement, en veillant à respecter les normes de sécurité et d'hygiène.

4.5.6. Les Avantages des Déchets de Vache

Après avoir examiné attentivement les différentes options, Nous avons constaté que les déchets de vache se démarquaient comme la meilleure matière première pour plusieurs raisons :

Abondance : En raison de l'élevage de vaches sur la ferme, il existe une quantité significative de déchets de vache disponibles.

Matériels Et Méthodes

Potentiel de Méthanisation : Les déchets de vache sont riches en matière organique, ce qui les rend idéaux pour la méthanisation, la production de biométhane.

Bio fertilisants : Les résidus de méthanisation peuvent également être utilisés pour créer des bio fertilisants de haute qualité, ce qui constitue un avantage supplémentaire.

4.5.7. Analyse Microbiologique des Échantillons

Nous avons entrepris des analyses microbiologiques approfondies des échantillons des déchets de vache. Nous avons évalué la composition microbienne, la concentration de matière organique, la présence de bactéries méthanogènes, et d'autres paramètres microbiologiques pertinents.

Les déjections animales sont particulièrement intéressantes à utiliser quand elles sont produites en quantités importantes et régulières. Les fumiers et fientes sont adaptées à la méthanisation, compte tenu de son état physique et chimique (matières fines, facilement hydrolysable et contenant des microorganismes) qui facilitent leur manipulation et qui permettent d'être en co-digestion avec d'autres substrats.

Les bouses de vaches sont indispensables, car elles apportent des bactéries fraîches, elles ont un fort pouvoir tampon (stabilise le pH), ce qui facilite les réactions bactériennes et assure une stabilité du milieu

4.5.8. Évaluation des Potentiels de Méthanisation

Nous avons utilisé les données microbiologiques pour évaluer le potentiel de méthanisation des différents types de déchets animaux. Nous avons identifié les microorganismes présents dans les déchets de vache qui pourraient favoriser la production de biométhane.

4.5.9. Planification de l'Expérimentation

nous avons ensuite planifié les étapes suivantes, notamment la mise en place de votre appareil de méthanisation, le suivi des processus de fermentation, la collecte de données et l'évaluation des résultats pour confirmer la viabilité de notre choix de matière première.

Matériels Et Méthodes

4.6. Installation de Biodigesteurs

Le biodigesteur réalisé est un réacteur de type discontinu. Ce réacteur est de modèle de laboratoire avec capacité totale de 30 L, en plastique, très simple, permettant d'assurer l'anaérobie de milieu de culture

▪ Matériel

- Cuves de fermentation: 2 Bouteilles en plastique transparent de (30 litres).
- Matière première (déchet de vache V, l'eau)
- Bain-marie pour assurer une température bien constante (manuelle).
- Des tuyaux à gaz .
- Chambre à air pour piéger le gaz.
- Agitateur manuelle en métal (une agitation discontinue).
- raccords en T
- Robinet à boisseau sphérique à raccord simple PPR
- PH-mètre
- Téflon



Figure 15: Matériel utilisée dans l'installation de biodigesteur

Matériels Et Méthodes

4.7. Les étapes de réalisation d'un biodigesteur

Dimensionnement

Pour une bonne digestion, à 38°C, la matière organique doit passer 20 jours au minimum dans le biodigesteur. Nous allons dimensionner le volume du digesteur en fonction des apports réguliers et de cette durée.

Prenons un exemple : l'apport périodique est de 1 litres par jour, la matière devant rester au moins 20 jours, il faut un digesteur de 30 litres minimum.

On considère en moyenne 1kg de déchets = 0,02 à 0,04 mètres cubes (20 à 40 litres) de gaz. (Le calcul est fait ici pour des déchets de bouse de vache.). Cette quantité de biogaz pourrait être suffisante pour cuisiner pendant quelques heures à une journée complète.

4.8. Réalisation de bio digesteur

1. C'est dans le digesteur qu'a lieu la dégradation bactérienne. Pour avoir une production de méthane il faut des bactéries méthanogènes. Celle-ci se développent en absence d'oxygène, on parle d'un milieu anaérobique. Pour priver la matière organique d'oxygène il suffit de l'immerger dans l'eau.
2. On a fait deux trous en vis-à-vis dans les 2 bouteilles d'eau (Un trou pour la sortie des biofertilisants et un trou pour le biogaz). Où elle était au tiers de la hauteur,
3. Faire un trou dans l'opercule du couvercle pour les 2 bouteilles d'eau pour installer un passe paroi matièrepremière et l'autre pour afin d'introduire de l'eau (la deuxième bouteille d'eau était utilisée comme moyen de protection pour éviter la pression et l'explosion du biogaz produit).
4. Dans l'opercule du couvercle (1ère bouteille d'eau), on a installé un agitateur manuel.
5. Nous l'avons installé un passer un passe-paroi gaz au centre de l'opercule d'étanchéité du couvercle. Du téflon sur les filets et un joint plat de chaque côté permettent d'étanchéfier le montage,
6. Ensuite on enduire de graisse la collerette de l'opercule et refermer le couvercle, la graisse fait l'étanchéité, le couvercle maintient la pression,
7. Nous l'avons installé une vanne après le passe-paroi gaz.

Matériels Et Méthodes

8. Ensuite, nous avons placé les deux bouteilles sur une plaque en fer et les avons fixées (la plaque servait à la remplir d'eau chaude et à l'utiliser comme bain-marie pour maintenir la température pendant le processus).



Figure 16: Installation du biodigesteur

4.9. Préparation de la matière première

Pré traitement

Le prétraitement mécanique a été appliqué aux déjections et ayant pour but d'émettre les déjections et d'extraire du substrat les particules indésirables, tels que le sable, les fragments de bois, etc. Le prétraitement est effectué dans des seaux. Cependant le prétraitement mécanique augmente la capacité d'attaque des microorganismes favorisant une hydrolyse plus rapide.

Nous avons utilisé 10 kilogrammes de fumier de vache + 10 litres d'eau, nous avons apporté un bâton en bois pour remuer et avons continué à mélanger jusqu'à obtenir un mélange homogène.



Figure 17: Préparation de la matière première

4.10. Lancement de la fermentation

Nous avons pris le mélange (bouse de vache + l'eau) et mis dans la première bouteille d'eau, où il était bien fermé (avec une température initial $T=39^{\circ}\text{C}$ et de $\text{PH}=6$).

Pour la deuxième bouteille d'eau, 20 litres d'eau y ont été ajoutés et fermés hermétiquement également.



Figure 18: Lancement de la fermentation

4.11. Les paramètres suivis

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

Matériels Et Méthodes

- Le pH.
- la température
- Le volume de biogaz

4.12. Les paramètres du fonctionnement

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

4.12.1. Le pH

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

4.12.2. La température

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

4.12.3. Le volume de biogaz

A l'aide d'une seringue de grande capacité raccordée en discontinu au moyen d'une vanne au ballon ; le volume mesuré du biogaz récupéré fait flotter le piston de seringue jusqu'à la graduation indiquant le volume obtenu.

▪ Matériels :

- chambre à air
- seringue de 50 ml
- vannes de contrôle

Matériels Et Méthodes

▪ Méthode :

Le volume de biogaz est mesuré après sa collection dans la chambre à air, par remplissage de Seringue une ou plusieurs fois dépendant de volume du gaz récupéré. Les mesures ont été fait quotidiennement sauf les jours de week-end.

4.13. L'inflammabilité du gaz

Le test d'inflammabilité de biogaz, donne une idée sur le rendement énergétique de l'échantillon utilisé.

Chaque fois, après la mesure de volume de biogaz, on passe à un test d'inflammabilité de ce dernier. Le biogaz est retiré à l'aide d'une seringue et est soumis à une flamme discontinue d'un briquet.

4.14. Analyse microbiologique

4.14.1. Matériels

- Les Tubes stérile
- Les flacons
- Ance de platine
- Les boites pétries
- Micropipette
- Seringué

4.14.2. Milieux de culture

- Gélose nutritive (GN)
- Bouillon nutritive (BN)
- (TSC)
- (PDA)
- (PCA)

4.14.3. Solutions et réactifs

- Eau distillée
- Fuchsine
- Huile à immersion
- Solution de Lugol
- Violet de gentiane
- Sérum sale

Matériels Et Méthodes

4.14.4. Appareillage

- Agitateur magnétique avec plaque chauffante
- Autoclave
- Bain marie
- Balance de précision
- Étuve
- Microscope optique
- Réfrigérateur

4.14.5. Isolement et purification :

Pour l'isolement de la flore microbienne présente dans la bouse de vache nous avons Utilisés plusieurs milieu (TSC, PDA, PCA, GN, BN) Un millilitre de l'échantillon a été pipeté aseptiquement dans 9 ml de sérum salé et des dilutions décimales ont été réalisées (10⁻¹ à 10⁻⁶). Les dilutions ainsi préparées, un millilitre de la dilution appropriée a été ensemencée en masse et à la surface des différents milieux de culture

4.14.6. Incubation :

Après l'isolement, dilution et l'ensemencement ont a incubée les boit selon :

- Aérobic (PDA incubation a 25°C pendent 5 jour)
- Anaérobic (TSC incubation a 37°C pendent 24 jour)
- Aérobic (PCA et GN incubation a 37°C pendent 24 jours)

Après l'incubation, huit à dix colonies isolées ont été prélevées aléatoirement de chaque boîte de Pétri. Les colonies présentant des aspects morphologiques différenciés selon le Bergey's Manual of Bacteriology ; l'élévation, le pourtour, l'aspect, la pigmentation, le diamètre et l'opacité de la colonie.

Chaque colonie prélevée a été ensuite repiquée en bouillon LB, puis a été incubée sur gélose LB à 37°C.

Une fois l'isolement des isolat bactérienne, l'opération de purification a été renouvelée jusqu'à l'apparition des colonies identiques avec une même taille, couleur, aspect morphologique

Après l'incubation des boites de pétri ont été examinées ,8 à 10 colonies ont été prélevées aléatoirement selon leur apparence macroscopique

4.14.7. Démembrement

L'aspect macroscopique des souches isolées à partir des échantillons conduisant à les différenciées sur milieu PCA, GN comme des colonies petites (0.5 - 1.5mm), rondes, blanches Par contre, sur milieu TSC apparaissent noir L'observation microscopique montre que les cellules sont Gram positive, catalase positive avec une forme bacillaire associées en pairs ou en courtes chainettes, contenant une spore centrale, terminale ou subterminale

Matériels Et Méthodes

4.14.8. Conservation de courte durée

Le maintien des isolats purs à court terme pour un usage journalier ou hebdomadaire a été effectué sur gélose LB inclinée à une température de +4 C° après elles ont été incubées à 37°C pendant 16 h. Des cultures ainsi conservées ont été repiquées toutes les trois semaines

Résultats et discussion

Résultats et discussion

Nous allons présenter les résultats relatifs à la production de biogaz, ainsi que l'effet de différents paramètres liés à la méthanisation de bouse de vache.

5.1 Caractérisation du de bouse de vache:

Les principales caractéristiques physico-chimique du substrat utilisé dans cette étude, sont les suivant :

5.1.1 Origine :

La bouse de vache est produite naturellement par les vaches lors de leur digestion. Elle est composée principalement des excréments solides et liquides de ces animaux. Les vaches ingèrent de la matière végétale, principalement de l'herbe et d'autres plantes, dans leur système digestif complexe, où elles la digèrent et l'assimilent. Ce processus digestif génère des déchets organiques sous forme d'excréments.

