



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERRI Tizi-Ouzou
ⵜⴰⵎⴰⵎⵎⵉⵔⵉⵜ ⵏ ⵏⵉⵙⵓⵏⵉⵎ ⵏ ⵏⵉⵔⵉⵙⵓⵏⵉⵎ ⵏ ⵏⵉⵔⵉⵙⵓⵏⵉⵎ

Faculté Des Sciences Biologiques Et des Sciences Agronomiques
Département Des Sciences Alimentaires



Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master-Startup en sciences Alimentaires

Option : Sécurité Alimentaire et Assurance Qualité

Thème :

Production de gaz et d'électricité à partir des bouses de vaches

Réalisé par : **DJOUAHER Abdellah**

Soutenu publiquement devant le jury :

Président :	M. BENGANA Mohammed	MCA	UMMTO
Promoteur :	M. KADI Si Ammar	Pr	UMMTO
Examinatrice :	Mme ZIRMI-ZEMBRI Nacima	MCB	UMMTO
Représentante de l'incubateur-UMMTO	Mme SIAD Nabila	MCA	UMMTO
Représentante de l'incubateur-UMMTO	Mme MEDJDOUB Ferroudja	Pr	UMMTO
Représentant du secteur économique	Mme YAHMI-BOUAZIZ Nadia	Cadre	Direction de l'énergie et des mines, Tizi-Ouzou

Promotion : 2023/2024

Remerciements

Avant tous je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie tout d'abord Monsieur KADI Si Ammar, mon Promoteur, pour son accompagnement constant tout au long de ce projet. Ses conseils et son soutien m'ont permis de mener à bien cette recherche, en guidant mes réflexions et en assurant la rigueur nécessaire à la structuration de mon travail.

Je souhaite également remercier Monsieur BENGANA Mohammed, Président du jury, pour sa présence et l'attention qu'il portera à mon travail. Ses observations seront précieuses pour affiner et enrichir ce projet.

Je remercie Madame ZIRMI-ZEMBRI Nacima, Examinatrice, pour l'intérêt qu'elle portera à mon mémoire et pour ses remarques constructives, qui permettront d'approfondir ma réflexion.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à Madame SIAD Nabila, Représentante de l'incubateur-UMMTO, pour son rôle dans la promotion de l'innovation au sein de l'université et pour l'importance de ses retours en lien avec le monde de l'entreprise.

Enfin, je remercie Madame YAHMI-BOUAZIZ Nadia, Cadre à la Direction de l'Énergie et des Mines de la Wilaya de Tizi-Ouzou, pour l'attention qu'elle portera à mon travail. Ses remarques liées aux applications pratiques de mon travail seront particulièrement appréciées.

Je vous remercie tous et toutes pour votre implication et le temps que vous consacrez à l'évaluation de mon travail. Vos retours seront d'une grande aide pour le perfectionner.

Dédicace

À mes parents

Merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant et votre encouragement sans faille tout au long de mon parcours.

Vous avez toujours cru en moi, même dans les moments les plus durs, et votre confiance en moi a été une source de motivation permanente. Cette réussite est aussi la vôtre. Je vous dédie ce travail avec toute ma reconnaissance et mon amour.

À mes amis,

Merci d'avoir été présents, de m'avoir soutenu dans les moments de doute et d'avoir célébré chaque petite victoire avec moi. Vous avez allégé mes journées les plus difficiles et apporté de la joie et de la légèreté au milieu des épreuves. Votre amitié a été un véritable pilier, et je vous suis profondément reconnaissant.

Liste des abréviations

AGV : acides gras volatile

DA : digestion anaérobie

GES : gaz à effet de serre

C/N : ou rapport massique carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol.

MEV : politiques de mise en valeur

MJ : mégajoules

MS fécale : matière sèche fécale

Nm³ : normale m³, correspond à un volume occupé par le gaz dans les conditions normales c'est à dire à 273.15 K et 101325 Pa.

PCI : pouvoir calorifique inférieur d'un gaz (rapporté au volume de gaz sec) est l'énergie thermique (chaleur) minimale récupérable lors de la combustion

Ph : Potentiel d'hydrogène

TRH : Temps de rétention hydraulique c'est le temps d'attente nécessaire pour la fermentation

Liste des figures

Figure 1 : Exemple de lisiers de vaches laitières.....	7
Figure 2 : Exemple de fumier d'animaux d'élevage.....	7
Figure 3 : Exemple de bouse de vache.....	8
Figure 4 : Exemple de digestat.....	17
Figure 5 : Vue d'ensemble du dispositif.....	31

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Introduction..... 1

Partie : Bibliographique

1. Généralité..... 2

1. Situation actuelle des terres non exploitées..... 2

1.1. Terres attribuées 2

1.2. Impact sur l'élevage et l'agriculture..... 2

2. Les entraves à l'exploitation des terres pour élevage 3

2.1 Irrigation limitée..... 3

2.2. Infrastructures de traitement..... 3

2.3. Difficultés d'investissement..... 3

2.4. Impact sur les coûts de production 3

2.5. Ruralité et développement économique..... 3

3. Impact sur l'élevage et l'agriculture..... 4

3.1. Augmentation des coûts d'importation..... 4

Principales définitions..... 5

1. La méthanisation..... 5

1.1. Biomasse comme énergie renouvelable..... 5

1.1.1. Les différentes catégories de biomasse..... 6

1.1.2. Les effluents d'élevages..... 6

1.1.3. Caractéristiques des effluents d'élevage..... 9

1.1.4. Eléments contenus dans les déjections bovines.....	9
2. Bio-méthanisation.....	10
2.1. Définition.....	10
2.2. Le biogaz.....	12
2.3. Les étapes de la bio-méthanisation	12
2.4. Paramètre influençant la bio-méthanisation.....	13
3. Les modes d'alimentation et d'extraction du digestat.....	15
3.1. Les procédés continus.....	15
3.2. Les procédés discontinus.....	15
3.3. Les procédés semi-continus.....	15
3.4. La Co-méthanisation des Co-produits solides et liquides.....	15
4. Valorisation du biogaz.....	16
5. Le digestat.....	17
5.1. Caractéristiques du digestat.....	17
5.2. Valorisation du digestat.....	18

Partie pratique

1. Choix de l'idée du Projet.....	19
2. Aperçu Général du projet.....	20
3. Objectifs.....	21
4. Apports.....	21
5. Composants du Prototype.....	21
5.1. Le méthaniseur (digesteur anaérobie).....	21
5.2. Système de gestion des intrants	21
5.3. Système de production de biogaz	22
5.4. Système de récupération du digestat	22

5.5. Système de contrôle et de régulation	22
5.6. Système de sécurité.....	22
6. Méthodologie du Projet.....	22
6.1. Phase de conception et de modélisation.....	22
6.2. Phase de construction.....	22
6.3. Phase de tests et d'expérimentation.....	23
6.4. Phase d'évaluation et d'analyse.....	23
6.5. Phase de diffusion et de communication	23
Matériel et méthode.....	24
1. Matières Premières.....	24
1.1 Bouses de Vaches.....	24
2. Équipements du Prototype.....	24
2.1 Digesteur Anaérobique.....	24
2.2 Système de Collecte et de Stockage de Biogaz.....	25
2.3 Compresseur de Réfrigérateur.....	26
2.4. Manomètre	27
2.5. Bouteille de gaz.....	28
2.6 Générateur.....	29
3. Étapes de fabrication.....	30
3.1. Préparation des matières premières.....	30
3.2. Fabrication du digesteur.....	30
3.3. Mise en place du digesteur.....	30
3.4. Le compresseur à gaz.....	30
3.5. Le générateur d'électricité.....	30
Résultats et discussion	32
1. Calcul approximatif de la production de biogaz	32

1.1. Capacité du digesteur	32
1.2. Remplissage à 70 %	32
1.3. Temps d'attente (temps de rétention hydraulique, TRH)	32
2. Production de biogaz par litre de matière organique	32
2.1. Calcul de l'énergie produite.....	33
2.2. Consommation d'électricité avec le biogaz.....	34
2.3. Consommation en cuisine avec le biogaz comprimé.....	34
2.4. Compression en bar.....	35
3. Exemple.....	35
Paramètres STARTUP.....	39
Conclusion.....	42
Références bibliographiques.....	44

Introduction générale

Introduction générale :

En 2024, l'Algérie continue de se positionner comme un acteur clé dans le domaine agricole au Maghreb, avec des réformes et des initiatives visant à renforcer la sécurité alimentaire, améliorer les rendements et promouvoir le développement durable. Ce développement est d'autant plus crucial face aux défis posés par le changement climatique, la croissance démographique et la nécessité d'une extension vers les terres reculées.

L'Algérie, riche de ses vastes terres agricoles et de ses nombreuses fermes isolées, se trouve confrontée à des défis uniques en matière d'approvisionnement énergétique. Ces fermes, souvent éloignées des réseaux de distribution d'électricité, doivent recourir à des solutions autonomes et écologiques pour subvenir à leurs besoins énergétiques.

