

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES

--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Electrotechnique  
Spécialité : Energie et Environnement

Présenté par : TAOU LI Souad  
MEHADJI NESRINE

Thème

**ESTIMATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION  
ELECTRIQUE PAR DIGESTION ANAEROBIE DES  
DECHETS A TLEMCEN**

Soutenu publiquement, le 25 / 06 /2023 , devant le jury composé de :

Mme BENAHMED Nadia	Professeur	ESSA. Tlemcen	Président
Mme FARADJI Djamila Nee KHERBOUCHE	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mme GHOMRI Amina	Professeur	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mr MAGNAFI Hichem	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Mr CHEMIDI Abdelkarim	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire : 2022 /2023



# Remercîments

Le plus grand merci s'adresse au bon Dieu, le tout puissant pour nous avoir donné le courage, la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce travail.

Nous tenons également, à exprimer nos remerciements à notre encadrant Mme FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE qui nous a aidé à améliorer dans notre travail grâce à ses conseils, ses remarques depuis les orientations initiales, son esprit critique et son soutien tout long de la réflexion de Cette recherche .et qui a bien voulu assurer le suivi de notre étude à travers son encouragement .Elle est été toujours disponibles pour nous assister dans les différentes situations auxquelles nous nous sommes confrontés.


Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme GHOMRI Amina pour sa précieuse guidance et son soutien tout au long de ce projet. Sa vaste expertise, ses conseils éclairés et son dévouement ont grandement contribué à la réussite de cette étude. Ses commentaires constructifs, sa disponibilité et son encouragement constant ont été d'une valeur inestimable pour nous.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers tous nos enseignants qui ont grandement contribué à l'acquisition des connaissances essentielles tout au long de notre parcours universitaire.

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance envers Madame BENAHMED Nadia pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

De plus, nous remercions les membres du jury Monsieur MEGNAFI Hichem et Monsieur CHEMIDI Abdel Karim d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous tenons à témoigner, nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au cours de la réalisation de ce mémoire.





## ***Dédicace***

Avant tous, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail, avec un grand bonheur et un grand plaisir que je tiens à dédier ce travail à:

Mon père, mon idole, l'homme qui a toujours sacrifié son bonheur pour le bien-être de notre famille. Aucun mot ne saurait véritablement exprimer la gratitude, l'estime et le respect que j'ai envers toi. Merci du fond du cœur pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour moi. Merci pour ton soutien et ton encouragement tout au long de mon parcours scolaire.

Ma merveilleuse maman, celle qui a consacré tous ses efforts pour veiller à ce que je ne manque de rien pour me voir heureuse. Je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour moi. Ta tendresse et ton soutien indéfectible sont des trésors précieux dans ma vie. Je ne saurais jamais comment te remercier ni de te rendre le un millième de ce que tu as fait pour moi.

À mon grand frère Younes, à mon jumeau Sofiane et ma petite sœur Ines qui ont toujours veillé sur moi, m'encouragé et prodigué leurs précieux conseils. Je vous souhaite une vie remplie de succès et de bonheur.

A mon cher Imad Je tiens à te remercier pour ta patience infinie, ta compréhension et Merci d'être la personne extraordinaire que tu es, et merci d'avoir illuminé mon chemin tout au long de ce parcours éducatif. Je suis profondément reconnaissante de t'avoir à mes côtés.

À ma chère Souad TAOULI, avec qui j'ai partagé les meilleurs moments de ma scolarité. Je tiens à te remercier pour ta gentillesse, ta sincérité et ta fidélité sans faille. Je suis reconnaissante d'avoir eu la chance de te connaître et de partager ces moments exceptionnels ensemble. Merci pour ton amitié sincère, ta présence réconfortante et tous les moments précieux que nous avons partagés et pour ta régularité et qualité de travail qui nous ont permis d'accomplir cette mission.

Merci à moi-même, à ma famille en générale, à tous ceux qui me sont chères, à tous ceux qui m'aiment et à tous ceux que j'aime.

A la fin merci À chaque être qui a été là pour moi, à tous ceux qui m'ont encouragé, soutenu et conseillé tout le long de mes études.