5.1.2 Composition Chimique :

La bouse de vache est riche en matière organique, principalement sous forme de cellulose, hémicellulose et lignine issues des plantes ingérées. Elle contient également des protéines, des graisses, des hydrates de carbone et des nutriments essentiels tels que l'azote et le phosphore.

5.1.3 Teneur en Eau :

La bouse de vache a une teneur en eau relativement élevée, généralement supérieure à 80 %. Cette teneur en eau peut varier en fonction de l'alimentation de la vache et des conditions environnementales.

5.1.4 PH :

Le pH de la bouse de vache se situe généralement autour de 7 à 8, ce qui en fait une matière première neutre à légèrement alcaline.

5.1.5 Potentiel Méthanogène :

La bouse de vache est particulièrement adaptée à la méthanisation en raison de sa forte teneur en matière organique. Elle contient des micro-organismes méthanogènes qui

Résultats et Discussion

peuvent décomposer cette matière organique pour produire du biogaz, principalement du méthane (CH₄).

5.1.6 Nutriments pour le Sol :

Après la méthanisation, les résidus solides de la bouse de vache, appelés digestat, sont riches en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Ils peuvent être utilisés comme biofertilisants pour améliorer la fertilité du sol et favoriser la croissance des cultures.

5.1.7 Production du biogaz

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

5.2 Évaluation de la température devant la production :

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

D'après les résultats obtenus dans l'expérience, de 1 ère jusqu'a 8 jour on peut observer que la température varie l'égerment entre 30 et 35 °C. pour atteindre un max de 38 °C dans le 15 jour. Cette étape est suivie par une chute de température jusqu'à une température de 27 °C.

Ces résultats montrent de façon claire que l'augmentation de température est due aux activités des bactéries, ce qui mène a la production de biogaz, la température maximal indique une activité maximale, ainsi qu'une production maximale de biogaz.

5.3 Évaluation de pH durant la production

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

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

Résultats et Discussion

➤ La première partie :

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

➤ La deuxième partie :

Dans la deuxième partie, on peut remarquer que les valeurs de pH ont commencé à augmenter petit à petit jusqu'au 27 jour, pour atteindre une valeur de pH voisine de 7 ce pH est le plus adéquat pour le développement et l'activité des bactéries.

➤ La troisième partie :

Dans cette partie, à partir du 27 jour on peut remarquer qu'il y'a une stabilisation des valeurs de pH (entre 6.9 et 7.1). 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.

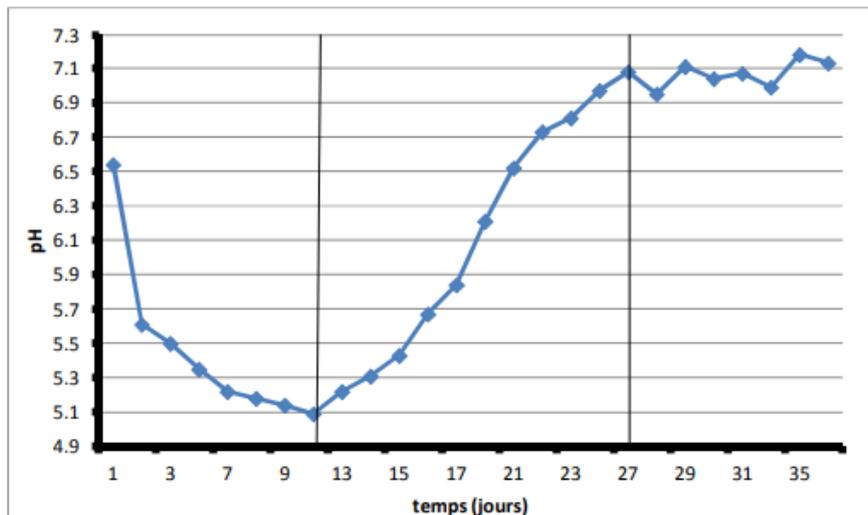


Figure 19: L'évolution de pH dans le digesteur

5.4 Production du biogaz :

La production cumulée du biogaz dans le biodigesteur

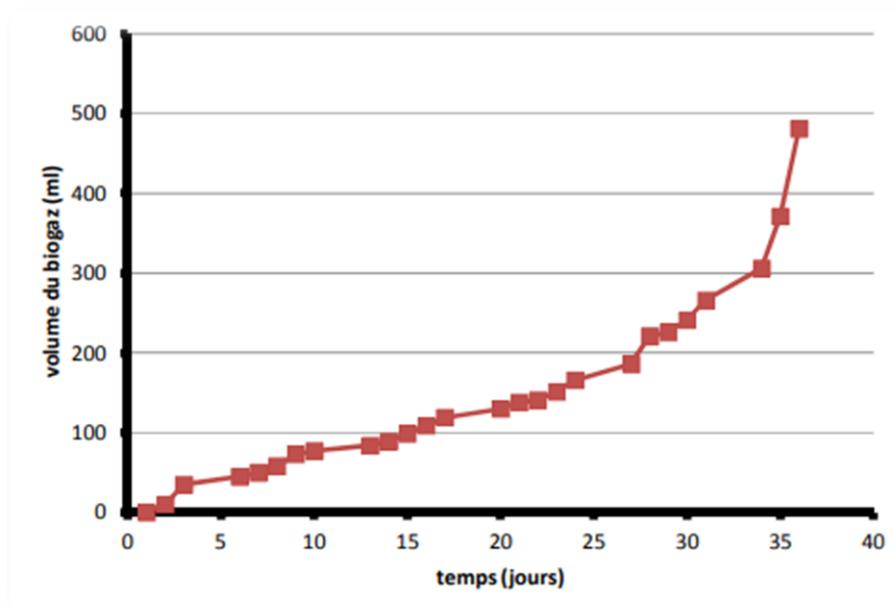


Figure 20: La production cumulée du biogaz dans le digesteur

Une production du volume du biogaz obtenu qui est présenté dans le graphe nous incite à marquer des pics de production dans la 2^{ème} et la 4^{ème} semaine.

Une production améliorée est remarquée, chose qui justifié la fixation de la température favorable biologiquement.

5.5 L'inflammabilité du biogaz

C'est vrai que la production du biogaz est l'objectif principal de la méthanisation, mais la qualité de ce biogaz joue aussi un rôle très important pour la valorisation de Ce biogaz, plus tard.

Dans notre étude, la détermination de la qualité du biogaz produit est faite de manière traditionnelle, le gaz est tout simplement enflammé. Si le biogaz est inflammable ça veut dire que le biogaz est arrivé aux limites d'inflammabilité.



Figure 21: Test de l'inflammabilité du biogaz

5.6 Identification des bactéries

5.6.1 Caractères cultureux et morphologiques

Après purification, les colonies de cultures pures sur milieu gélosé ont été examinées selon leur caractéristiques relatives à leur taille, contour, forme, couleur, aspect (brillant, mat, muqueux) ainsi que leur consistance. Cet examen peut être effectué {l'œil nu ou {l'aide d'une loupe binoculaire. Par examen microscopique après avoir subi une coloration de Gram. Celle-ci permet, de plus, la mise en évidence de la morphologie et du mode d'association des bactéries.

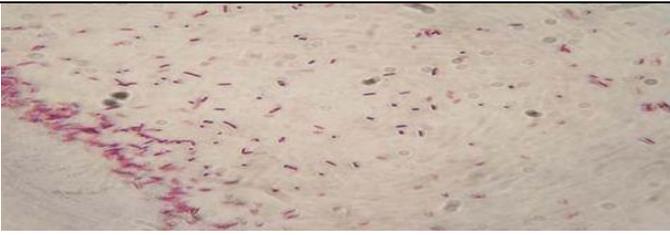
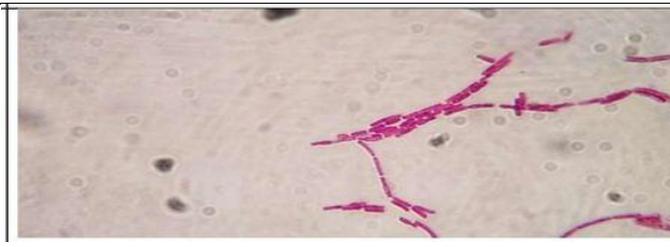
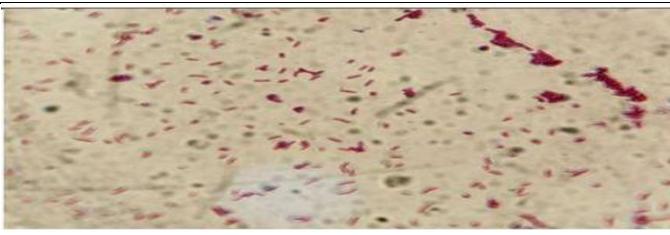
L'aspect macroscopique des souches isolées à partir des échantillons conduisant à les différenciées sur milieu PCA, GN comme des colonies petites (0.5 - 1.5mm), rondes, blanches Par contre, sur milieu TSC apparaissent noir L'observation microscopique montre que les cellules sont Gram positive, catalase positive avec une forme bacillaire associées en pairs ou en courtes chainettes, contenant une spore centrale, terminale ou subterminale

Pour déterminer le genre des isolats bactériens isolés, les critères suivants sont examinés :
Coloration de Gram, test catalase

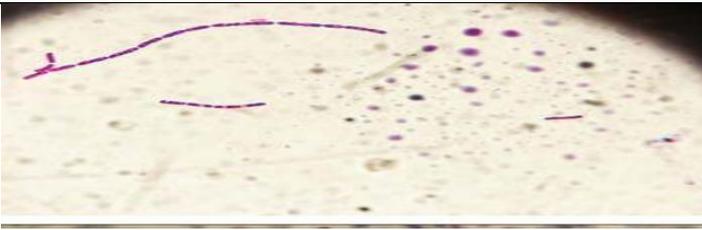
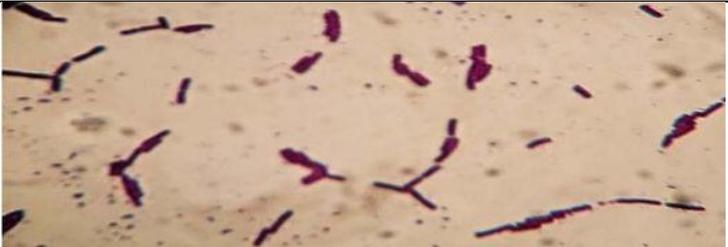
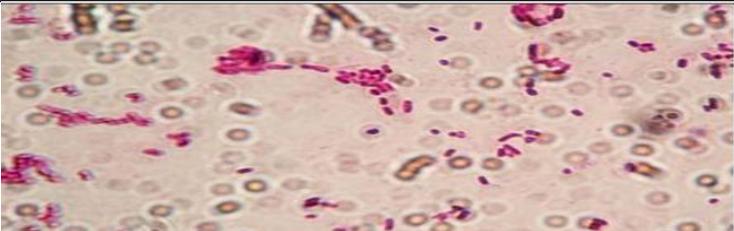
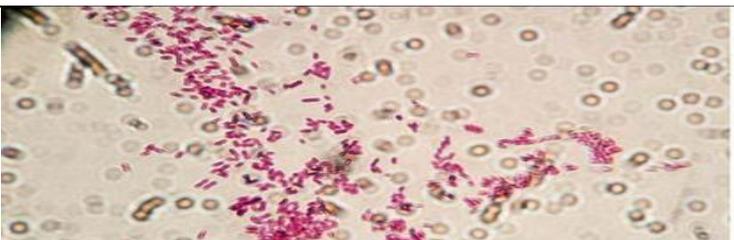
Résultats et Discussion