La valorisation des bouses de vaches en biogaz et en électricité représente une opportunité prometteuse pour ces exploitations agricoles isolées. Les bouses de vaches, abondamment disponibles dans ces fermes, sont une ressource sous-exploitée qui peut être transformée en biogaz par le biais de la méthanisation. Ce biogaz peut ensuite être utilisé pour produire de l'électricité, fournissant ainsi une source d'énergie locale, renouvelable et respectueuse de l'environnement.

Comment la valorisation des bouses de vaches en gaz et en électricité peut-elle contribuer à améliorer l'autonomie énergétique des fermes isolées en Algérie, tout en soutenant le développement agricole national et en répondant aux défis environnementaux, économiques et sociaux spécifiques à ces régions ?

Afin de répondre à ces problématiques, nous avons organisé notre travail comme suit :

Une partie bibliographique constituée de deux chapitres :

- **Chapitre 1** : Généralités et principales définitions de la méthanisation depuis son principe de fonctionnement biologique jusqu'à la valorisation de ses produits.

Une partie pratique :

- **Chapitre 1** : Matériel et méthode.
- **Chapitre 2** : Résultat et discussion + BMC « business model canevas ».

Partie
Bibliographique

1. Généralités :

La sécurité alimentaire en Algérie est un enjeu crucial, particulièrement en raison des défis climatiques, des ressources limitées en terres arables en eau, et électricité et d'une forte dépendance aux importations alimentaires. Plusieurs facteurs continuent d'entraver l'atteinte d'une autosuffisance alimentaire durable.

Le manque d'électricité en Algérie constitue un frein majeur à l'exploitation efficace des terres pour l'élevage. Il impacte directement l'irrigation, les infrastructures de traitement, et dissuade les investissements nécessaires au développement du secteur. Pour améliorer la situation, il est crucial que des efforts soient faits pour renforcer l'accès à une énergie fiable dans les zones rurales ou éloignées, facilitant ainsi une meilleure exploitation des ressources végétales et animales.

En Algérie, la question des terres non exploitées par les éleveurs et les agriculteurs est préoccupante. Actuellement, environ 8 millions d'hectares de terres agricoles sont considérés comme devant être préservés, mais une grande partie de ces terres reste non cultivée. Selon des estimations, moins d'un tiers des terres attribuées dans le cadre des politiques de mise en valeur (MEV) depuis 1983 sont réellement mises en culture (**Benali, 2021**).

1. Situation actuelle des terres non exploitées d'après Cherif Omari et al 2012 :

1.1. Terres attribuées :

Au total, plus de 2,55 millions d'hectares ont été attribués dans le cadre de la MEV, mais beaucoup de ces terres sont soit abandonnées, soit en cours de mise en valeur sans succès. Le gouvernement a récemment annoncé des mesures pour retirer les droits des exploitants qui ne cultivent pas leurs terres. Cela concerne principalement les exploitations agricoles collectives et individuelles.

1.2. Impact sur l'élevage et l'agriculture :

Cette situation a un impact direct sur la sécurité alimentaire et l'élevage en Algérie. La dépendance aux importations alimentaires reste élevée, aggravée par la non-exploitation de vastes surfaces agricoles. Les autorités cherchent à encourager l'investissement et l'utilisation efficace des terres disponibles pour améliorer la production locale. Ce qui pose un défi majeur pour le développement du secteur agricole et la sécurité alimentaire du pays.

2. Les entraves à l'exploitation des terres pour élevage :

2.1 Irrigation limitée :

L'élevage dépend souvent de l'accès à l'eau pour les animaux. L'absence d'électricité limite le fonctionnement des systèmes d'irrigation, ce qui rend difficile l'approvisionnement en fourrage et en pâturages irrigués. Cela peut entraîner une pénurie de nourriture pour le bétail, affectant ainsi la santé animale et la production laitière.

2.2. Infrastructures de traitement :

Les installations nécessaires pour le traitement des produits d'élevage, comme le lait et la viande, nécessitent également de l'électricité. Sans un approvisionnement électrique fiable, il est difficile de maintenir les normes sanitaires requises pour la conservation et le stockage des produits, ce qui peut entraîner des pertes importantes.

2.3. Difficultés d'investissement :

Le manque d'électricité dissuade les investissements dans le secteur de l'élevage. Les éleveurs potentiels peuvent être réticents à investir dans des infrastructures modernes ou à agrandir leurs exploitations en raison de l'incertitude associée à l'approvisionnement électrique. Cela limite le développement de nouvelles techniques d'élevage qui pourraient améliorer la productivité.

2.4. Impact sur les coûts de production :

Les éleveurs doivent souvent recourir à des solutions alternatives coûteuses pour compenser le manque d'électricité, comme les générateurs diesel, ce qui augmente leurs coûts de production et réduit leur compétitivité sur le marché.

2.5. Ruralité et développement économique :

Dans les zones rurales où l'élevage est une source principale de revenus, le manque d'électricité contribue à un cycle de pauvreté et à un sous-développement économique. Les éleveurs peinent à accéder aux marchés et aux services nécessaires pour améliorer leur production.

3. Impact sur l'élevage et l'agriculture :

Bien que l'Algérie dispose d'une superficie significative de terres agricoles, une part importante reste non exploitée, ce qui pose un défi majeur pour le développement du secteur. En Algérie, la production annuelle de lait de vache est estimée à 2,5 milliards de litres. Cependant, les besoins du marché national en lait sont beaucoup plus élevés, s'élevant à environ 4,5 milliards de litres par an. Pour compenser cette différence, l'Algérie importe une quantité considérable de lait en poudre. En 2021, le pays a importé près de 200.000 tonnes de poudre de lait, représentant environ 46 % des besoins nationaux en la matière. Les importations varient entre 200.000 et 250.000 tonnes par an selon les années. Ainsi, malgré une production significative de lait cru, l'Algérie doit continuer à s'appuyer sur des importations pour répondre à la demande croissante de produits laitiers sur son territoire agricole et la sécurité alimentaire du pays.

3.1. Augmentation des coûts d'importation :

- **Facture d'importation élevée :**

En 2021, l'Algérie a importé environ 200.000 tonnes de poudre de lait, ce qui a coûté environ 600 millions de dollars. Cette dépendance aux importations pour un produit de base comme le lait pèse lourdement sur les finances publiques et contribue à un déficit commercial croissant.

- **Pression sur les ménages :**

Impact sur le pouvoir d'achat : Le lait est un produit essentiel dans le régime alimentaire algérien, surtout pour les ménages à revenus modestes. La pénurie entraîne une hausse des prix, ce qui réduit l'accès à ce produit vital et augmente la pression économique sur les familles.

- **Insatisfaction des besoins alimentaires :**

Inadéquation entre offre et demande : La production locale ne couvre qu'une faible partie des besoins en lait, ce qui oblige le gouvernement à importer des quantités importantes pour satisfaire la demande. Cela compromet la sécurité alimentaire et met en danger la santé nutritionnelle de la population.

- **Impact sur l'industrie laitière :**

Dépendance à l'importation : L'industrie laitière algérienne est largement basée sur la poudre de lait importée, rendant difficile le développement d'une filière locale autonome. Cette situation limite les opportunités de croissance pour les producteurs locaux et freine l'innovation dans le secteur.

- **Instabilité économique :**

Vulnérabilité aux fluctuations des marchés internationaux : La dépendance aux importations expose l'Algérie aux fluctuations des prix mondiaux du lait, aggravées par des facteurs tels que le changement climatique et la dévaluation du dinar algérien. Cela peut entraîner des crises économiques lorsque les prix augmentent brusquement.

- **Besoin urgent de réformes :**

Nécessité d'un développement durable : La situation actuelle souligne l'urgence d'une réforme du secteur laitier, notamment par le développement de la production locale pour réduire la dépendance aux importations. Des initiatives visant à améliorer la collecte du lait cru et à soutenir les éleveurs sont essentielles pour renforcer la filière.

Principales définitions :

1. La méthanisation :

1.1. Biomasse comme énergie renouvelable :

Selon l'article L211-2 du code de l'énergie de la république française 2023, la biomasse est la source d'énergie la plus ancienne utilisée par l'humanité. Il s'agit de toute matière organique, végétale ou issue des êtres vivants. Elle se définit comme «la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers ».

Dans le domaine de l'énergie ,et plus particulièrement des bio énergies ,la biomasse énergie est la partie de la biomasse utilisée ou utilisable comme source d'énergie .Grâce à des procédés thermiques telles que la pyrolyse, la gazéification, la combustion directe, ou biochimiques telle que la méthanisation ou de nouvelles transformations chimiques vertes comme les agro-

carburants ,la biomasse se transforme ainsi en trois principales formes d'énergie avec le chauffage domestique ,les biocarburants et l'électricité.