MEHADJI Nesrine





## **Dédicace**

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie ce travail :

À mon très cher papa

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, un pilier dans ma vie, un guide et un modèle à suivre. Je tiens à honorer l'homme que tu es. Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour tout ce que tu as fait pour moi et pour la confiance que tu m'as accordé. Ta patience infinie, ton soutien, ton affection, ta générosité ont été les fondations de ma vie. Je serai éternellement reconnaissante de t'avoir comme père.

À ma très chère maman

Ma raison de vivre et le plus beau cadeau que Dieu m'a offert dans cette vie. Tu es la meilleure maman qu'un enfant puisse rêver. Je suis reconnaissante pour tous les sacrifices que tu as faits pour moi. Tu t'es dévouée sans compter, mettant de côté tes propres besoins pour veiller sur les miens. Tu as travaillé dur, tant physiquement qu'émotionnellement, pour que je puisse avoir une vie meilleure. Je n'oublierai jamais tous les efforts que tu as déployés.

Je te remercie pour tous tes sacrifices, ton amour et tes encouragements

À mes adorables sœurs Chahrazed et Asmaa, je suis honorée d'avoir la chance de vous appeler ma famille. Que cette dédicace témoigne de mon amour éternel pour vous, et que vous sachiez toujours combien vous êtes précieuses à mes yeux.

À mes merveilleux neveux Yanis, Islam et mes merveilleuses nièces Basma, Amel. Votre présence dans ma vie a apporté une joie et un bonheur indescriptibles

À l'ensemble de ma famille et mes amis

À Ismail, je tiens à t'exprimer ma profonde gratitude pour toute ton aide et ta présence réconfortante, et je souhaite te remercier du fond du cœur pour ta générosité, ton soutien et tes conseils inestimables.

À MEHADJI Nesrine

Ma très chère copine avant d'être mon binôme pour tout ce que nous avons vécu de beaux et de pire et pour que tout ce qui nous reste à vivre en Bonheur et de succès. Je te remercie pour ta gentillesse, pour ton amitié sincère, ta présence réconfortante et tous les moments précieux que nous avons partagés. Je tiens également à souligner ta régularité et la qualité de ton travail qui nous ont permis d'accomplir cette mission avec succès.

Merci à moi-même et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

TAOULI Souad



## Résumé

La digestion anaérobie est un processus biologique qui décompose la matière organique en l'absence d'oxygène, produisant du biogaz contenant du méthane.

D'abord les principes de base de la digestion anaérobie et son fonctionnement, en mettant l'accent sur les différentes étapes du processus et les facteurs qui influencent la production de biogaz. Il explique également les avantages environnementaux de cette technologie

Il présente les méthodes et les modèles utilisés pour évaluer la quantité de biogaz produite à partir des déchets, en prenant en compte des paramètres sont également abordées.

Ensuite il examine également les différentes technologies de conversion du biogaz en électricité, telles que les moteurs à gaz, les turbines à gaz, les piles à combustible et les générateurs de vapeur.

Le logiciel GSP (Gas Turbine Simulation Program) est utilisé pour modéliser et étudier les turbines à gaz. Une simulation avec un débit de 0,98 kg/s a produit une puissance mécanique de 255,98 kW, ce qui a conduit à une puissance électrique de 204,78 kW.

Enfin, le mémoire présente des études de cas et des exemples concrets de sites de digestion anaérobie des déchets, démontrant leur efficacité et leur potentiel de production d'électricité. Il conclut en soulignant l'importance croissante de cette technologie pour la gestion durable des déchets et la transition vers des sources d'énergie renouvelable.

Mots clés :

Méthanisation , biogaz , énergie renouvelable.

## ملخص

الهضم اللاهوائي هو عملية بيولوجية تكسر المواد العضوية في غياب الأوكسجين ، وتنتج غازًا حيويًا يحتوي على الميثان.

أولاً ، المبادئ الأساسية لعملية الهضم اللاهوائي وكيفية عمله ، مع التركيز على المراحل المختلفة للعملية والعوامل التي تؤثر على إنتاج الغاز الحيوي. كما يشرح الفوائد البيئية لهذه التكنولوجيا

يعرض الأساليب والنماذج المستخدمة لتقييم كمية الغاز الحيوي المنتج من النفايات ، مع الأخذ في الاعتبار المعلمات كما تمت مناقشتها.