5.6.2 Caractères microscopique

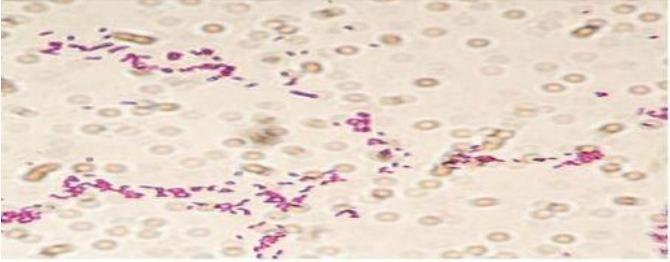
Tableau 3: Les caractéristiques microscopiques des isolats bactériens

1	Coccobacille Gram + A sporulée	
2	Bacille Gram + Spore centrale	
3	Bacille Gram + Spore subterminale	
4	Bacille Gram + Spore centrale	
5	Bacille Gram + Spore centrale	
6	Bacille Gram + Spore terminale	

Résultats et Discussion

7	Bacille Gram + Spore centrale	
8	Bacille Gram + Spore centrale	
9	Bacille Gram + Spore centrale	
10	Bacille Gram + A sporulé	
11	Coccobacille Gram + Spore centrale	
12	Coccobacille Gram + Spore centrale et terminale	
13	Bacille Gram + Spore centrale	

Résultats et Discussion

14	Bacille Gram + Spore centrale	 A light micrograph showing Gram-positive bacilli. The bacteria are purple-stained rods, some appearing in chains. Each rod has a distinct, lighter-colored central region, which is the spore. The background is a light, slightly granular texture.
-----------	-------------------------------------	---

5.7 Discussion

D'après les résultats que nous avons obtenus expérimentalement, nous permettent de constater les points suivants :

L'évolution du pH était un paramètre déterminant afin de suivre les différentes étapes de bio-méthanisation.

Ceci est remarqué depuis son évolution dans le substrat jusqu'au dernier ; en fait, la phase d'acidogènes est représentée par un pH assez bas durant une durée relativement.

L'ajustement volontaire du pH dont le but de réduire cette phase et de déclencher la phase suivante est bien indiqué dans la figure (20).

Un pH relativement stabilisé à été remarqué (au voisinage de 7) ; cette constatation nous indique un fonctionnement stabilisé des micro-organismes, ce qui nous incite à la caractériser par une phase (dernière phase).

La production de biogaz et de biofertilisant par méthanisation repose sur un processus biologique complexe au sein duquel les micro-organismes anaérobies décomposent la matière organique présente dans les matières premières telles que la bouse de vache. Ce processus génère principalement du méthane (CH₄), un gaz à effet de serre à potentiel énergétique élevé. La méthanisation offre une solution doublement avantageuse, contribuant à la gestion durable des déchets organiques tout en produisant une source d'énergie renouvelable. Cependant, la performance du processus dépend de divers facteurs, notamment la composition des matières premières, les conditions environnementales et le suivi du processus.

Des recherches approfondies sont nécessaires pour optimiser les rendements de biogaz, minimiser les pertes potentielles de méthane, et garantir la qualité des biofertilisants produits. Cette approche de production d'énergie et de gestion des déchets offre un potentiel

Résultats et Discussion

significatif pour soutenir la transition vers une économie circulaire et durable tout en réduisant l'empreinte carbone de l'agriculture et de la gestion des déchets.

Le choix des conditions de fermentation, notamment une température de 39°C et un pH de (6,9_7,5), était un aspect critique de notre processus de production de biogaz. La température de fermentation joue un rôle central dans l'activité métabolique des bactéries lors de la production de biogaz. Une température de 39 °C a été choisie car elle soutient de manière optimale le métabolisme des bactéries, améliorant ainsi leur efficacité dans la conversion de la bouse de vache issue des déchets organiques en biogaz et en biofertilisant. De plus, le maintien d'un pH de (6,9_7,5) dans l'environnement de fermentation est vital pour la santé et l'activité des bactéries. La bactérie présente une activité enzymatique et une production de biogaz optimales autour d'un pH neutre. La plage de pH de 6,9 à 7,5 est considérée comme optimale pour la production de biogaz à partir de bouse de vache par fermentation car elle soutient l'activité des micro-organismes méthanogènes, assure la stabilité du processus, favorise une dégradation efficace de la matière organique et minimise la formation de composés inhibiteurs comme l'ammoniac. Un bon contrôle du pH est un facteur crucial dans le succès des processus de digestion anaérobie. Ces conditions de fermentation choisies étaient basées sur la littérature établie et des expériences préliminaires. L'objectif était de créer un environnement qui maximise le rendement du biogaz tout en garantissant la santé et l'activité de la culture bactérienne tout au long de la période de fermentation.

Notre rendement en biogaz de 300 L à partir de 10 kg de bouse de vache et 10 L d'eau s'aligne étroitement sur les résultats rapportés par (hemza, 2017) dans leur étude sur la production de biogaz à partir d'une matière première similaire à notre étude, qui est les déchets organiques du bétail en général. Dans leurs recherches, un rendement comparable a été obtenu en utilisant un processus de fermentation légèrement modifié. Ils ont effectué une fermentation en utilisant des déchets organiques d'élevage en général, à une température (38°C) et un pH de 7. La quantité de biogaz produit 130 L à partir de 5 kg de déchets organiques d'élevage en général après une durée de fermentation de 8 jours, ce qui est très similaire à la nôtre. Cela suggère que notre approche est cohérente avec les découvertes établies dans le domaine, mettant l'accent sur la fiabilité et la validité de nos résultats.

Contrairement à notre étude, qui utilisait la bouse de vache comme matière première, une étude distincte (Tahar, 2012) s'est concentrée sur la production de biogaz à partir de 75 % de déchets de volaille et de 25 % de déchets d'abattoirs. Ensuite, ils ont fermé hermétiquement

Résultats et Discussion

le flacon pour garantir un anaérobie total, puis ils l'ont plongé dans un bain-marie réglé à $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, le pH n'est pas mentionné. La fermentation a été réalisée avec des levures composées à 75 % de déchets de volailles et à 25 % de déchets d'abattoirs en conditions anaérobies. Durant les dix-sept premiers jours, le volume de biogaz produit reste faible (moins de 20 ml/jour) et ininflammable (phase d'hydrolyse et d'acidogènes). Après le dix-septième jour, le volume commence à augmenter de manière variable. Les résultats sont enregistrés au niveau du digesteur composé de 75% de déchets de volailles et 25% de déchets d'abattoirs, avec une valeur maximale de 90 ml au 22ème jour. Le rendement du biogaz de cette étude est resté inférieur à notre rendement à partir de bouse de vache. Cet écart de rendement pourrait être attribué à plusieurs facteurs. La composition et la structure inhérentes de la bouse de vache pourraient la rendre plus propice à la fermentation, permettant ainsi d'obtenir un rendement en biogaz plus élevé. Cette comparaison met en évidence le potentiel et l'efficacité de l'utilisation de la bouse de vache comme matière première pour la production de biogaz. Les exigences de prétraitement relativement plus simples et le rendement plus élevé du biogaz positionnent les déchets organiques comme une matière première prometteuse.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Le monde est en constante évolution et nous devons évoluer avec lui. Il est de notre responsabilité de faire de notre mieux pour améliorer les conditions de vie qui nous entourent, notamment dans le secteur d'énergie

En Algérie, malgré la présence de richesses en gaz naturel, son approvisionnement dans les zones reculées (notamment les zones montagneuses et celles du sud) reste l'un des principaux problèmes. Cette situation a entraîné une augmentation de la consommation de bois, une dégradation généralisée des forêts, une érosion des sols, et la détérioration du climat et de l'environnement.

Il est de notre devoir de préserver cet environnement et de rechercher et développer de nouvelles sources d'énergie pour assurer sa pérennité et réduire significativement la pollution locale et le réchauffement climatique.

Nous constatons que la production de biogaz (bio méthane) est une solution économique et environnementale à ces problèmes à travers l'indépendance énergétique et le développement agricole durable des zones rurales.

Le bio méthane est une énergie encore méconnue en Algérie et devrait représenter la meilleure solution aux problèmes évoqués précédemment.

Grâce à ces travaux de recherche, nous avons conçu un bio digesteur semi-expérimental pour produire du biogaz à partir des déjections des vaches afin de donner une seconde chance à la matière organique de générer de l'énergie renouvelable en plus des engrais naturels. C'est une technologie qui s'appuie sur le travail de micro-organismes, notamment bactéries qui décomposent les matières organiques en l'absence d'oxygène (décomposition anaérobie).

Notre conception comprend de nombreux avantages par rapport aux conceptions existantes. Ce réacteur est un modèle de laboratoire d'une capacité totale de 30 litres. Il est fabriqué en plastique, très simple et portable. Nous avons utilisé de la bouse de vache afin d'augmenter le rendement du biogaz et des bio fertilisants. Le biodigesteur se compose d'un mélangeur qui permet d'accélérer le processus de digestion anaérobie en mélangeant la matière de fermentation de manière homogène pour préserver les organismes vivants et assurer une répartition uniforme des nutriments au sein du système digestif vital

Conclusion

Nous avons placé ce réacteur sur une plaque de fer et les avons fixés (il servait de bain-marie pour maintenir la température pendant le processus). Ce réacteur est constitué de deux ouvertures (un trou de sortie de bio gaz et un trou de sortie du bio fertilisant)

Dans cette étude, nous avons suivi les facteurs qui nous renseignent sur le fonctionnement du réacteur résultant, en plus de l'état de la solution (digestion anaérobie), tels que le pH, la température et le volume de biogaz produit.

Nous avons surveillé la température à l'intérieur du digesteur à l'aide d'une sonde reliée à l'enregistreur de température, et nous avons également surveillé l'évolution du pH quotidiennement pendant le processus de méthanisations à l'aide de pH-mètre.

De cette étude expérimentale, nous pouvons conclure que cette conception, avec ces normes, peut être utilisée comme projet industriel pour produire du bio méthane et éliminer les problèmes mentionnés ci-dessus.

Plan d'affaires

Plan d'affaires

1.0 Aperçu du projet

1.1 Idée de projet (solution proposée)

La dépendance de l'Algérie au gaz naturel en tant que principale source d'énergie comporte des risques économiques et sociaux importants. En termes économiques, cette dépendance expose le pays à une vulnérabilité aux fluctuations des prix sur les marchés mondiaux du gaz naturel, ce qui peut avoir un impact significatif sur les recettes nationales et le budget de l'État. De plus, l'exploitation du gaz naturel peut entraîner une dégradation de l'environnement et des ressources naturelles, ce qui peut avoir des conséquences sociales néfastes, notamment la dégradation des terres agricoles et la perturbation des communautés locales dépendantes de l'agriculture. Il est donc essentiel de diversifier la source d'énergie en Algérie en investissant dans des alternatives naturelles, telles que les énergies renouvelables, pour réduire la dépendance au gaz naturel, stimuler l'économie locale, créer des emplois durables et protéger l'environnement, tout en garantissant une stabilité à long terme pour le pays.