1.1.1. Les différentes catégories de biomasse :

Selon Dris et Chelha (2018), il existe deux principales catégories de biomasse :

- ✓ **La biomasse ligneuse ou sèche** : Elle est constituée de bois, paille et de fibres de canne à sucre (bagasse), est utilisés au sein des centrales thermiques.
- ✓ **La biomasse fermentescible ou humide** : Elle est le plus souvent convertie en biogaz par des micro-organismes.

La biomasse humide comprend :

- ✓ Les effluents d'élevage (lisiers, fumiers, purins,...),
- ✓ Les effluents liquides des industries agroalimentaires comme l'industrie laitière.
- ✓ Certains effluents humides ou liquides résultant de l'activité humaine ; boues de stations d'épuration, fraction organique des déchets ménagers, etc.

1.1.2. Les effluents d'élevages :

Ils sont issues des activités d'élevage, ces activités font vivre une multitude de petits agriculteurs et représentent environ 40% de la production agricole mondiale en 2008.

Les principaux effluents proviennent des élevages bovins, ovins, caprins et de volailles et sont localisés au niveau des bâtiments d'élevage :

- ✓ Les élevages de bovins produisent essentiellement deux types de déchets le lisier et le fumier Par rapport au lisier, le fumier gagne en matière organique grâce à la paille, et perd en matière humide par l'écoulement du purin, qui n'est pas récupéré.
- ✓ Les élevages de volailles, dont les déchets se présentent sous forme de fientes, sont répartis en élevages de poules pondeuses et de poulets de chair. Les déchets issus de l'aviculture ont une valeur agronomique indéniable et bien codifiée. Ils sont couramment utilisés comme tels, pour fertiliser les cultures, en particulier des cultures céréalières comme le maïs.

- **Lisiers :**

Ce sont des déjections animales mélangées présentant un faible taux de matière sèche. Ils peuvent contenir un peu de paille ou des restes d'alimentation. Ils sont collectés dans une fosse, où ils peuvent recevoir parfois un peu d'eau de pluie. Le résultat est un mélange en phase liquide (Figure 1).



Figure 1 : Exemple de lisiers de vaches laitières.

- **Fumiers :**

Ils sont le résultat du mélange dans le bâtiment des déjections animales avec de la paille (ou une litière de copeaux, de sciures...), ce qui donne un effluent assez sec, facilement manipulable et stockable. Ils sont stockés après raclage sur une plate-forme. Les fumiers le plus souvent retournent sur les parcelles agricoles, pour apporter des éléments fertilisants et de la matière organique, qui améliorent la structure du sol (Figure 2).



Figure 2 : Exemple de fumier de vaches laitières.

- **Bouse de vache :**

La bouse (Figure 3) est le résultat du non digestion de certains composés fourragés. La vache en tant qu'herbivore donc consommateur primaire, ingère une certaine quantité de végétaux qui subissent, au niveau de sa panse une action microbienne intense et au niveau de sa caillette une action chimique importante. Cependant, certaines substances, résistent à ces attaques microbiennes, enzymatiques et chimiques tout au long de leur passage dans le tube digestif et sont libérées dans le milieu extérieur au moment de la défécation sous une forme hydratée nommée communément chez les ruminants bovidés « bouse ».

La bouse représente donc une restitution au pâturage d'une partie du fourrage ingéré. De par le nombre journalier de défécation ainsi que la masse de bouse émise sans oublier la composition physico-chimique de ces restitutions, la bouse représente une non négligeable ressource organique et minérale pour le sol.

Les bovins adultes expulsent en moyenne et en temps normal 30 à 40 kg d'excréments par jour constitués de 80 à 90 % d'eau selon le type d'alimentation. Rapporté à une vache laitière (600 kg), la quantité de bouses émises par jour est en moyenne de 3.2 kg de matière organique soit environ 4 kg de matière sèche fécale (à 20% de cendres) (**Lançon, 1978**).



Figure 3 : Exemple de bouse de vache.

1.1.3. Caractéristiques des effluents d'élevage :

Les déjections ont des caractéristiques extrêmement variables suivant les stades physiologiques des animaux, les caractéristiques des aliments, les modes de conduite de l'élevage et la durée de stockage ainsi que la dilution éventuelle par les eaux de pluie ou de salle de traite (Dris et Chelha, 2018).

1.1.4. Éléments contenus dans les déjections bovines :

Les restitutions du bétail sont les produits de la digestion ruminale puis intestinale de la vache qui n'ont pas été intégrés par l'organisme. La matière sèche est constituée **selon** Hughes et al (1975) de :

- ✓ Premièrement de la fraction non digérée de la ration. Elle est essentiellement composée de fragments de tissus lignifiés, de sclérenchymes et de tissus vasculaires avec en outre des éléments minéraux ayant échappé à la dégradation microbienne.
- ✓ Deuxièmement de produits endogènes (sucs digestifs, débris cellulaires...) ou microbiens non digérés.

Les différents éléments excrétés à travers les fèces sont principalement les phosphates, le calcium et le magnésium sans oublier l'azote alors que les excréta liquides en revanche drainent, potasse, sodium ainsi qu'une forte proportion de l'azote restitué. Mis à part les éléments minéraux essentiels on retrouve aussi dans les matières fécales :

- ✓ La silice provenant essentiellement de particules terreuses ingérées en même temps que le fourrage et peut représenter 20 à 40 % de la MS fécale.
- ✓ Les microorganismes : des bactéries, mortes ou vivantes, originaires en majorité du rumen atteignant parfois 10 à 20% du poids des fèces. D'ailleurs, une partie de l'azote restitué se retrouve sous forme bactérienne. Le nombre moyen de bactéries dans une bouse est compris entre 5×10^9 et 3×10^{12} cellules par gramme de matière sèche (Stevenson et Dindal, 1987.)
- ✓ De même on dénombre environ 2×10^7 cellules de levure par gramme de bouse de vache, 10^6 élément mycéliens et 10^{10} Actinomycètes par millilitre de crottin de brebis (Lumaret et al, 1989).

Selon **Desiere (1983)**, l'intérêt que les excréments de bovidés offrent sur le plan bioénergétique relève de quelques considérations quantitatives à propos du niveau « consommateurs primaires » représentés par le bétail. En effet, les bovidés domestiques absorbent par jour (dans des conditions de charge normales), approximativement 2000 Kcal/m² soit 1/8 de la productivité primaire. Mais ils en rejettent 1250 Kcal/m² sous la forme de matières organiques non assimilées c'est-à-dire d'excrétas. En d'autres mots, plus de la moitié de ce qui est ingéré par le bétail est rejeté à la surface du sol sous la forme de déjections : les bouses.

Celles-ci, distribuées de manière dispersée, constituent donc un stock permanent de petites unités d'énergie potentielle. En plus de leur richesse en matières organiques les bouses offrent au sol des quantités de bioéléments indispensables.

2. Bio-méthanisation :

2.1. Définition :

Le processus de méthanisation par voie microbienne consiste en une dégradation de la matière organique ou minérale en un mélange constitué principalement de méthane et de gaz carbonique appelé «biogaz», par une communauté microbienne fonctionnant en anaérobiose.

Cette fermentation se réalise spontanément dans des écosystèmes naturels, où la matière organique est présente dans un milieu anaérobie et dans des conditions compatibles avec l'expression du vivant. Ces communautés microbiennes méthanogènes se retrouvent ainsi dans les marais, les rizières, les sédiments lacustres et marins, le sol, l'intestin de mammifères et le tractus intestinal de certains termites (**Moletta et al, 2008**).

La méthanisation est l'un des plus anciens processus métaboliques à être développés par les organismes. Il devait être présent il y a longtemps, lorsqu'il n'y avait pas massivement d'oxygène dans l'atmosphère et que la Terre était un milieu essentiellement réducteur. Des études estiment l'apparition des organismes méthanogènes entre -4,11 et -3,78 milliards d'années passées (**Brauman et al, 2008**).

La production de méthane à partir de la matière putrescible est connue depuis des siècles. Vers 1630, van Lemond découvrit que la fermentation de la matière organique dégage un gaz inflammable (**Reseau coperative, 2009**).

En 1776 Alessandro volta démontra que le gaz émis par les marais est combustible. En 1787 Lavoisier prouve que le gaz inflammable est le «gashydrogenium carbonatrum », c'est-à-dire le même gaz qui sera appelé, à partir de 1865 méthane (**Moletta et al, 2008**).

C'est probablement à cause de cette origine que le méthane est aussi connu comme « gaz des marais ».si cette émission de CH₄ dans les marais est connu depuis longtemps, le rôle des microorganismes dans ce processus n'a été découvert que bien plus tard. D'ailleurs, la compréhension complexe de ce processus est, encore aujourd'hui loin d'être achevée (**Godon, 2008**).

Outre son importance comme gaz combustible, le méthane constitue également un important gaz à effet de serre (GES). Avec un temps de résidence d'environ 12 ans dans l'atmosphère et une concentration de 1,774 ppm en 2005, il est considéré comme étant le deuxième gaz responsable du réchauffement du globe, juste après le CO₂ (**Solomon et al, 2007**).