ثم يدرس أيضًا التقنيات المختلفة لتحويل الغاز الحيوي إلى كهرباء ، مثل محركات الغاز وتوربينات الغاز وخلايا الوقود ومولدات البخار.

يستخدم برنامج GSP (برنامج محاكاة التوربينات الغازية) لنمذجة ودراسة التوربينات الغازية. أنتجت محاكاة بمعدل تدفق 0.98 كجم / ثانية قوة ميكانيكية قدرها 255.98 كيلو وات ، مما أدى إلى طاقة كهربائية قدرها 204.78 كيلو واط.

أخيرًا ، تقدم الأطروحة دراسات حالة وأمثلة ملموسة لمواقع هضم النفايات اللاهوائية ، مما يدل على كفاءتها وقدرتها على إنتاج الكهرباء. ويختتم بتسليط الضوء على الأهمية المتزايدة لهذه التكنولوجيا للإدارة المستدامة للنفايات والانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة.

الكلمات الدالة :

الهضم اللاهوائي ، الغاز الحيوي ، الطاقة المتجددة.

## Abstract

Anaerobic digestion is a biological process that breaks down organic matter in the absence of oxygen, producing biogas containing methane.

First the basic principles of anaerobic digestion and how it works, with an emphasis on the different stages of the process and the factors that influence the production of biogas. It also explains the environmental benefits of this technology

It presents the methods and models used to assess the amount of biogas produced from waste, taking into account parameters are also discussed.

Then it also examines the different technologies for converting biogas into electricity, such as gas engines, gas turbines, fuel cells and steam generators.

The GSP (Gas Turbine Simulation Program) software is used to model and study gas turbines. A simulation with a flow rate of 0.98 kg/s produced a mechanical power of 255.98 kW, which led to an electrical power of 204.78 kW.

Finally, the thesis presents case studies and concrete examples of anaerobic waste digestion sites, demonstrating their efficiency and their potential for electricity production. He concludes by highlighting the growing importance of this technology for sustainable waste management and the transition to renewable energy sources.

Key words :

Anaerobic digestion, biogas, renewable energy.

# Sommaire

# Sommaire

## Sommaire

Introduction générale .....	1
CHAPITRE I :LA PRODUCTION DU BIOGAZ A PARTIR DE LA DIGESTION ANAEROBIE .....	4
I-1- La digestion anaérobie.....	5
I-1-1- Les étapes .....	6
I-1-1-1-l'hydrolyse .....	6
I-1-1-2-L'acidogénèse .....	6
I-1-1-3-L'acétogénèse .....	7
I-1-1-4-La méthanogénèse.....	7
I-1-2- Les paramètres influençant la digestion anaérobie.....	8
I-1-2-1-La température .....	8
I-1-2-2-Le PH.....	9
I-1-2-3-Les acides gras volatils .....	9
I-1-2-4-L'humidité .....	9
I-1-2-5-La taille des particules .....	9
I-1-2-6-Taux de charge et temps de séjour .....	10
I-1-3-Les voies de la digestion anaérobie .....	10
I-1-4- Les technologies de la digestion anaérobie.....	12
I-1-4-1-En voie humide .....	12
I-1-4-2-En vois sèche .....	13
I-2-Le digesteur .....	15
I-2-1-Les types de digesteur.....	16
I-3-Le biogaz .....	18
I-3-1-Le traitement de biogaz .....	18
I-3-1-1-Enrichissement du biogaz.....	19
I-3-1-2-Odorisation du biogaz.....	19
I-3-1-3-L'épuration du biogaz.....	19
I-3-2-Stockage du biogaz.....	21
I-3-2-1-Le stockage sous terrain .....	22
I-3-2-2-Le gazomètre.....	24
I-3-2-3-Les réservoirs du biogaz Liquéfié .....	25
I-3-2-4-Les réservoirs du biogaz comprimé.....	25