La gestion inadéquate des déjections animales, en particulier celles des vaches, constitue un problème majeur en Algérie avec des implications environnementales graves. La bouse de vache, bien qu'une source de matière organique précieuse pour l'agriculture, est souvent mal gérée, laissée à l'air libre ou mal stockée. Ce manque de gestion appropriée entraîne la fermentation anaérobie de la bouse de vache, produisant des émissions de gaz à effet de serre nocifs, tels que le méthane, qui contribuent au changement climatique et à la détérioration de la couche d'ozone. De plus, les déjections non traitées peuvent contaminer les sols et les sources d'eau, compromettant la qualité de l'environnement et de la vie quotidienne des communautés agricoles. Il est impératif que l'Algérie aborde sérieusement cette question en promouvant des pratiques agricoles durables, telles que la valorisation de la bouse de vache par la biométhanisation dans des biodigesteurs, comme solution pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, préserver l'environnement et soutenir les éleveurs locaux.

La donnée de 2 millions de vaches en Algérie en 2022 révèle un potentiel inexploité en matière de gestion des déchets animaux. En effet, si nous pouvions mettre en place une utilisation efficace de leurs excréments en les convertissant en énergie renouvelable, cela représenterait une solution prometteuse pour l'Algérie. Cette information, couplée au fait que le taux d'utilisation du gaz naturel en 2032 sera élevé s'il est largement utilisé sans alternatives, a suscité une réflexion sérieuse sur la nécessité de diversifier les sources d'énergie du pays. C'est précisément là qu'intervient la solution du biodigesteur. En transformant les déjections animales en biogaz et en biofertilisants, les biodigesteurs permettent de résoudre deux problèmes majeurs en Algérie : la gestion des déchets animaux et la dépendance au gaz naturel. Cette technologie offre un moyen écologique et durable de produire de l'énergie tout en générant des ressources agricoles précieuses. Ainsi, en investissant dans les biodigesteurs, l'Algérie peut répondre à plusieurs défis simultanément, contribuant ainsi à un avenir plus propre et plus résilient pour le pays.

Plan d'affaires

1.2 Proposition de valeur

Durabilité Environnementale :

Réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à la capture du méthane produit par la fermentation anaérobie des déchets organiques.

Diminution de la pollution de l'air due à la gestion inappropriée des déjections animales.

Préservation des sols et des ressources hydriques en évitant la contamination par des déchets non traités.

Indépendance Énergétique :

Réduction de la dépendance de gaz naturel et de combustibles fossiles.

Production locale de biogaz pour alimenter les besoins énergétiques locaux, y compris l'éclairage, la cuisson et le chauffage.

Développement Rural :

Création d'opportunités de revenus supplémentaires pour les éleveurs de vaches et de moutons grâce à la vente de produits dérivés comme le biofertilisant.

Amélioration de la sécurité alimentaire grâce à une meilleure productivité agricole due à l'utilisation du biofertilisant.

Création d'Emplois :

Génération d'emplois locaux dans la fabrication, l'installation, la maintenance et la gestion des biodigesteurs.

Renforcement de l'économie locale grâce à la création de chaînes d'approvisionnement et de services associés.

Autonomie Agricole :

Amélioration de la fertilité des sols grâce au biofertilisant, réduisant ainsi la dépendance aux engrais chimiques coûteux.

Soutien à l'autonomie alimentaire en augmentant la productivité des cultures locales.

Réduction des Coûts Énergétiques :

Réduction des coûts énergétiques pour les ménages ruraux grâce à l'utilisation du biogaz pour la cuisson et le chauffage.

Économies pour les éleveurs grâce à la réduction des coûts de gestion des déchets.

Plan d'affaires

Responsabilité Sociale et Environnementale :

Engagement envers des pratiques agricoles et énergétiques durables.

Promotion de l'éthique environnementale et de la responsabilité sociale des entreprises.

Inclusivité :

Garantie que les avantages des biodigesteurs sont accessibles à toutes les communautés rurales, y compris les plus vulnérables.

1.3 Équipe de travail

L'équipe est composée de deux étudiants de dernière année de master en microbiologie appliquée possédant une solide formation académique en microbiologie industrielle et en microbiologie environnementale. Même si nous n'avons pas une vaste expérience professionnelle, notre formation académique et nos stages nous ont dotés des connaissances et des compétences nécessaires pour réaliser les aspects techniques de l'installation d'un biodigesteur. Nous sommes tous deux désireux d'appliquer nos connaissances théoriques à des applications pratiques et nous nous engageons à atteindre les objectifs du projet avec dévouement et travail d'équipe.

Concernant nos rôles dans l'équipe, je (étudiant 1) prend les devants dans l'élaboration du plan de projet et l'affinement du business model, tandis que mon coéquipier (étudiant 2) se concentre sur les aspects théoriques du projet. Nous avons tous deux contribué à parts égales au succès du prototype expérimental en travaillant en collaboration. Ensemble, nous apportons un mélange unique de compétences techniques et commerciales (tableau 1) qui, selon nous, seront essentielles à la réussite de notre projet.

Tableau 4: Compétences et formation de l'équipe

	Spécialité	Formations-stages	Compétences	Tâches planifiées du projet
Étudiant 1 : Hanafi Ilham	Microbiologie appliquée	<ul style="list-style-type: none"> - Assistant de laboratoire - Contrôle qualité – « GIP lait la source » – Saida - Marketing - Design thinking - Management 	<ul style="list-style-type: none"> - Compétences en recherche et en analyse. - Compétences de gestion du temps. - Capacités de présentation 	<ul style="list-style-type: none"> - Planification et ordonnancement - Gérer la collecte des matières premières. - Suivi du processus de production. - Demande de prêts bancaires
Étudiant 2 : Faress Wissem	Microbiologie appliquée	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratoire central-établissement hospitalier public, Ahmed Madeghari-Saida Laboratoire de contrôle qualité – « GIP lait la source » – Saida - Marketing - Design thinking - Management 	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptabilité - Compétences en communication 	<ul style="list-style-type: none"> - Études de marché et marketing - Gérer la collecte des matières premières - Développer et entretenir les relations avec les fournisseurs et les clients

1.4 Objectifs

Les principaux objectifs du projet d'installation de biodigesteurs en Algérie sont les suivants :

Gestion des Déchets Organiques :

Transformer efficacement les déchets organiques, tels que la bouse de vache, en ressources utiles (biogaz et biofertilisants) plutôt que de les laisser polluer l'environnement.

Plan d'affaires

Production de Biogaz :

Produire du biogaz à partir des matières organiques pour créer une source d'énergie renouvelable et propre.

Production de Biofertilisants :

Générer des biofertilisants de haute qualité riches en nutriments à partir du résidu de la fermentation pour améliorer la fertilité des sols agricoles.

Réduction des Émissions de Gaz à Effet de Serre :

Contribuer activement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en capturant le méthane produit lors de la décomposition anaérobie des déchets organiques.

Diversification des Sources d'Énergie :

Réduire la dépendance aux combustibles fossiles, en particulier au gaz naturel, en introduisant une source d'énergie renouvelable alternative.

Création d'Emplois Locaux :

Générer des opportunités d'emploi dans la fabrication, l'installation et la maintenance des biodigesteurs, stimulant ainsi l'économie locale.

Sécurité Alimentaire et Énergétique :

Contribuer à la sécurité alimentaire en augmentant la production agricole et à la sécurité énergétique en produisant localement du biogaz.

Phase d'Expansion (Selon les Besoins)

Années Suivantes : Expansion et Évaluation

- Évaluation de la performance des petits biodigesteurs mobiles existants.
- Possibilité d'expansion du projet pour couvrir davantage de fermes et de maisons.
- Phase de Suivi et d'Évaluation Continue (Indéfinie).
- À partir de la Deuxième Année : Suivi et Évaluation.
- Suivi continu de la performance environnementale et économique du projet.
- Collecte régulière de données sur la production de biogaz, l'utilisation du biofertilisant et les économies d'énergie.

Plan d'affaires

2.0 Aspects innovants

Le projet d'installation d'un biodigester portable destiné aux habitations et aux fermes spécialisées dans l'élevage de vaches pour la production de biogaz présente des aspects innovants qui révolutionnent la manière dont nous abordons la valorisation des déchets organiques et la production d'énergie renouvelable. L'une des caractéristiques les plus innovantes de cet appareil est l'intégration d'un agitateur, ce qui accélère considérablement le processus de réaction. Ce mélangeur garantit une distribution homogène des matières organiques dans le biodigester, favorisant ainsi une fermentation plus efficace et une production de biogaz accrue.

La présence d'une machine de mesure de la pression et de la température constitue un autre aspect révolutionnaire. Elle offre un contrôle en temps réel du biodigester, permettant de détecter toute variation ou anomalie potentielles dans les conditions internes. Cela réduit considérablement les risques liés aux pressions excessives ou aux températures inappropriées, minimisant ainsi les problèmes opérationnels et les risques d'explosion. Cette fonctionnalité assure une sécurité optimale lors du processus de production de biogaz.

De plus, l'intégration d'un appareil de chauffage est un élément innovant qui permet de maintenir les températures nécessaires pour la fermentation anaérobie. Cela garantit des conditions de réaction optimales, même dans des climats variés, ce qui améliore la fiabilité et l'efficacité de la production de biogaz.

Enfin, le choix du plastique dur comme matériau de fabrication présente des avantages significatifs. Non seulement il est capable de résister à toutes les conditions climatiques, ce qui réduit les coûts de fabrication de l'appareil, mais il permet également de proposer un prix de vente compétitif sur le marché. Cette caractéristique met en avant le projet en le rendant accessible à un plus grand nombre d'utilisateurs, surpassant ainsi la concurrence.

2.1 Nature des innovations

En matière d'innovation, il existe différents types d'innovations qui peuvent être classées en fonction de leur nature. Dans le cas de notre projet, nous pensons qu'il offre un mélange unique d'innovation incrémentale et durable.

Innovation durable :

Notre projet recherche une approche durable de la production d'énergie en utilisant des déchets organiques, qui autrement seraient jetés et contribueraient à la pollution de l'environnement. Cette innovation durable démontre un profond engagement envers la gestion de l'environnement. Au lieu de laisser les déchets organiques (dans notre cas bouse de vache) perpétuer la pollution, notre approche les transforme ingénieusement en produits de valeur. En exploitant les déchets comme matière première, nous réduisons considérablement les émissions de polluants nocifs associés à la dégradation des déchets.

Innovation progressive :

Pour ce faire, nous avons utilisé du plastique résistant adapté à cette innovation. De plus, nous avons stratégiquement introduit une nouvelle gamme de matières premières qui n'avaient jamais été utilisées dans la production d'installations de biodigester en Algérie, notamment un agitateur, un calculateur de pression, un thermomètre, un réchauffeur.