Il est important de souligner qu'un kilogramme de méthane a une influence 21 fois plus importante qu'une même quantité de CO₂ pour le réchauffement climatique (**Olivier et al, 2009**).

Le méthane atmosphérique a une origine essentielle biologique, soit naturelle ou provoqué par L'homme .70 à 80% des émissions totales de ce gaz sont causées par des microorganismes, dont les sols sont inondés et l'élevage sont les principaux responsables. Les 20 à 30% restants proviennent de l'exploration et de l'utilisation de combustibles fossiles, de la combustion de biomasse et des fuites de méthane géologique par fissure ou par volcans (**Brauman et al, 2008**).

Par ailleurs la bio méthanisation est l'action qui consiste à reproduire, au travers d'un processus industriel, les conditions nécessaires de la méthanisation dans le but de produire la plus grande quantité de biogaz à partir de biomasse (**EDORA et Valbiom, 2012**).

D'après **ADEM (2014)**, à la fin de ce processus on aboutit à la production :

- ✓ D'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée appelé digestât dont on envisage son épandage après une éventuelle phase de maturation par compostage
- ✓ De biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 à 70 % de méthane, de 20 à 50 % de gaz carbonique et des traces de

NH_3 , N_2 , H_2S . le biogaz a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 5 à 7 kWh/Nm³. cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant ou injection dans le réseau de gaz naturel après épuration.

2.2. Le biogaz :

Le biogaz est un gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en anaérobiose, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène. Cette fermentation, appelée aussi méthanisation, se produit naturellement dans les marais et dans les décharges contenant des déchets organiques. On peut aussi la domestiquer dans des digesteurs. C'est de cette possibilité que nous allons parler dans ce mémoire. La matière organique provient de multiples sources : des végétaux broyés, des fumiers et lisiers que je qualifierais de propres écologiquement, c'est-à-dire réutilisables comme engrais à l'inverse des boues d'épuration et déchets agro-industrielle.

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane ($\text{CH}_4=50\%$ à 70%) et de dioxyde de carbone ($\text{CO}_2=30\%$ à 50%) avec des quantités variables de vapeur d'eau et d'hydrogène sulfure ($\text{H}_2\text{S}<2\%$). Il semble qu'à de basses températures, le biogaz est plus riche en CH_4 et plutôt pauvre en H_2S (Valla, 2016).

2.3. Les étapes de la bio-méthanisation :

La méthanisation de la matière organique passe par différentes étapes et met en jeu un grand nombre de micro-organismes. Il existe de nombreux intermédiaires entre la matière organique initiale et le biogaz final.

Elle est composée de 3 phases selon Moletta (2002) :

A. l'hydrolyse et acidogénèse :

Dans cette étape réalisée par des bactéries hydrolytiques et fermentative, les macromolécules et les particules solides sont hydrolysées en monomère puis fermentées principalement en acides gras volatils, en alcool, en d'autres acides organiques, en hydrogène et en gaz carbonique.

L'étape d'hydrolyse des macromolécules et des particules organiques est généralement lente c'est pourquoi elle est la réaction limitante. Ceci est particulièrement vérifié lorsque les particules solides contiennent de l'aniline, par contre les vitesses d'acidogénèse à partir des monomères sont très rapides

B. L'acétogénèse :

Dans l'étape d'acétogénèse, ces intermédiaires métaboliques sont transformés en acétate, hydrogène et gaz carbonique grâce notamment, à trois groupes de bactéries : les acétogènes productrices obligées d'hydrogène, les bactéries homo-acétogènes, les sulfato-réductrices qui peuvent avoir une des fonctions précédentes.

Les vitesses réactionnelles d'acétogénèse sont généralement lentes et soumises à des problèmes d'inhibition par la présence d'hydrogène qui modifie l'équilibre thermodynamique de la cinétique globale.

C. La méthanogénèse :

Les bactéries méthanogènes ont la fonction de transformer l'acétate et l'hydrogène et le gaz carbonique produit précédemment en méthane. Elles ont été classées dans les archéobactéries avec d'autres microorganismes dits « extrémophiles ».

Les bactéries qui utilisent l'acide acétique pour former du CO_2 et du CH_4 sont dites acéto-clastes et celles qui réduisent le gaz carbonique par l'hydrogène pour faire du méthane et de l'eau sont dites hydrogénéophiles.

Lors de la méthanogénèse, d'autres substrats peuvent être consommés comme le méthanol, l'acide formique par ce type de bactéries.

2.4. Paramètre influençant la bio-méthanisation selon Moletta (2002) :

La méthanisation est un processus biologique complexe qui nécessite certaines conditions pour se réaliser correctement. Ce processus se déroule en enceinte fermée appelée digesteur, fermenteur, ou réacteur. Généralement calorifère afin d'y maintenir une température constante.

Les principaux paramètres pris en compte sont :

➤ **La température :**

Elle agit également sur la vitesse de décomposition de la matière : plus elle est élevée dans le digesteur plus les processus biologiques de méthanisation se déroulent rapidement. En ce qui concerne le fonctionnement des installations de biogaz, on distingue trois niveaux de température : la psychrophilie, la mesophilie et thermophilie

Les digestions anaérobies se déroulant milieu psychrophile c'est-à-dire à des températures en-dessous de 25 degré, prennent beaucoup de temps pour produire du biogaz en milieu mésophile pour des températures comprises entre 25 et 45 degré C, en générale 38 degré C, les temps de séjour sont corrects soit environ 40 jours pour un biogaz riche en méthane avec des températures comprises entre 45 et 60 degré C, on parle de fonctionnement thermophile. Il est caractérisé par une décomposition rapide du substrat et de hauts rendement en gaz en un temps record cela peut être considéré comme inconvenient pour le stockage du gaz et le ravitaillement rapide du digesteur en matière organique.

➤ **Le pH :**

Le PH optimum de fonctionnement est proche de la neutralité et donc à des valeurs comprises entre 6.5 et 8.5. Le pouvoir tampon du milieu joue un rôle important pour maintenir la stabilité du système .il est parfois nécessaire de corriger ses variations dans l'alimentation par ajouts de produits correcteurs, soude ou acide phosphorique, par exemple.

➤ **Alcalinité :**

Dans un digesteur, on trouve deux type d'alcalinité : celle due aux AGV et celle due aux bicarbonates.

Selon **Hawkes et al (1993)**, l'alcalinité due aux bicarbonates de calcium doit être relativement élevée pour que le processus puisse fonctionner. On considère, en général, qu'il est nécessaire d'avoir au moins à 1000 mg/L d'alcalinité exprimée en CaCO_3 dans un réacteur qui fonctionne bien.

Le carbonate joue non seulement le rôle de pouvoir tampon mais contribue aux équilibre des diverses formes du gaz carbonique dissous. Un effluent charge en azote organique va produire dans le digesteur de l'azote ammoniacal, qui contribuera à générer de l'alcalinité, permettant ainsi un fonctionnement plus stable du digesteur.

➤ **Agitation :**

Une bonne agitation permet de maintenir les matières solides en suspension, d'éviter la formation de mousse ou de croûte, d'accroître la surface d'échange, d'assurer le transfert de chaleur et de faciliter le dégagement des bulles de biogaz.

3. Les modes d'alimentation et d'extraction du digestat selon Valla (2016) :

3.1. Les procédés continus :

L'alimentation et la vidange du digesteur se font en permanence avec une quantité entrante équivalente à celle sortante. Ils sont bien adaptés au traitement des déchets liquides. Ce sont les plus fréquents car ce sont aussi les moins exigeants en maintenance.

3.2. Les procédés discontinus :

Les digesteurs sont remplis puis vidés séquentiellement lorsque la production de biogaz chute ou devient nulle.

3.3. Les procédés semi-continus :

Les digesteurs sont remplis progressivement par des charges successives convenablement réparties dans le temps. La vidange est réalisée lorsque le volume utile du digesteur est atteint et que la production de biogaz n'est plus suffisante.

3.4. La Co-méthanisation des Co-produits solides et liquides :

La Co-méthanisation des déchets liquides et ou solides est une fermentation anaérobie de l'association de deux ou plusieurs déchets. Elle fonctionne avec les mêmes principes de base que la méthanisation du mono-substrat. La Co-méthanisation peut être une association des Co-produits liquides/liquides, solides/solides ou liquides/solides. Cette technologie est une option intéressante pour améliorer les rendements de la digestion anaérobie des déchets en raison des synergies positives établies dans le milieu de digestion (interactions positives entre les Co-produits peuvent résulter de la Co-digestion anaérobie). Elle présente plusieurs avantages par

rapport à la méthanisation d'un seul produit. Le principal avantage de la Co-méthanisation résultant de l'association de plusieurs Co-produits est l'augmentation du rendement en méthane du biogaz produit pendant le processus. Cette augmentation de rendement est due à l'équilibre de nutriments obtenu par l'association de plusieurs Co-produits. Les apports de nutriments améliorent le taux en matières organiques du digesteur.

Son principal objectif est de maintenir la stabilité du processus. Cette stabilité du processus englobe le bon fonctionnement du milieu réactionnel (pouvoir alcalin, inhibition, équilibre en ratio C/N, ajustement de taux de siccité, ...). Une méthanisation stable est traduite par un bon rendement en méthane du biogaz produit pendant le processus.

Maintenir la stabilité du processus de la méthanisation se traduit par plusieurs aspects de fonctionnement du processus. Souvent le maintien du pouvoir alcalin du milieu réactionnel dans la plupart des cas de la méthanisation est ajusté par des ajouts de réactifs chimiques. Soit par ajout de solution acide ou basique selon la valeur du pH. Dans le cas de la co-méthanisation des déchets, avec du lisier de porc (pH basique), le pouvoir tampon du milieu réactionnel pourrait être ajusté par l'équilibre de la proportion en mélange de la dilution journalière. La méthanisation des substrats riches en protéines comme les lisiers (déchets de fermes), les bio-déchets (déchets municipaux) et des déchets des industries agro-alimentaires rencontre très souvent le problème d'inhibition par l'accumulation des produits azotés (**Ashekuzzaman et Poulsen, 2011**).

4. Valorisation du biogaz :

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre plusieurs formes :

- La production de chaleur : le biogaz est brûlé dans une chaudière classique.
- La production séparée de chaleur et d'électricité : le biogaz est brûlé pour une part dans une chaudière et pour une autre part dans un moteur thermique relié à un alternateur qui produit de l'électricité.
- La production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération) : le biogaz alimente un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité et de la chaleur est récupérée dans les gaz d'échappement et au niveau du moteur. Carburant pour automobile, 1m de méthane est équivalent un litre de carburant.

5. Le digestat :

5.1. Caractéristiques du digestat :

La matière non dégradée suite au processus de digestion est appelée digestat (Figure 4). Le digestat brut peut représenter entre 70 et 90% de la quantité initiale des intrants, dépendamment du taux de matière sèche des intrants et de leur biodégradabilité. La valorisation du digestat constitue donc une étape incontournable pour rentabiliser la digestion anaérobie (**Albuquerque et al, 2012**).



Figure 4 : Exemple de digestat

La digestion anaérobie confère des propriétés spécifiques au digestat. La diversité d'intrants et des procédés influence les caractéristiques du digestat. Les matières d'origine agricole comme les effluents d'élevage, les résidus de cultures, les résidus agroalimentaires, les plantes énergétiques ou les sous-produits animaux peuvent être méthanisées au même titre que les résidus organiques d'origine urbaine.

Indépendamment de la nature des entrants et du type du procédé, l'activité microbienne associée à la DA fait augmenter le pH et favorise ainsi la conversion de l'azote organique en azote ammoniacal (**Ortenblad et al, 2000**).

La concentration accrue d'azote ammoniacal (N-NH) par rapport aux intrants se traduit par une plus grande disponibilité de l'azote provenant des digestat. De plus, la dégradation de la matière organique réduit le taux de matière Sèche et la viscosité du digestat par rapport aux intrants ce qui favorise l'infiltration dans le sol lors des épandages (**Robert 2008**).

5.2. Valorisation du digestat :

Le digestat est valorisé à l'état brut comme engrais sans aucun traitement. Grâce au processus qu'il a subi le digestat est beaucoup moins odorant que les intrants initiaux, et peut agir comme un excellent fertilisant pour les terres agricoles et les plantes car l'azote présent initialement dans les intrants est sous forme organique et minérale. Lors de la digestion, une partie de l'azote organique est transformé en azote ammoniacal (NH₄), plus facilement assimilable par les plantes. Plus les composés entrants contiennent du carbone stable, lignifié, moins il sera attaqué par les bactéries et plus la valeur amendante du digestat sera élevée. C'est le cas des digestat issus de fumiers de ruminants (**Alibardi et Cossu, 2010**).

Partie Pratique

La production de biogaz est une technologie qui offre des solutions innovantes pour gérer les effluents d'élevage tout en produisant de l'énergie renouvelable sous forme de méthane. A partir de là, notre projet de fin d'études, inscrit dans le cadre de création d'une startup, se concentre sur le développement d'une centrale de méthanisation, dédiée aux éleveurs de bovins dans un premier temps et extensible aux autres filiales d'élevage. Cette centrale propose une source d'énergie renouvelable et durable et surtout gratuite pour les fermes d'élevage isolées, pour les cas d'urgence, ensuite pour toute personne souhaitant autonomiser son exploitation en énergie, incluant le suivi de l'installation et le bon déroulement de la méthanisation, ainsi que des outils pour améliorer la productivité. Notre conception a pour but de fournir aux éleveurs un outil complet qui optimise l'alimentation quotidienne en énergie des fermes, renforce la rentabilité des exploitations agricoles, contribuant ainsi à l'augmentation des revenus des éleveurs et à la durabilité du secteur laitier en Algérie.

1. Choix de l'idée du Projet :

En tant qu'étudiant en master « sécurité alimentaire et assurance qualité », notre formation nous permet de définir la sécurité alimentaire comme la capacité d'assurer à tous les individus l'accès à une nourriture suffisante, continue, sûre et nutritive pour mener une vie saine et active. L'Algérie est un importateur net de produits laitiers, ce qui entraîne plusieurs défis en termes de sécurité alimentaire et d'enjeux économiques. L'Algérie importe une grande partie de ses produits laitiers, notamment du lait en poudre et des produits dérivés. Cette dépendance représente une vulnérabilité pour le pays, car elle expose le marché local aux fluctuations mondiales des prix, aux tensions géopolitiques, et aux crises économiques internationales. L'instabilité des prix sur le marché mondial peut entraîner une hausse des coûts pour les consommateurs algériens et affecter le pouvoir d'achat, ce qui est le cas au jour d'aujourd'hui. Les producteurs algériens, souvent confrontés à des coûts de production plus élevés, ont du mal à rivaliser avec les produits importés. Cela peut entraîner une baisse de la rentabilité pour les éleveurs locaux et un découragement à investir dans l'amélioration de la production nationale.

A partir de là, nous avons pensé à une solution qui pourrait aider les exploitations agricoles à augmenter leurs rentabilités grâce à l'économie d'énergie et à la valorisation du digestat qui, lui, peut être vendu comme engrais bio, créant ainsi une incitation à l'investissement pour toute personne intéressée, n'importe où sur le territoire national.

Ainsi, la sécurité alimentaire en Algérie, notamment en ce qui concerne les produits laitiers, est un enjeu économique majeur. En renforçant la production locale, et en réduisant la dépendance aux importations, le pays pourrait non seulement améliorer sa sécurité alimentaire mais aussi soutenir son développement économique, tout en garantissant des prix plus stables et une meilleure compétitivité pour les éleveurs locaux.

2. Aperçu Général du projet :

Le Prototype :

Le principal objectif du prototype est de concevoir un modèle fonctionnel de système de méthanisation à échelle réduite, permettant de tester et valider les différentes technologies impliquées dans la production de biogaz. Plus spécifiquement, ce projet vise à :

➤ **Développer un prototype fonctionnel de méthaniseur :**

Créer un dispositif ou une installation permettant la conversion des déchets organiques en biogaz de manière efficace et contrôlée.

➤ **Tester la production de biogaz à partir de matières premières variées :**

Expérimenter l'utilisation de différents types de déchets (déchets agricoles, déchets alimentaires, effluents d'élevage, etc.) pour évaluer le rendement en biogaz et la qualité du digestat produit.

➤ **Optimiser les paramètres de fonctionnement :**

Analyser les facteurs qui influencent la production de biogaz, tels que la température, le pH, le temps de rétention et la composition des matières premières, afin d'optimiser le rendement énergétique du processus.

➤ **Démontrer la viabilité économique :**

Évaluer les coûts associés à la conception, à la construction et au fonctionnement du prototype pour estimer la faisabilité d'une mise à l'échelle industrielle ou commerciale de cette technologie.

➤ **Sensibiliser aux enjeux environnementaux et énergétiques :**

Montrer comment la méthanisation peut contribuer à la gestion durable des déchets, à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la production d'énergie renouvelable.

3. Objectifs :

Fournir aux éleveurs un outil complet visant à améliorer le rendement de leurs fermes de manière plus efficace, et augmenter la rentabilité et la productivité de l'exploitation.

4. Apports :

Notre solution innovante permet aux éleveurs :

- ✓ Une autonomie en énergie ;
- ✓ Une liberté d'installation n'importe où sur le sol algérien ;
- ✓ Réduction des coûts liés à l'exploitation ;
- ✓ Diversification des sources financières grâce la valorisation des sous-produits (digestat comme fertilisant).