Ce faisant, nous élargissons non seulement les sources de matériaux disponibles pour l'installation du biodigester, mais introduisons également une stratégie de diversification qui améliore la durabilité et la résilience de notre processus. Cette sélection innovante de matières premières s'aligne sur la vision de notre projet consistant à réduire les déchets tout en produisant un biogaz précieux, visant à extraire de la valeur des résidus organiques (bouse de vache) qui étaient autrefois négligés.

2.2 Domaines d'innovations

Notre prochaine entreprise commerciale s'engage à fournir des attributs de produits et des services avancés qui répondent aux demandes changeantes du marché. Cela inclut l'incorporation de nouveaux processus et de nouvelles offres.

Nouvelles offres

Ces dernières années, l'importance d'une agriculture durable est devenue de plus en plus évidente. En réponse, nous avons développé un produit unique conçu pour remplacer les engrais traditionnels par une alternative plus respectueuse de l'environnement.

Traditionnellement, les résidus de fermentation ont été jetés comme déchets, contribuant ainsi aux défis environnementaux. Cependant, grâce à la recherche et au développement, nous avons exploité le potentiel des résidus de fermentation en tant que ressource puissante pour la production de biofertilisants. Notre approche innovante consiste à réutiliser les sous-produits de l'installation du digesteur, en particulier les restes de matières premières organiques, en biofertilisants riches en nutriments par les agriculteurs ou les personnes impliquées.

Ces biofertilisants Remplis de nutriments essentiels, de matière organique et de micro-organismes bénéfiques, ils améliorent la fertilité, la structure et la disponibilité des nutriments du sol. En réintroduisant ces éléments précieux dans le sol, nous facilitons la croissance saine des plantes, l'amélioration des rendements des cultures et la réduction de la dépendance aux engrais chimiques traditionnels.

3.0 Analyse du marché

3.1 Affichage des segments de marché

L'analyse du marché pour la vente de biodigesteurs portables transportables dans les habitations et les fermes spécialisées dans l'élevage de vaches pour la production de biogaz aux agriculteurs et aux habitants des zones reculées peut être segmentée comme suit :

1. Segment des Agriculteurs Éleveurs de Vaches :

Ce segment comprend les agriculteurs et les éleveurs de vaches qui cherchent à valoriser les déchets organiques, tels que la bouse de vache, pour produire du biogaz et du biofertilisant. Ils sont soucieux de réduire les coûts énergétiques et de minimiser l'impact environnemental de leurs activités agricoles.

2. Segment des Propriétaires de Maisons en Milieu Rural :

Les propriétaires de maisons situées en milieu rural, en particulier dans les zones reculées, sont intéressés par l'utilisation de biodigesteurs portables pour la production de biogaz à partir de déchets organiques domestiques. Ils recherchent une source d'énergie propre et abordable pour répondre à leurs besoins énergétiques de base.

3. Segment des Marchés Émergents et des Zones Défavorisées :

Les régions éloignées et les marchés émergents, souvent dépourvus d'accès à l'électricité et aux sources d'énergie modernes, représentent un segment clé. Les biodigesteurs portables peuvent fournir une source d'énergie renouvelable abordable, réduisant ainsi la dépendance aux énergies fossiles.

4. Segment des Écologistes et des Défenseurs de l'Environnement :

Les individus et les organisations sensibles aux problèmes environnementaux considèrent les biodigesteurs portables comme une solution écologique pour la gestion des déchets et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils sont enclins à adopter cette technologie pour ses avantages environnementaux.

3.2 Analyse des concurrents

La section Analyse des concurrents de ce plan d'affaires se penche sur les acteurs existants au sein de l'industrie. Il est essentiel d'évaluer minutieusement l'environnement concurrentiel. Comprendre les forces et les faiblesses des acteurs existants sur le marché est une étape cruciale dans l'élaboration de notre stratégie de réussite. Dans cette section, nous procéderons à une analyse complète des concurrents. De plus, nous éluciderons les avantages qui distinguent notre future entreprise de ces concurrents, ouvrant ainsi la voie à une compréhension claire de notre proposition de valeur unique sur le marché.

Tableau 5: Analyse de concurrent

	Agrogaz.dz	Greenal.Biogas
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des Coûts de Production : La fabrication locale réduit les coûts de production grâce à l'utilisation d'outils et de matériaux locaux, ce qui peut rendre les biodigesteurs plus abordables pour les clients algériens. - Adaptation aux Besoins Locaux : En concevant des améliorations spécifiques pour répondre aux besoins locaux, vous pouvez proposer des biodigesteurs mieux adaptés aux conditions algériennes, garantissant ainsi une meilleure efficacité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'Accès à la Technologie Étrangère : L'importation peut permettre l'accès à des technologies de pointe déjà développées à l'étranger. - Pas de Besoin d'Investissement en R&D : Il n'est pas nécessaire de consacrer des ressources importantes à la recherche et au développement.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Efficacité de la Fabrication Locale : formation de travailleurs qualifiés. - Coûts Initiaux de R&D : Le développement et la mise en œuvre des améliorations innovantes peuvent nécessiter des investissements initiaux importants en recherche et développement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts Élevés d'Importation : L'importation peut entraîner des coûts plus élevés en raison des tarifs douaniers, des frais d'expédition et des marges bénéficiaires des importateurs. - Manque d'Adaptation Locale : Les biodigesteurs importés peuvent ne pas être optimisés pour les conditions et les besoins spécifiques de l'Algérie.

3.3 Stratégie marketing

Notre stratégie marketing vise à établir des canaux de distribution solides qui garantissent la stabilité de la production et des ventes.

Stratégie de Placement (Distribution) pour Agrogaz.dz :

Réseau de Distribution Local : Établissez un solide réseau de distribution local en Algérie. Identifiez des partenaires régionaux, tels que des distributeurs agricoles, des coopératives d'agriculteurs et des magasins de fournitures agricoles, pour atteindre les zones rurales et les agriculteurs.

Centres de Vente et de Service : Mettez en place des centres de vente et de service dans des zones stratégiques, en particulier dans les régions agricoles importantes. Ces centres serviront de points de vente directs et de hubs pour la maintenance et la réparation des biodigesteurs.

Plateforme de Vente en Ligne : une plateforme de vente en ligne conviviale où les clients peuvent parcourir nos produits, obtenir des informations détaillées et passer des commandes.

Équipes de Vente Terrain : Recrution des équipes de vente terrain pour visiter les agriculteurs dans les zones rurales, leur fournir des informations sur les avantages des biodigesteurs et conclure des ventes directes.

Partenariats avec les Associations Agricoles : Collaborez avec des associations agricoles locales pour sensibiliser les agriculteurs aux avantages de l'installation du biodigesteur

Programmes de Subventions et de Financement : Explorez la possibilité de travailler avec des organismes gouvernementaux ou des partenaires pour offrir des programmes de subventions ou de financement pour encourager l'adoption des biodigesteurs.

Plan de promotion et de vente

1. Campagnes de Sensibilisation et de Promotion :

a. Éducation et Sensibilisation :

- Organisez des ateliers, des séminaires et des sessions de sensibilisation dans les régions agricoles pour informer les agriculteurs et les habitants des avantages des biodigesteurs portables.

b. Création de Contenu en Ligne :

Plan d'affaires

- Développez un contenu éducatif en ligne, y compris des articles de blog, des vidéos et des infographies, pour informer et sensibiliser le public sur les avantages de la production de biogaz.

2. Marketing en Ligne :

a. Site Web Convivial :

- Assurez-vous que votre site web est convivial, informatif et propose des options de contact faciles pour les clients potentiels.

b. Marketing sur les Réseaux Sociaux :

- Utilisez les médias sociaux pour promouvoir vos produits et interagir avec la communauté agricole. Créez des campagnes publicitaires ciblées pour toucher un public spécifique.

3. Programme de Parrainage et de Référencement :

a. Programme de Parrainage :

- Mettez en place un programme de parrainage où les clients satisfaits peuvent recommander vos produits à d'autres agriculteurs en échange d'incitations ou de remises.

b. Demandez des Témoignages :

- Recueillez des témoignages et des études de cas de clients satisfaits et partagez-les sur votre site web et vos médias sociaux pour renforcer la confiance des prospects.

4. Participation à des Événements Locaux :

a. Salons Agricoles et Foires Locales :

- Participez à des salons agricoles et à des foires locales pour présenter vos produits et interagir directement avec les agriculteurs.

5. Offres Spéciales et Incitations :

a. Réductions Promotionnelles :

- Proposez des réductions promotionnelles pour inciter les clients à essayer vos biodigesteurs.

b. Programmes de Financement :

- Créez des programmes de financement abordables pour rendre vos produits accessibles à un plus grand nombre d'agriculteurs.

6. Service Après-Vente et Support Technique :

a. Hotline d'Assistance :

Plan d'affaires

- Mettent en place une hotline d'assistance 24h/24 pour les questions techniques et le support après-vente.

7. Collecte de Données et Analyse :

a. Collecte de Données Client :

- Collectez des données sur vos clients et leurs besoins pour personnaliser vos offres et votre marketing.

b. Analyse des Résultats :

- Surveillez l'efficacité de nos campagnes de promotion et de vente, ajustez nos stratégies en fonction des résultats et des commentaires des clients.

Stratégie de prix

La stratégie de prix pour le projet "Agrogaz.dz" de production de biodigesteurs portables en Algérie, ciblant les agriculteurs et les habitants des zones reculées, doit être soigneusement élaborée pour garantir à la fois la rentabilité de l'entreprise et l'accessibilité des produits pour les clients. Voici une stratégie de prix suggérée :

1. Segmenter le Marché : Identifiez les différents segments de marché parmi les agriculteurs et les habitants des zones reculées en fonction de leur capacité financière, de leurs besoins et de leur niveau d'expertise. Par exemple, il peut y avoir des segments de petits agriculteurs, de grandes exploitations agricoles, et d'autres qui ont des besoins spécifiques en termes de biodigesteurs.

2. Différenciation des Produits : Proposez une gamme de biodigesteurs portables avec différentes capacités et fonctionnalités pour répondre aux besoins variés des clients. Par exemple, des modèles de biodigesteurs de différentes tailles et de différentes capacités de production de biogaz.

3. Stratégie de Tarification Différenciée : Adoptez une approche de tarification différenciée en fonction des segments de marché. Les produits destinés aux petits agriculteurs et aux zones reculées peuvent être proposés à un prix plus abordable, tandis que les modèles haut de gamme destinés aux grandes exploitations agricoles peuvent être vendus à un prix plus élevé.

4. Programmes de Subventions et de Financement : Collaborez avec des organismes gouvernementaux ou des partenaires pour proposer des programmes de subventions ou de financement aux clients qui pourraient avoir des ressources financières limitées. Cela peut encourager l'adoption des biodigesteurs.

5. Offres Promotionnelles : Proposez des réductions promotionnelles ou des offres spéciales temporaires pour attirer l'attention des clients potentiels. Par exemple, des remises saisonnières ou des packages d'installation complets à prix réduit.

6. Transparence des Prix : Assurez-vous que les prix sont transparents et faciles à comprendre pour les clients. Incluez des informations sur ce qui est inclus dans le prix, telles que l'installation, la formation et le support technique.

7. Service Après-Vente : Proposez des contrats de service après-vente payants pour garantir que les clients reçoivent un support technique continu. Les clients peuvent être disposés à payer un supplément pour un service fiable et rapide en cas de besoin.