5. Composants du Prototype :

Le prototype de méthanisation typique se compose de plusieurs éléments essentiels qui permettent de simuler et d'exploiter le processus de méthanisation dans des conditions contrôlées. Les principaux composants comprennent :

5.1. Le méthaniseur (digesteur anaérobie) :

C'est le réacteur principal où se déroule la dégradation biologique des déchets organiques. Il est conçu pour maintenir des conditions anaérobies et optimales pour la croissance des micro-organismes responsables de la production de biogaz.

5.2. Système de gestion des intrants :

Le projet doit inclure un mécanisme pour introduire les matières organiques (déchets agricoles, déchets alimentaires, effluents d'élevage, etc.) dans le digesteur de manière contrôlée.

5.3. Système de production de biogaz :

Ce système permet de collecter le biogaz produit et de l'utiliser soit pour produire de l'électricité, soit pour le stocker pour une utilisation ultérieure.

5.4. Système de récupération du digestat :

Le digestat est un sous-produit de la méthanisation, riche en nutriments et utilisable comme fertilisant pour les sols agricoles. Le prototype doit permettre la récupération et l'utilisation de ce digestat.

5.5. Système de contrôle et de régulation :

Un système de monitoring permettant de suivre les paramètres critiques du processus de méthanisation (température, pH, production de biogaz, etc.) afin d'optimiser le rendement du prototype.

5.6. Système de sécurité :

Il doit être prévu un système de sécurité pour éviter les risques liés à la production de biogaz, notamment les risques d'explosion ou de fuites de gaz.

6. Méthodologie du Projet :

6.1. Phase de conception et de modélisation :

- ✓ Réalisation d'une étude de faisabilité pour déterminer les spécifications du prototype en fonction des ressources locales disponibles (types de déchets organiques, volume d'intrants, besoins énergétiques, etc.).
- ✓ Conception d'un modèle de méthaniseur adapté à la taille et aux contraintes du projet.

6.2. Phase de construction :

- ✓ Fabrication du prototype en tenant compte des matériaux nécessaires pour garantir une bonne étanchéité, une résistance à la corrosion, et une efficacité dans le processus de dégradation.
- ✓ Mise en place des systèmes de régulation et de contrôle, ainsi que du système de récupération du biogaz et du digestat.

6.3. Phase de tests et d'expérimentation :

- ✓ Alimentation du prototype avec des matières organiques choisies (effluents d'élevage, déchets agricoles, déchets alimentaires, etc.).
- ✓ Mesure du rendement en biogaz et optimisation des paramètres de fonctionnement (température, temps de rétention, etc.).

6.4. Phase d'évaluation et d'analyse :

- ✓ Analyse des résultats expérimentaux en termes de rendement énergétique, de viabilité économique et d'impact environnemental.
- ✓ Identification des améliorations possibles pour rendre le prototype plus efficient ou scalable.

6.5. Phase de diffusion et de communication :

Présentation des résultats du prototype aux parties prenantes (éleveurs, agriculteurs, autorités locales, investisseurs) pour promouvoir l'adoption de la méthanisation à petite échelle.

Matériel et méthode



Figure 5 : Vue d'ensemble du dispositif.

Résultats et discussion :

Pour déterminer la quantité de biogaz qu'un digesteur de 90 litres peut produire à 70 % de sa capacité en conditions idéales, il faut prendre en compte plusieurs facteurs, tels que le temps d'attente nécessaire pour la fermentation (le temps de rétention hydraulique ou TRH), le type de matière organique, et les conditions optimales pour la digestion discontinue (qui veut dire un seul remplissage pendant un temps T) anaérobie. Pour ce faire, nous avons dû faire et refaire plusieurs fois l'expérience avec une amélioration continue pour arriver à avoir des résultats acceptables qu'on pourrait ensuite multiplier à des volumes de digesteur beaucoup plus importante digne d'une installation géante d'une ferme.

1. Calcul approximatif de la production de biogaz :

1.1. Capacité du digesteur : 90 litres.

1.2. Remplissage à 70 % : Le digesteur est rempli à 70 % de sa capacité, soit :

$$90 \times 0,70 = 63 \text{ litres}$$

1.3. Temps d'attente (temps de rétention hydraulique, TRH) :

Le temps d'attente idéal dans un digesteur anaérobie dépend du type de substrat. En général, un digesteur peut fonctionner avec un TRH de 15 à 30 jours pour des conditions optimales de température (environ 35-37°C pour un digesteur mésophile).

2. Production de biogaz par litre de matière organique :

En conditions idéales, un digesteur mésophile produit environ 0,2 à 0,5 m³ de biogaz par kg de matière sèche (MS) transformée. Etant donné que notre digesteur est alimenté avec une matière organique contenant environ 10 à 20 % de matière sèche, nous pouvons estimer la production de gaz.

Le digesteur de 90 L, rempli à 70 % de sa capacité (soit 63 L), produit environ 30 à 100 litres de biogaz par jour après le temps d'attente obligatoire et en conditions idéales de température et de matière organique. Cependant, ce chiffre peut varier en fonction des facteurs spécifiques comme la qualité du substrat et les conditions du digesteur. Cela a été déterminé grâce aux calculs faits après la compression du gaz dans la bouteille à gaz de 10L

- Compression en bar :

Si nous compressons 100 L de biogaz à 10 bar, le volume réduit selon la relation des gaz parfaits $P1 \times V1 = P2 \times V2$

- À 1 bar, nous avons 100 L.
- À 10 bar, le volume serait : $V2 = 1 \times 100 / 10 = 10L$

Pour comprendre ce que représente une production de 30 à 100 litres de biogaz par jour en termes de consommation d'énergie pour le chauffage ou l'électricité, il faut convertir cette quantité de biogaz en énergie utilisable. Voici une estimation approximative :

Énergie contenue dans le biogaz :

Le biogaz est principalement constitué de méthane (CH_4), qui est un gaz combustible. Le pouvoir calorifique du méthane est d'environ 35 MJ (mégajoules) par mètre cube (m^3) de biogaz.

- 1 m^3 de biogaz = 35 MJ
- 1 litre de biogaz = 0,035 MJ (car 1 m^3 = 1000 litres)

2.1. Calcul de l'énergie produite :

Si notre digesteur produit entre 30 et 100 litres de biogaz par jour, l'énergie produite sera :

- Pour **30 litres** de biogaz :

$$30L \times 0,035MJ/L = 1,05MJ/jour$$

- Pour **100 litres** de biogaz :

$$100L \times 0,035MJ/L = 3,5MJ/jour$$

Donc, notre digesteur pourrait produire entre 1,05 MJ et 3,5 MJ par jour, selon la quantité de biogaz générée.

2.2. Consommation d'électricité avec le biogaz :

Conversion en kWh (électricité) :

1 kWh = 3600 kJ (ou 3,6 MJ). Convertissons la production de biogaz en kWh :

- 1,05 MJ/jour :

$$1,05 \text{ MJ} \div 3,6 \text{ MJ/kWh} = 0,2917 \text{ kWh/jour}$$

Cela représente environ 0,29 kWh d'électricité par jour.

- 3,5 MJ/jour :

$$3,5 \text{ MJ} \div 3,6 \text{ MJ/kWh} = 0,9722 \text{ kWh/jour}$$

Cela représente environ 0,97 kWh d'électricité par jour.

Comparaison avec la consommation d'appareils électriques :

Si on prend un appareil de 100 W qui fonctionne pendant 1 heure, il consommera :

$$100 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 100 \text{ Wh} = 0,1 \text{ kWh}$$

Avec 0,29 kWh par jour, vous pouvez faire fonctionner un appareil de 100 W pendant environ 2,9 heures.

Avec 0,97 kWh par jour, vous pouvez faire fonctionner un appareil de 100 W pendant environ 9,7 heures.

2.3. Consommation en cuisine avec le biogaz comprimé :

Prenons l'exemple d'un réchaud à gaz standard qui consomme 0,15 à 0,2 m³ de gaz par heure à pleine puissance. 1 m³ de gaz = 35 MJ, donc :

- 0,15 m³ de gaz produit 5,25 MJ par heure.
- 0,2 m³ de gaz produit 7 MJ par heure.

Énergie produite par 100 L de biogaz par jour :

- 30 L de biogaz produit 1,05 MJ/jour.
- 100 L de biogaz produit 3,5 MJ/jour.

Comparaison avec la cuisson :

- Si un réchaud consomme 5,25 MJ en 1 heure, et vous avez 1,05 MJ de biogaz (30 L), cela permet de cuisiner pendant $1,05 \text{ MJ} \div 5,25 \text{ MJ} = 0,2$ heure = environ 12 minutes de cuisson.
- Avec 3,5 MJ de biogaz (100 L), cela permet de cuisiner pendant $3,5 \text{ MJ} \div 5,25 \text{ MJ} = 0,67$ heure = environ 40 minutes de cuisson.

2.4. Compression en bar :

Si vous compressez 100 L de biogaz à 10 bar, le volume réduit selon la relation des gaz parfaits $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

- À 1 bar, vous avez 100 L.
- À 10 bar, le volume serait : $V_2 = 1 \times 100 / 10 = 10 \text{ L}$

Conclusion :

- Électricité : Si vous avez 100 L de biogaz par jour, cela peut fournir environ 0,97 kWh/jour, ce qui correspond à 9,7 heures d'utilisation d'un appareil de 100 W.
- Cuisson : Avec 100 L de biogaz par jour, vous pouvez cuisiner pendant environ 40 minutes à pleine puissance avec un réchaud à gaz standard.

Tout cela a été calculé approximativement avec le pire et le meilleur rendement obtenu au cours de cette expérience pour justement donner une idée concrète des résultats réels.

Bien sûr cela n'est qu'un prototype visant à avoir une base de calculs pour une éventuelle simulation d'une installation d'une plus grande envergure. Pour ce faire, on va prendre un exemple d'une ferme de 100 vaches avec un digesteur 10000 fois plus grand que celui présenté dans ce projet, ce qui veut dire 90000l soit 90 m^3 et on va reprendre les mêmes calculs en multipliant le tout.

3. Exemple :

➤ Capacité d'un digesteur pour une ferme de taille standard :

La taille d'un digesteur de biogaz pour une ferme dépend de plusieurs facteurs, dont le nombre d'animaux (têtes bovines), la quantité de déchets organiques produits, et le type de fermentation souhaité.

➤ Nombre d'animaux (têtes bovines) :

Le nombre d'animaux dans une ferme influence directement la quantité de biogaz produit, car le biogaz provient en grande partie du fumier des animaux.

- Une vache produit environ 30 à 40 kg de fumier par jour.

➤ Production de biogaz par une ferme avec 100 vaches :

a. Quantité de biogaz produite par les vaches :

- En moyenne, chaque vache produit 0,3 à 0,4 m³ de biogaz par jour.

Pour 100 vaches, la production totale de biogaz est :

- Si chaque vache produit 0,3 m³ de biogaz par jour :

$$100 \text{ vaches} \times 0,3 \text{ m}^3/\text{vache}/\text{jour} = 30 \text{ m}^3 \text{ de biogaz}/\text{jour}$$

Si chaque vache produit 0,4 m³ de biogaz par jour :

$$100 \text{ vaches} \times 0,4 \text{ m}^3/\text{vache}/\text{jour} = 40 \text{ m}^3 \text{ de biogaz}/\text{jour}$$

Donc, la production de biogaz par la ferme de 100 vaches est comprise entre 30 m³ et 40 m³ de biogaz par jour.

➤ Capacité du digesteur de 90 000 L, rempli à 70% :

Le volume total du digesteur est de 90 000 L, soit 90 m³. Lorsque le digesteur est rempli à 70%, cela donne :

$$90000 \text{ L} \times 70\% = 63000 \text{ L ou } 63 \text{ m}^3$$

Ainsi, le digesteur contient 63 m³ de biogaz.

➤ Production d'énergie à partir du biogaz :

Le pouvoir calorifique moyen du biogaz est de 35 MJ/m^3 (mégajoules par mètre cube).
Pour 63 m^3 de biogaz, l'énergie produite est :

$$63 \text{ m}^3 \times 35 \text{ MJ/m}^3 = 2205 \text{ MJ}$$

Conversion en kWh

$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$, donc :

$$2205 \text{ MJ} \div 3,6 \text{ MJ/kWh} = 613,75 \text{ kWh}$$

Donc, un digesteur de 63 m^3 de biogaz produit $613,75 \text{ kWh}$ d'énergie par jour.

➤ Consommation d'électricité :

a. Utilisation d'un appareil de 1 kW :

Prenons un appareil de 1 kW de puissance, qui consomme 1 kWh par heure.

- Avec $613,75 \text{ kWh}$ par jour, un appareil de 1 kW peut fonctionner pendant :
 $613,75 \text{ kWh/jour} \div 1 \text{ kWh/h} = 613,75 \text{ heures par jour}$
- Cela signifie qu'un digesteur de 63 m^3 de biogaz peut fournir $613,75 \text{ heures}$ de fonctionnement d'un appareil de 1 kW par jour.

b. Consommation d'un appareil de 100 W :

Prenons maintenant un appareil de 100 W ($0,1 \text{ kW}$), qui consomme $0,1 \text{ kWh}$ par heure.

- Avec $613,75 \text{ kWh}$ par jour, l'appareil de 100 W peut fonctionner pendant :
 $613,75 \text{ kWh/jour} \div 0,1 \text{ kWh/h} = 6137,5 \text{ heures par jour}$
- Cela signifie qu'un appareil de 100 W pourrait fonctionner pendant $6137,5 \text{ heures}$ par jour grâce au biogaz produit par le digesteur de 63 m^3 .

➤ Consommation pour la cuisson avec un réchaud à gaz :

Prenons un réchaud à gaz qui consomme environ $0,15 \text{ m}^3$ de biogaz par heure.

- Pour 63 m^3 de biogaz produits par jour, cela permet de cuisiner pendant :

$63 \text{ m}^3 \div 0,15 \text{ m}^3/\text{h} = 420$ heures de cuisson par jour

- Donc, avec 63 m^3 de biogaz par jour, vous pouvez faire fonctionner un réchaud à gaz pendant 420 heures de cuisson par jour.

Paramètres STARTUP

Marché et Potentiel de Croissance :

➤ Nos Clients :

- ✓ Producteurs laitiers ;
- ✓ Associations d'éleveurs et coopératives agricoles ;
- ✓ consultants agricoles ;
- ✓ Chambres d'agriculture ;
- ✓ Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

➤ Taille du marché national :

- ✓ Producteurs laitiers (des dizaines de milliers à l'échelle nationale) ;
- ✓ Plusieurs associations d'éleveurs et coopératives agricoles ;
- ✓ Chambres d'agriculture (une par wilaya) ;
- ✓ Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (une direction par wilaya).

➤ Potentiel de croissance exponentiel :

La demande de lait en Algérie a connu une augmentation constante ces dernières années en raison de la **croissance démographique**, de l'**urbanisation** et de l'évolution des habitudes de consommation. Le lait et les produits laitiers (yaourt, fromage, beurre) sont des éléments essentiels du régime alimentaire des Algériens. Selon les estimations, la consommation de lait par habitant continue de croître, et cette tendance devrait se maintenir dans les années à venir.

- **Contexte de la consommation** : En 2020, la consommation annuelle de lait par habitant en Algérie était estimée à environ **120 litres**, un chiffre qui reste largement inférieur à la moyenne des pays développés, où la consommation atteint en moyenne **200 litres** par an par habitant. Cela suggère qu'il existe un **potentiel de croissance de la demande** pour les produits laitiers.
- **Consommation et besoins futurs** : La population algérienne continue de croître (environ **43 millions** d'habitants en 2024), ce qui amplifie la demande de produits laitiers dans les prochaines décennies. D'ici 2030, la demande pourrait augmenter de manière significative, créant des opportunités de développement pour l'industrie laitière nationale.

➤ **Concurrents :**

- Concurrence locale : Non existant
- Concurrence internationale : infrastructure et centrale de bio méthanisation similaires développées dans d'autres pays, non adaptées au contexte algérien.

Avantages concurrentiels :

- ✓ Produit inédit sur la marche
- ✓ Adaptation aux besoins spécifiques des investisseurs
- ✓ Simplicité d'utilisation et mise en place total

➤ **Stratégie marketing :**

▪ **Stratégie de visibilité :**

- ✓ Utilisation des réseaux sociaux et de publicités en ligne.
- ✓ Collaborations avec des associations agricoles et des institutions gouvernementales ;
- ✓ Présentations pratiques et formations dans les fermes et événements agricoles ;
- ✓ Présence à des salons et conférences agricoles ;
- ✓ Encouragement des recommandations par les utilisateurs ;
- ✓ Diffusion de communiqués de presse et collaborations médiatiques.

▪ **Stratégie de distribution :**

- ✓ déplacements sur site et mise en place du plan de travail du Projet

▪ **Stratégie de prix (vente) :**

- ✓ Rémunération de la main-d'œuvre et déplacement selon les installations.
- ✓ Tarification d'un abonnement annuel pour toute éventuelle intervention de maintenance.