4.0 Plan et organisation de production

4.1 Le processus de production

Voici un aperçu du processus de production et de l'organisation recommandée :

1. Conception et Ingénierie :

Le processus commence par la conception des biodigesteurs portables. L'équipe d'ingénieurs et de concepteurs doit créer des modèles en 3D et des plans de fabrication détaillés, en tenant compte de la résistance aux conditions climatiques locales.

2. Approvisionnement en Matières Premières :

Identifiez des sources fiables de matières premières, telles que le plastique durable, les composants électroniques, les capteurs de pression et de température, et les éléments de chauffage. Établissez des relations avec des fournisseurs locaux pour garantir un approvisionnement constant.

3. Fabrication des Composants :

La production des composants individuels des biodigesteurs commence, y compris les réservoirs, les mécanismes de mélange, les capteurs et les éléments de chauffage.

4. Assemblage :

Les composants sont assemblés pour créer les biodigesteurs portables complets. Cette étape peut nécessiter l'utilisation d'outils et de machines spécifiques pour garantir l'assemblage correct et la qualité.

5. Installation de Composants Électroniques :

Les capteurs de pression et de température, ainsi que les éléments de chauffage, sont installés dans les biodigesteurs pour surveiller et réguler le processus de fermentation.

6. Contrôle de Qualité :

Chaque biodigesteur portable doit passer par une série de tests de contrôle de qualité pour s'assurer qu'il fonctionne correctement, y compris la vérification de l'étanchéité, de la pression, de la température et du fonctionnement du mélangeur.

7. Test Final :

Plan d'affaires

Les biodigesteurs complets sont soumis à un dernier test pour s'assurer qu'ils fonctionnent conformément aux spécifications et aux normes de qualité.

8. Emballage et Expédition :

Les biodigesteurs sont soigneusement emballés pour éviter tout dommage pendant le transport. Ils sont ensuite expédiés vers les points de distribution ou les clients directement.

10. Gestion de la Chaîne d'Approvisionnement :

Mettez en place un système de gestion de la chaîne d'approvisionnement efficace pour suivre les niveaux de stock, gérer les fournisseurs et garantir un approvisionnement en matières premières constant.

11. Évolutivité :

Prévoyez la possibilité d'augmenter la capacité de production pour répondre à la demande croissante. Cela peut inclure l'expansion des installations de fabrication ou l'ajout de lignes de production supplémentaires.

Fabrication

La réalisation du projet "Agrogaz.dz" est un processus méticuleux et innovant visant à produire des biodigesteurs portables destinés à la production de biogaz dans les habitations et les fermes en Algérie. Les matériaux locaux, notamment le plastique polyéthylène haute densité (PEHD) ou des alternatives adaptées aux conditions environnementales en Algérie, sont soigneusement sélectionnés pour leur durabilité et leur résistance aux intempéries. L'ajout d'un agitateur manuel et électronique, d'un radiateur et d'un calculateur de pression et de température améliore considérablement l'efficacité du biodigesteur tout en garantissant la sécurité de l'opérateur. Chaque biodigesteur est méticuleusement assemblé, soumis à des contrôles de qualité rigoureux et conçu pour être portable et facilement transportable, ce qui le rend idéal pour une utilisation dans les zones reculées. En mettant l'accent sur la durabilité, l'accessibilité et l'innovation, le projet "Agrogaz.dz" vise à résoudre les défis liés à la gestion des déchets organiques tout en contribuant à la promotion des énergies renouvelables en Algérie.

Emballage

L'emballage du biodigesteur du projet "Agrogaz.dz" est soigneusement conçu pour assurer la protection du produit pendant le transport tout en facilitant son stockage et sa manipulation pour les agriculteurs et les habitants des zones reculées. L'emballage est une étape essentielle pour garantir que les biodigesteurs arrivent en parfait état et prêts à être utilisés sur le terrain.

L'emballage comprend généralement les éléments suivants :

Contenant Robuste : Un contenant robuste en carton ondulé ou en plastique est utilisé pour protéger le biodigesteur des chocs et des dommages pendant le transport. Ce

Plan d'affaires

contenant est spécialement conçu pour s'adapter à la taille et à la forme du biodigesteur, assurant ainsi un ajustement sûr.

Matériaux de Remplissage : Des matériaux de remplissage tels que des coussins d'air, des coussins de mousse ou des matériaux similaires sont placés à l'intérieur du contenant pour amortir le biodigesteur et le maintenir en place. Cela réduit le risque de mouvements excessifs pendant le transport.

Instructions d'Assemblage : Des instructions d'assemblage claires et détaillées sont incluses dans l'emballage pour guider les utilisateurs lors de la mise en service du biodigesteur. Cela facilite le processus d'installation, même pour ceux qui ne sont pas familiarisés avec ce type de technologie.

Accessoires et Pièces Détachées : Tous les accessoires nécessaires à l'utilisation du biodigesteur, tels que les connexions, les tuyaux et les pièces détachées, sont inclus dans l'emballage pour garantir que les utilisateurs disposent de tout ce dont ils ont besoin.

Informations sur le Produit : Fournissons des informations sur le produit, y compris les caractéristiques, les avantages et les instructions de sécurité, sous la forme d'une brochure ou d'une documentation imprimée.

Identification du Produit : Chaque emballage comporte une étiquette ou une étiquette d'identification claire du produit, y compris le nom du modèle, le numéro de série et les coordonnées de l'entreprise.

4.2 Fourniture

La fourniture des biodigesteurs portables est un aspect essentiel du processus de mise à disposition de ces dispositifs innovants. Voici comment se déroule la fourniture :

Commande et Personnalisation : Les agriculteurs, les habitants des zones reculées et d'autres clients intéressés passent commande des biodigesteurs en fonction de leurs besoins spécifiques. Les biodigesteurs peuvent être personnalisés en fonction de la taille de l'exploitation agricole ou du nombre de têtes de bétail.

Fabrication : Une fois la commande confirmée, la fabrication des biodigesteurs commence. Les composants, notamment le plastique PEHD, le mélangeur, le radiateur et le calculateur de pression et de température, sont assemblés conformément aux spécifications du modèle commandé.

Contrôle Qualité : Chaque biodigesteur est soumis à un contrôle qualité rigoureux pour garantir qu'il répond aux normes de performance et de sécurité. Toutes les fonctionnalités, y compris le mélangeur, le système de chauffage et le dispositif de contrôle, sont vérifiées.

Emballage : Les biodigesteurs sont soigneusement emballés pour garantir leur protection pendant le transport. Les instructions d'assemblage, les accessoires et les pièces détachées sont inclus dans l'emballage.

Plan d'affaires

Expédition : Les biodigesteurs sont expédiés vers les lieux de livraison spécifiés par les clients. L'emballage résistant garantit que les produits arrivent en parfait état.

Installation et Formation : Sur demande, une équipe de techniciens peut être envoyée sur place pour assister à l'installation du biodigesteur et former les utilisateurs sur son utilisation et son entretien.

Service Après-Vente : Le projet "Agrogaz.dz" propose un service après-vente pour répondre aux questions des clients, fournir un support technique en cas de besoin et garantir la satisfaction à long terme.

4.3 Travail

La structure organisationnelle de l'entreprise "Agrogaz.dz" serait conçue pour garantir une gestion efficace de toutes les facettes de l'entreprise, de la conception et de la fabrication des biodigesteurs à leur commercialisation, à la distribution et au support client. Voici une proposition de structure organisationnelle pour cette entreprise :

Direction Générale :

Directeur Général : Responsable de la gestion globale de l'entreprise, de la définition de la stratégie à la supervision de toutes les opérations.

Département de la Recherche et du Développement :

Directeur de la Recherche et du Développement : Responsable de l'innovation, de la conception et de l'amélioration continue des biodigesteurs.

Équipe de Recherche et de Développement : Ingénieurs, techniciens et scientifiques chargés de la conception et du développement des produits.

Département de la Fabrication :

Directeur de la Fabrication : Supervise la production et la qualité des biodigesteurs.

Équipe de Production : Techniciens, opérateurs de machines et personnel de fabrication.

Département de la Logistique et de la Chaîne d'Approvisionnement :

Directeur de la Logistique : Gère la gestion des stocks, la distribution et la livraison des biodigesteurs.

Équipe de Logistique : Professionnels de la logistique, planificateurs et coordinateurs.

Département Commercial et Marketing :

Directeur Commercial et Marketing : Responsable de la promotion, de la vente et de la distribution des biodigesteurs.

Plan d'affaires

Équipe de Vente et de Marketing : Responsables des ventes, des spécialistes marketing et des représentants commerciaux.

Service Client et Support Technique :

Directeur du Service Client : Gère le support client, l'assistance technique et la formation des utilisateurs.

Équipe de Support Client : Spécialistes du support technique et représentants du service client.

Département des Finances et de la Gestion :

Directeur Financier : Responsable de la gestion financière, de la comptabilité et de la budgétisation.

Équipe Financière : Analystes financiers, comptables et professionnels de la gestion financière.

Département des Ressources Humaines :

Responsable des Ressources Humaines : Gère les ressources humaines, le recrutement, la formation et le développement du personnel.

Équipe des Ressources Humaines : Professionnels des RH et administrateurs du personnel.

Département de la Qualité et de la Sécurité :

Responsable de la Qualité et de la Sécurité : Assure la conformité aux normes de qualité et de sécurité.

Équipe de Qualité et de Sécurité : Ingénieurs qualité et spécialistes de la sécurité.

Cette structure organisationnelle est conçue pour favoriser la collaboration entre les différents départements, garantir une gestion efficace de l'ensemble de l'entreprise et assurer la qualité constante des produits et services proposés par "Agrogaz.dz". Elle permet également une réponse rapide aux besoins du marché et une satisfaction client optimale.

5.0 Plan financier

5.1 Coûts et charges

Pour déterminer avec précision les besoins de financement de l'initiative commerciale proposée, une évaluation approfondie des entrées et sorties de trésorerie attendues est essentielle. Cette analyse sera effectuée en examinant une projection sur cinq ans présentée dans les tableaux B à H de l'annexe. En examinant ces tableaux, une estimation complète des besoins financiers peut être effectuée, permettant une prise de décision éclairée et une planification financière efficace pour l'entreprise.

Plan d'affaires

Les sources de financement suivantes ont été considérées pour couvrir les investissements de démarrage :

1. Possibilités de financement gouvernemental disponibles pour les entreprises en démarrage.
2. Prêts bancaires.
3. Attirer les investisseurs.
4. Offrir des actions.
5. Économies financières.

5.2 Numéro d'entreprise

Le numéro d'entreprise est le tableau qui montre les ventes du total des biens vendus multipliées par le prix de vente unitaire.

Tableau 6: Numéro d'entreprise d'un biodigester simple

	Total(DZD)				
	Année				
	1	2	3	4	5
Quantity of the items sold	3400	5950	7890	9800	125000
Selling price per unit	5000	6000	7000	7000	7500
Global Business Figures (A)	34000000	65450000	118350000	156800000	2500000000

Tableau 7: Numéro d'entreprise d'un biodigester développée

	Total(DZD)				
	Année				
	1	2	3	4	5
Quantity of the items sold	3400	4800	6300	7700	8900
Selling price per unit	20000	20000	25000	25000	26000
Global Business Figures (B)	102000000	148800000	220500000	284900000	356000000

Plan d'affaires

Total GlobalBusiness Figures (A+B)	136000000	214250000	338850000	441700000	2856000000
--	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

5.3 Plan de trésorerie

Le plan de trésorerie décrit les stratégies et pratiques de gestion financière mises en œuvre par notre entreprise pour assurer une gestion efficace des flux de trésorerie et une utilisation optimale des ressources financières. Elle englobe divers aspects, notamment les entrées et sorties de trésorerie, la budgétisation et la gestion des liquidités. Le plan de trésorerie vise à maintenir une trésorerie saine, à garantir les paiements ponctuels aux fournisseurs et aux employés, à gérer la dette et les options de financement et à optimiser les opportunités d'investissement. En surveillant et en gérant de près les flux de trésorerie de notre entreprise, nous visons à améliorer la stabilité financière, à respecter nos obligations financières et à soutenir une croissance et un développement durables. Voir le tableau K de l'annexe.

Référence Bibliographie

Référence Bibliographie

Bibliographie

- Adriana Pigosso, A. K. (2022). *FUNDAMENTALS OF ANAEROBIC DIGESTION, BIOGAS PURIFICATION, USE AND TREATMENT OF DIGESTATE*. Récupéré sur A embarapa: <file:///C:/Users/saida%202023/Downloads/final9895.pdf>
- Anonyme. (2008). *biofertilizers technology projects details biomate.pdf*. *biofertilizers technology projects details biomate.pdf*.
- Anonyme. (2012). *la filière biométhane*. Récupéré sur exploratheque: <https://exploratheque.net/articles/enfin-l-explosion-pour-la-filiere-biomethane>
- anonyme. (2015). *Le biogaz*. Récupéré sur aile: <https://aile.asso.fr/biogaz/ressources-outils/le-biogaz/>
- Anonyme. (2023, avril 10). *Les énergies renouvelables*. Récupéré sur safetyculture: <https://safetyculture.com/fr/themes/energie-renouvelable/>
- anonyme. (2021, aout 25). *L'essentiel sur le Biogaz*. Récupéré sur save4planet: <https://www.save4planet.com/ecologie/304/biogaz>
- Anonyme. (2012, october 01). *Production et consommation d'énergies renouvelables dans le monde*. Récupéré sur alternatives économiques: <https://www.alternatives-economiques.fr/production-consommation-denergies-renouvelables-monde-0110201260752.html>
- anonyme. (2016). *qu'est ce qu'un biofertilisant*. Récupéré sur biofertilisants: <http://www.biofertilisants.fr/comprendre-les-biofertilisants/biofertilisant-quest-ce-cest-ca-sert/>
- Antoine Campeau-Péloquin, S. R. (2019). *Modèles d'agitateurs utilisés dans les bioréacteurs avec agitation mécanique*. Récupéré sur monde ccdmd qc: <https://monde.ccdmd.qc.ca/ressource/?id=121458>
- Appels, L. B. (2010). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* , pp. 34(6), 755-781.
- Bahetta, S., & Hasnaoui, R. (2021). Les énergies renouvelables comme vecteur de. *une analyse des traits de la* , p. 18.
- Barth.D. (2018). *La bouse de vache*.
- Benoit, P. (2000, octobre). L'innovation technique au moyen age. *L'innovation dans l'exploitation de l'énergie hydraulique d'après le cas des monastères cisterciens de Bourgogne, Champagne et Franche-Comté* , pp. pp. 58-66.
- Benzer, S. (2023). *Les énergies renouvelables : qu'est-ce que c'est ?* Récupéré sur nations unies: <https://www.un.org/fr/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Bernet, N. (2015, juillet 23). *PRINCIPES ET APPLICATION DE LA DIGESTION ANAEROBIE POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE*. France.

Référence Bibliographie

- Bertrand. (2022, juillet 11). *Les bons élèves de l'énergie renouvelable dans le monde*. Récupéré sur hello watt: <https://www.hellowatt.fr/blog/pays-energies-renouvelables/>
- Bertrand, A. (2006, novembre 01). Recherches de la Communauté Européenne en matière d'énergie géothermique. *Recherches de la Communauté Européenne en matière d'énergie géothermique* , pp. pp. 523-530.
- Bourat, G. (2000, septembre 10). Fermentations - Propriétés des micro-organismes.
- Cadiergues, R. (2019). LES ÉNERGIES. *LES ÉNERGIES* , p. 22.
- Caille, F. (2017). *L'énergie solaire thermodynamique en Afrique*. Afrique: La revue de l'Afrique et du développement.
- Carson, R. (2023). *Avantages et inconvénients de la méthanisation et du biogaz*. Récupéré sur le guide du gaz vert: <https://www.gaz-vert.org/le-gaz-vert/gaz-vert-definition/avantages-inconvenients-biogaz/>
- Carson, R. (2022, novembre 21). *Le biométhane* . Récupéré sur cegibat: <https://cegibat.grdf.fr/dossier-techniques/biomethane-definitions-principe-chiffres-cles>
- Carson, R. (2022, novembre 21). *Le biométhane* . Récupéré sur cegibat: <https://cegibat.grdf.fr/dossier-techniques/biomethane-definitions-principe-chiffres-cles>
- Chabot, J.-L. B. (2001, décembre 31). Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement. *Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement* , pp. Pages 827-834.
- Chand, S. (2014). Terminology of Soil Fertility, Fertilizer and Organics. *Terminology of Soil Fertility, Fertilizer and Organics* . Daya Publishing House.
- Charles. S, L. C. (2021, mai 20). Bioréacteur & Modélisation. Lyon.
- Collard, F. (2015). Les énergies renouvelables. *Les énergies renouvelables* , p. 5 à 72.
- Crick, F. (2023, avril 27). *Énergies renouvelables : définition, exemples, avantages et limites*. Récupéré sur youmatter: <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>
- Dahmoun, W. I. (2021). Énergies renouvelables. *l'un des pivots du développement durable en* , p. 23.
- Dallaire, P. (2017, avril). Énergies renouvelables, développement. *Discours, réalités* , p. 120.
- Decrouy, A. (2023, février 01). *L'importance des énergies renouvelables*. Récupéré sur projetecolo: <https://www.projetecolo.com/l-importance-des-energies-renouvelables-819.html>
- Dessus, B. (2017, avril). Énergies renouvelables, développement. *Discours, réalités* , p. 120.
- Diamond, J. (2022, mars 25). *LES BIOFERTILISANTS AU SERVICE D'UNE STRATÉGIE GLOBALE DE FERTILISATION*. Récupéré sur reference agro: <https://www.reference-agro.fr/innovation/les-biofertilisants-au-service-dune-strategie-globale-de-fertilisation/>

Référence Bibliographie

- Fadila, F. (2022). *Potentiels et perspectives des énergies renouvelables en Algérie*. Biskra: Revue Organisation & Travail.
- Fauroux, V. (2022, mars 29). *Biogaz : quels sont les avantages et les inconvénients de ce gaz vert ?* Récupéré sur tf1info: <https://www.tf1info.fr/environnement-ecologie/hausse-du-prix-du-gaz-biogaz-quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-de-ce-gaz-vert-alternative-2214955.html>
- Fouché, L. (2023, février 28). *BIOGAZ : QUAND LES DÉCHETS PRODUISENT DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE*. Récupéré sur choisir: <https://www.choisir.com/energie/articles/129395/biogaz-quand-les-dechets-produisent-de-lenergie-renouvelable>
- Franklin, R. (2019). *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*. Woodhead Publishing.
- Freris, L. (2019). *LES ÉNERGIES RENOUVELABLES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ*. Paris: Dunod.
- Gisèle, R. (2000). Droit et Energie solaire. *L'énergie solaire et le droit international* , pp. pp. 323-338.
- Gould, S. J. (2020, novembre). *LA MÉTHANISATION AGRICOLE*. Récupéré sur chambres agriculture: <https://chambres-agriculture.fr/exploitation-agricole/developper-des-projets/economie-et-production-denergies/la-methanisation-agricole/>
- hemza, S. (2017). Etude et réalisation d'un digesteur anaérobique pour la production de biogaz. *Etude et réalisation d'un digesteur anaérobique pour la production de biogaz* . Khemis Miliana, La Technologie, algeria.
- Héroux, M. (2008). Développement d'outils de gestion des biogaz produits par les lieux d'enfouissement sanitaire. Montréal.
- Irari, K. F. (2016). Effect of biofertilizers and organic fertilizers on soil health, growth and. *Advances in Soil Microbiology - Recent Trends and Future Prospects - Volume 2 - Soil-Microbe-Plant Interaction (PDFDrive)* . Department of Microbiology College of Basic Sciences and, india: PUNJAB AGRICULTURAL UNIVERSITY LUDHIANA -141004.
- Jones, B. (2012). Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual* . Boca Raton: CRC Press.
- Kingsolver, B. (2014, juin 24). *Arrêté du 24 juin 2014 modifiant l'arrêté du 23 novembre 2011 fixant la nature des intrants dans la production de biométhane pour l'injection dans les réseaux de gaz naturel*. Récupéré sur legifrance gouv: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000029135364>
- Kleinstauber, A. M. (2013, avril). *Microbial community structure and dynamics during anaerobic digestion of various agricultural waste materials*. Récupéré sur researchgate: https://www.researchgate.net/publication/236459872_Microbial_community_structure_and_dynamics_during_anaerobic_digestion_of_various_agricultural_waste_materials
- Laurie, F. (2021, avril 23). *BIOGAZ : QUAND LES DÉCHETS PRODUISENT DE L'ÉNERGIE RENOUVELABLE*. Récupéré sur choisir: <https://www.choisir.com/energie/articles/129395/biogaz-quand-les-dechets-produisent-de-lenergie-renouvelable>

Référence Bibliographique

Layachi, A. (2023, mai 24). Algeria and the transition to renewable energy: the path to achieving. *the path to achieving* , p. 20.

Lucas, M. M. (2023, aout 10). *LE PROCESSUS DE MÉTHANISATION*. Récupéré sur choisir: <https://www.choisir.com/energie/articles/172725/le-processus-de-methanisation>

Lyana. (2019, juin 07). *Pourquoi et comment encourager les énergies renouvelables ?* Récupéré sur ekwateur: <https://ekwateur.fr/blog/transition-energetique/pourquoi-comment-encourager-energies-renouvelables/>

Maiouf, D. B. (2014). Bulletin des Energies Renouvelables. *Bulletin des Energies Renouvelables* , p. 40.

Marc martin, I. (2023, août 31). *LE PROCESSUS DE MÉTHANISATION*. Récupéré sur choisir: <https://www.choisir.com/energie/articles/172725/le-processus-de-methanisation>

Marjolaine. (2018, janvier 22). *POMPES ET AGITATEURS POUR LES INSTALLATIONS DE BIOGAZ : DÉCOUVREZ LES CLIENTS DE BIOGASWORLD ET LEURS TECHNOLOGIES*. Récupéré sur biogasworld: <https://www.biogasworld.com/fr/news/pompes-et-agitateurs-pour-les-installations-de-biogaz-decouvrez-nos-clients-et-leurs-produits/>

Martinez, A. A. (2021, juin 12). Production d'énergie à partir de la biomasse. Saint-Etienne-du-Rouvray.