Business Model Canvas

Business Model Canvas		Conçu pour:	Conçu par:	Date:	Version:
		Production de gaz et d'électricité des bouses de vaches	DJOUAHER Abdellah	Décembre 2024	4
Partenaires clés	Activités Clés	Propositions de valeur	Relation Client	Clients	
<ul style="list-style-type: none"> • Incubateur de l'UMMTO • Association des éleveurs de vaches laitières • Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural • Ministère de l'Économie de la Connaissance et des Startups • Chambres d'agriculture • Fournisseurs de matériels et d'appareillages 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place et installation d'unités de production de biogaz et d'électricité à la demande. • Suivi et entretien des installations • Amélioration continue et mise à jour des installations selon les besoins des clients • Accompagnement et formation des utilisateurs • Interventions sur place pour maintenance • Campagnes de sensibilisation à l'utilisation de ces installations 	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibilité à une énergie verte renouvelable et durable • Réduction des coûts lié de l'énergie • Valorisation des déchets • Désenclavement des exploitations agricoles 	<ul style="list-style-type: none"> • Accompagnement permanent des clients. • Sessions de formation et de vulgarisation pour les nouveaux utilisateurs • Support technique et interventions sur Place par des experts 	<ul style="list-style-type: none"> • Producteurs laitiers (des dizaines de Milliers à l'échelle nationale) • Associations d'éleveurs et coopératives Agricoles • Consultants agricoles (des milliers à L'échelle nationale) • Chambres de l'agriculture (une par Wilaya) • Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (une direction par Wilaya) 	
	Ressources clés		Canaux		
	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise en production de biogaz • Équipe fondatrice avec compétences en Développement énergétique et, ainsi qu'en ingénierie gazière • Infrastructure et siège social de L'entreprise • Équipements droguerie générale • Expérience des éleveurs collaborateurs 		<ul style="list-style-type: none"> • Vente directe de la solution via notre entreprise • Collaborations avec les coopératives et associations d'éleveurs • Collaborations avec les consultants agricoles • Participation à des foires nationales et internationales de l'agriculture • Utilisation des réseaux sociaux et du site web de l'entreprise • Partage d'un utilisateur à un autre 		
Coûts		Revenus			
<ul style="list-style-type: none"> • Frais du développement de l'installation, de la mise en place et matériels utilisés • Frais de maintenance de l'unité • Frais de marketing et de publicité • Charges fixes de l'infrastructure physique de l'entreprise • Coût de formation des utilisateurs • Charges et honoraires du personnel et des experts 		<ul style="list-style-type: none"> • Rémunération basique de l'étude du projet • Rémunération de l'installation et mise en marche de l'unité • Rémunération des interventions de maintenance sur place en abonnement ou en cas de problèmes technique • Possibilité de convention ministérielle • Exportation de service 			

Conclusion

Conclusion

La création de ma startup dédiée à la production de biogaz en Algérie s'inscrit dans un projet profondément ancré dans le désir de changement positif pour les communautés rurales et l'environnement. En valorisant les déchets organiques provenant des fermes agricoles, ce projet propose une alternative énergétique propre et locale. Il représente une solution concrète aux défis énergétiques auxquels l'Algérie est confrontée, en particulier dans les zones rurales et éloignées où l'accès à l'énergie reste limité. À travers cette initiative, mon objectif est de permettre aux agriculteurs de produire leur propre énergie à partir de leurs ressources, réduisant ainsi leurs coûts tout en contribuant à la transition énergétique du pays.

Au-delà de l'aspect énergétique, ce projet vise également à avoir un impact environnemental significatif. La méthanisation des déchets agricoles permet non seulement de produire du biogaz, mais aussi de réduire les émissions de méthane, un gaz à effet de serre dangereux, tout en offrant une gestion durable des déchets organiques. Le digestat, sous-produit du processus de biogaz, peut être utilisé comme fertilisant naturel, contribuant ainsi à une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Cette approche permet de fermer le cercle de la production et de la consommation de manière durable.

Enfin, ce projet a une dimension sociale forte. En mettant en place cette unité de production de biogaz, je vise à créer des emplois locaux et à encourager l'insertion professionnelle dans les zones rurales, en formant des personnes à de nouveaux métiers dans les secteurs de l'énergie renouvelable et de l'agriculture durable. C'est une opportunité de renforcer l'autonomie énergétique des communautés tout en offrant des perspectives économiques nouvelles. À long terme, cette startup pourrait devenir un modèle d'innovation sociale et économique, capable de transformer le secteur agricole algérien tout en répondant aux enjeux environnementaux et énergétiques du pays.

Références Bibliographique

- ADEM 2014. Fiche technique : Méthanisation. 19 p.
<https://www.enrchoix.idf.ademe.fr/ressources/autres/doc16-fiche-technique-methanisation-201502.pdf>
- Albuquerque J.A. C., De La Fuente A. Ferrer-Costa L., Carrasco J. Cegarra M., Abad, M. Pilar Bernal, 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues, *Biomass and Bioenergy*, 40 : 181-189.
- Alibardi, L., Cossu R., 2010 Stabilization of digestates from wet and dry anaerobic digestion, proceeding from biomass and waste venice , Italy ; 8-11 november, 10p.
- Ashekuzzaman S. M., Poulsen T. G. 2011. Optimizing feed composition for improved methane yield during anaerobic digestion of cow manure based waste mixtures. *Bioresource technology*, 102(3), 2213-2218.
- Benali A. 2021. Foncier agricole non-exploité : récupération de plus de 750.000 hectares. *Algérie-éco*, 02 décembre 2021.
- Brauman, A., Fonty, G Et Roger, P 2008. La méthanisation dans les écosystèmes naturels et cultivés. In Moletta, R., *La méthanisation (chap.2,p.9-59)*. Paris, éditions tec & doc.
- Cherif Omari, Jean-Yves Moissoner, Arlène Alpha Armand Colin .2012 .L'agriculture algérienne face aux défis alimentaires. Trajectoire historique et perspectives | « Revue Tiers Monde » 2012/2 n°210 | pages 123 à 141. <https://www.cairn.info/revue-tiers-monde-2012-2-page-123.htm>
- Desiere M. 1983. Ecologie des Coléoptères coprophages en prairie permanente pâturée. I. Caractéristiques des populations de Coléoptères adultes coprophiles.
- Dris S. A., Chelha, A. 2018. Production de Biogaz Par Valorisation du Lactosérum en Co-digestion Anaérobie. Éditions universitaires européennes.
- EDORA et Valbiom. 2012. Comprendre la méthanisation. 19p.
<https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/FAQ-biogaz-edora-valbiom.pdf>
- Godon, J.-J. 2008. Aspects biochimique et microbiologique de la méthanisation In Moletta, R., *la méthanisation (chap.3, p.61-85)*. Paris, éditions tec & doc.

- Hawkes F. R., Guwy A. J., Rozzi A. G., Hawkes D. L. 1993. A new instrument for on-line measurement of bicarbonate alkalinity. *Water Research*, 27(1), 167-170.
- Hughes R. D., Ferrar P., Macqueen A., Durie P., McKinney G. T., Morley F.H.W. 1975. Introduced dung beetles and Australian pasture ecosystems: Papers presented at a symposium during the meeting of the Australia and New Zealand Association for the Advancement of Science at Canberra in January 1975. *Journal of Applied Ecology*, 12(3), 819-837.
- Lançon J., 1978. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets. *Fourrages*, 75, 55-88.
- LIVRE II du code de l'énergie : la maîtrise de la demande d'énergie et le développement des énergies renouvelables (Articles L211-1 à L294-1) le 12 mars 2023
- Lumaret J. P., Bertrand M., Kadiri N., Blanc P. 1989. Utilisation des déjections animales par la faune édaphique en région méditerranéenne : insectes coprophages et gestion de la matière organique. *Ministère de l'Environnement, Paris*.
- Lumaret.J.P 1989. Sechresse et stratégies comportementales chez les scarabéidés coprophages, bulletin écologique.
- Moletta R. 2002, La méthanisation de la matière organique Aspects généraux.
- Moletta R. 2002. Technologies du traitement des effluents par méthanisation. Moletta-Methanisation. fr.
- Moletta, R., Verstraete, W. (2008). La methanisation dans la problematique énergétique et environnementale .In Moletta, R., la methanisation (chap 1, p.3-8) paris, Edition tec & doc.
- Olivier, M.J. (2009). Chimie de l'environnement. 6^e édition, Québec, Les production Jacques Bernier, 360p.
- Ortenblad, H., 2000.The use of digested sturry within agriculture. Dans: ad-nett (ed): AD: making energy and solving modern waste problems, ortenblad H., Herning municipal utilities Denmark, pp. 53-65.

- Robert, L., 2008 valeur fertilisante des fractions liquides de lisiers separees , porc Quebec, juin2008, 52-54.
- Sara anfel dris et asma chelha production de biogaz par valorisation du lactoserum en co-digestion anaerobie 2018.
- Solomon, S., QIN, D., Manning, M., alley, R.B berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., hegerl, G.C., Heiman, M., M., Hewitson, B., Hoskins (2007).
- Stevenson B. G., Dindal D.L. 1987. Functional ecology of coprophagous insects: a review. *Pedobiologia*, 30(4), 285-298.
- Valla J.P. 2016. Le biogaz : manuel pratique- De la production à l'utilisation. 136 p.
- <http://www.vedura.fr/economie/agriculture/impact-elevage-bovins-environnement>.