Mendel, G. (2018, décembre 18). *BIOGAZ ET BIOMÉTHANE : TRANSFORMER NOS DÉCHETS EN ÉNERGIE*. Récupéré sur ifpenergiesnouvelles: <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/biogaz-et-biomethane-transformer-nos-dechets-en-energie>

Moletta et al. (2015, avril). La méthanisation. *La méthanisation* .

Mudhoo, A. (2012, mai 01). *Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. Récupéré sur amazon: <https://www.amazon.com/Biogas-Production-Pretreatment-Anaerobic-Digestion/dp/111806285X>

Multon, B. (2012, février 24). L'énergie électrique. *analyse des ressources et de la production* , p. 22p.

Pierre L. Kunsch, R. Á.-N. (2016, mai 25). Simulation D'un Marché De Certificats Verts Pour La Promotion De L'énergie éolienne En Belgique. *Simulation D'un Marché De Certificats Verts Pour La Promotion De L'énergie éolienne En Belgique* , pp. Pages 241-258.

Pinard, É. (2011, septembre 15). MISE EN VALEUR DU BIOGAZ DES USINES DE BIOMÉTHANISATION DE MONTRÉAL : PERSPECTIVES, ANALYSES ET RECOMMANDATIONS. Québec, Montréal, Canada.

Portillo, S. R. (2023, juillet 20). *Biodigesteur : définition et fonctionnement*. Récupéré sur projet eco: <https://www.projetecolo.com/biodigesteur-definition-et-fonctionnement-1492.html>

Ramanujam, P. K. (2018, July). *Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion*. Récupéré sur researchgate: https://www.researchgate.net/publication/324794647_Biogas_production_-_A_review_on_composition_fuel_properties_feed_stock_and_principles_of_anaerobic_digestion

Référence Bibliographie

- romandie, g. (2023). *Le biogaz, de quoi s'agit-il ?* Récupéré sur gazenergie romandie: <https://www.gazenergie-romandie.ch/biogaz>
- Seadi, T. R. (2008). The biogas handbook: Science, production and applications. *The biogas handbook* , p. 11_30.
- Selosse, M. A. (2000). *La production biologique de méthane*. Benoît Urgelli.
- Tahar, A. (2012). *Amélioration du rendement de la production de biogaz par codigestion des déchets organiques (déchets d'abattoir et de volaille)*. Ghardaïa: Revue des Energies Renouvelables.
- Thivend, P. (2008). La production de méthane d'origine digestive chez les ruminants et son impact sur le réchauffement climatique. *La production de méthane d'origine digestive chez les ruminants et son impact sur le réchauffement climatique* . Management & Avenir.
- Tou.I, e. a. (2001). *Production de Biométhane à Partir des Déjections Animales*. Bouzaréah, Alger: Centre de Développement des Energies Renouvelables.
- Tritz, Y. (2012). Géographie économie société. *Le Système énergétique agri-territorial : les bioénergies comme outil de développement local* , p. pages 31 à 52.
- Venter, C. (2023, février 10). *Qu'est-ce que le biogaz ?* Récupéré sur connaissancesdesenergies: <https://www.connaissancesdesenergies.org/questions-et-reponses-energies/quest-ce-que-le-biogaz#notes>
- Wellinger, J. M. (2013). *The Biogas Handbook*. Récupéré sur sciencedirect: <https://www.sciencedirect.com/book/9780857094988/the-biogas-handbook>
- Zhang, R. &.-M. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. Bioresource Technology. *Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste* , pp. 101(11), 4021-4028.

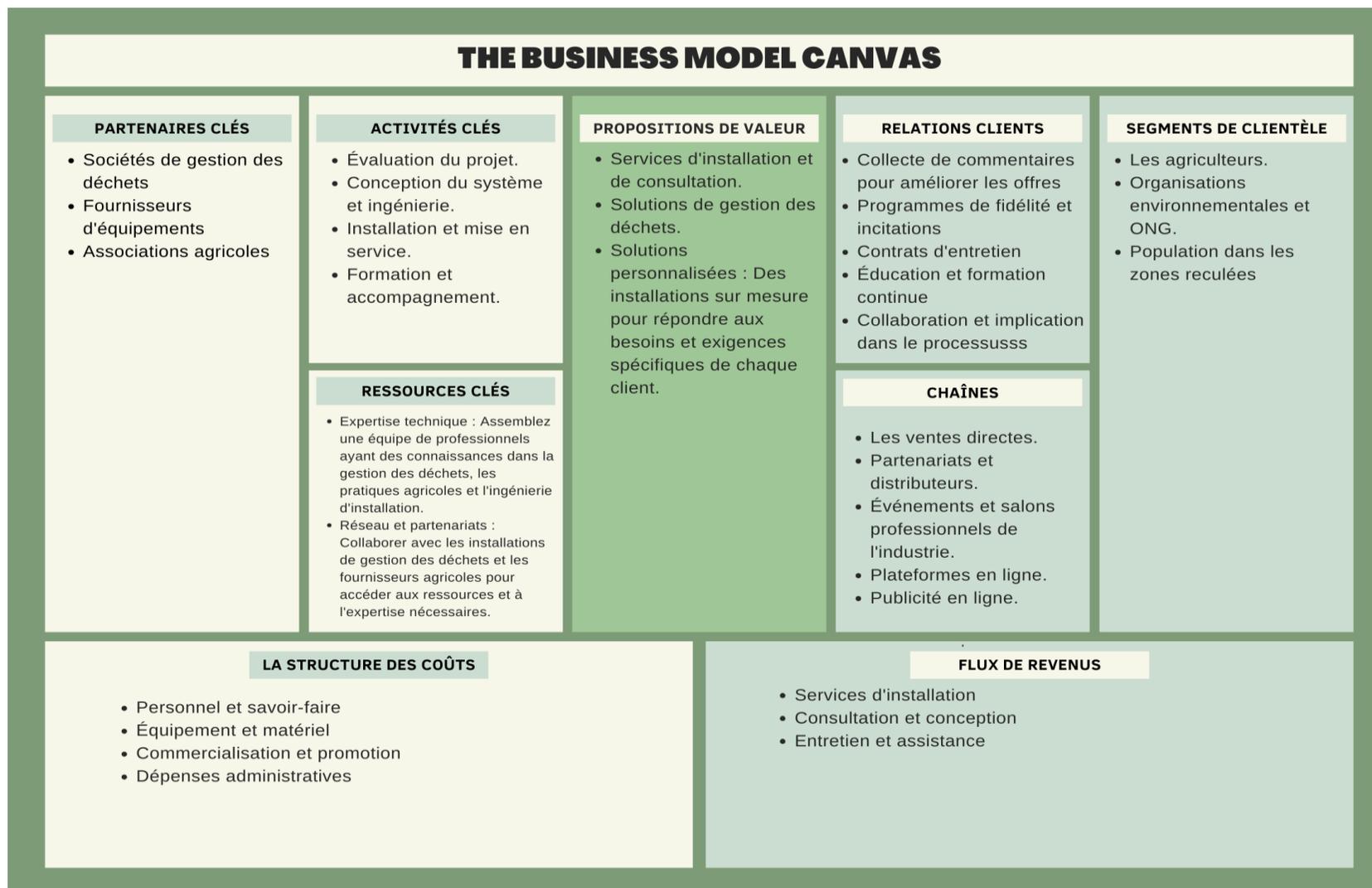
Annexe

Annex

Table 1: Business number of d'un biodigesteur simple.

	Total (DZD)				
	Year				
	1	2	3	4	5
Quantity of the items sold	3400	5950	7890	9800	125000
Selling price per unit	10000	11000	15000	16000	20000
Global Business Figures (A)	34000000	65450000	118350000	156800000	2500000000

Table B : BMC business model canvas :



Annex

Partenaires clés:

Fournisseurs de matériaux : établissez des partenariats avec des fournisseurs de matériaux durables et rentables pour la production de biodigesteurs.

Associations agricoles : Collaborer avec les associations agricoles locales pour promouvoir et distribuer des biodigesteurs aux agriculteurs.

Institutions de recherche : collaborez avec des institutions de recherche pour améliorer continuellement la technologie et l'efficacité des biodigesteurs.

Activités clés :

Production de biodigesteurs : Concevoir, fabriquer et assembler des biodigesteurs portables.

Éducation et formation : Proposer des ateliers et des séances de formation aux agriculteurs sur l'installation et l'utilisation de biodigesteurs.

Recherche et développement : Améliorez continuellement la conception et la fonctionnalité du biodigesteur en fonction des commentaires des utilisateurs et des progrès technologiques.

Ressources clés :

Équipe d'ingénierie : employer des ingénieurs et des techniciens pour la conception, la fabrication et le contrôle qualité du biodigesteur.

Installations de fabrication : établir ou collaborer avec des installations capables de produire en masse des biodigesteurs.

Ressources pédagogiques : Développer du matériel pédagogique et des programmes de formation pour les agriculteurs.

Propositions de valeur :

Source d'énergie durable : fournir une source de biogaz durable et renouvelable pour la cuisson et le chauffage dans les zones rurales.

Production d'engrais organiques : offrez aux agriculteurs un biofertilisant naturel et riche en nutriments pour améliorer les rendements des cultures.

Annex

Économies de coûts : permettent aux agriculteurs de réduire leurs coûts énergétiques et d'améliorer la fertilité des sols, contribuant ainsi à des économies globales de coûts.

Segments de clientèle :

Agriculteurs des zones rurales : cibler les petits exploitants agricoles des zones reculées sans accès aux sources d'énergie traditionnelles.

Coopératives agricoles : Collaborez avec des coopératives pour distribuer des biodigesteurs à un plus grand groupe d'agriculteurs.

ONG et agences gouvernementales : Collaborez avec des organismes à but non lucratif et gouvernementaux impliqués dans le développement rural et la durabilité.

Canal :

Distributeurs locaux : établissez des partenariats avec des distributeurs locaux pour atteindre les agriculteurs des régions éloignées.

Ateliers et événements : Organisez des ateliers, des démonstrations et des événements de sensibilisation dans les communautés rurales.

Plateformes en ligne : utilisez des plateformes en ligne pour le marketing, les ventes et la diffusion d'informations.

Relations Clients :

Formation et soutien : Fournir une formation et un soutien continu aux agriculteurs pour l'installation et l'entretien appropriés du biodigesteur.

Engagement communautaire : Favorisez un sentiment de communauté en vous engageant avec les agriculteurs à travers des événements et des rassemblements locaux.

Mécanisme de rétroaction : établir des canaux permettant aux agriculteurs de fournir des commentaires, permettant une amélioration continue.

Flux de revenus :

Ventes de biodigesteurs : générez des revenus grâce à la vente de biodigesteurs à des agriculteurs individuels et à des coopératives.

Services de maintenance : proposez des services de maintenance et des pièces de rechange pour les biodigesteurs afin d'en assurer la longévité.

Annex

Programmes de formation : facturer des frais pour les ateliers éducatifs et les séances de formation offerts aux agriculteurs.

La structure des coûts:

Coûts des matériaux : Couvrir les dépenses liées à l'achat de matériaux pour la production du biodigesteur.

Coûts de main-d'œuvre : Incluez les coûts associés au personnel qualifié impliqué dans l'ingénierie, la fabrication et l'éducation.

Marketing et distribution : allouez des fonds aux efforts de marketing et aux canaux de distribution pour atteindre le public cible.