# Sommaire

I-3-3-Valorisation de biogaz.....	26
I-3-3-1-La valorisation thermique.....	26
I-3-3-2-La valorisation électrique.....	27
I-3-3-3-Valorisation par alimentation au réseau.....	27
I-4Conclusion.....	27
CHAPITRE II : LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE.....	30
II-1-Les centres d'enfouissement.....	31
II-2-Le centre d'enfouissement technique de Tlemcen.....	31
II-3-Les déchets.....	33
II-3-1-Evaluation des déchets.....	33
II-3-2-Classification des déchets.....	34
II-3-2-1- Les déchets ménagers et assimilés.....	34
II-3-2-2- Les déchets industriels.....	34
II-3-2-3- Les déchets hospitaliers.....	34
II-3-2-4- Les déchets inertes.....	34
II-3-2-5-Les déchets fermentescibles.....	34
II-3-2-6- Déchets ultimes.....	35
II-3-2-7-Les boues.....	35
II-3-3-La gestion des déchets.....	35
II-3-3-1- La collecte.....	35
II-3-3-2- Le tri des déchets.....	36
II-3-3-3- Le traitement des déchets.....	36
II-4-Les impacts de l'étude.....	37
II-4-1-Impact environnementale.....	37
II-4-2-Impact soucieux économique.....	38
II-4-3- Impact académique.....	39
II-5- Conclusion.....	39
CHAPITRE III : LA PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DE LA DIGESTION ANAEROBIE DES DECHETS.....	42
III-1-Introduction.....	43
III-2-La production d'énergie électricité.....	43
III-3-Les différentes voies de la production d'électricité.....	44
III-3-1- Les énergies non renouvelable.....	44
III-3-1-1-L'énergie fossile.....	44

# Sommaire

III-3-1-2- L'énergie nucléaire .....	45
III-3-1-3- Les avantages et les inconvénients.....	46
III-3-2- Les énergies renouvelables .....	47
III-3-2-1- L'énergie éolienne .....	47
III-3-2-2-L'énergie solaire .....	48
III-3-2-3- L'énergie hydraulique .....	48
III-3-2-4-L'énergie géothermique .....	49
III-3-2-5- La biomasse.....	50
III-3-2-6- Les avantages et les inconvénients.....	51
III-4- Les équipement de la conversion électrique du biogaz .....	51
III-4-1-Moteur a combustion interne.....	52
III-4-2-Turbine à gaz.....	53
III-4-3-Turbine a vapeur .....	57
III-4-4-Moteur a combustion externe .....	59
III-4-5-Les piles à combustible .....	60
III-4-6-Cycle couplé.....	65
III-5-Conclusion .....	66
Chapitre IV : Estimation et simulation du potentiel énergétique de centre d'enfouissement .....	68
IV-1-Logiciel utilisé.....	69
IV-1-1-Définition.....	69
IV-1-2-Historique.....	70
IV-1-3-Les composants de logiciel .....	70
IV-2- Estimation des quantités de déchets au centres de Tlemcen.....	71
IV-3-Application du logiciel GSP12.....	72
IV-3-1-Résultats obtenus et interprétations .....	77
IV-3-2- L'analyse de l'effet de changement de débit de carburant sur la puissance produite .....	80
IV-3-3- Une analyse comparative entre les carburant .....	81
IV-4-Conclusion .....	82
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>84</b>

# Liste de figure

## Liste des figures

Figure 1: Schéma simplifiée sur la digestion anaérobie .....	5
Figure 2: Les trois principaux produits de la digestion anaérobie .....	6
Figure 3: Les étapes de fabrication du biogaz.....	7
Figure 4: La croissance des méthanogènes en fonction de la température .....	8
Figure 5: La méthanisation par voie sèche.....	10
Figure 6: La méthanisation par voie humide.....	11
Figure 7: Comparaison entre la méthanisation par voie humide et la voie sèche .....	11
Figure 8: Les technologies en voie humide .....	13
Figure 9: Les technologies en voie sèche .....	15
Figure 10: Schéma précis du digesteur .....	16
Figure 11: Les types de digesteur : En haut à gauche : digesteur à dôme fixe. En haut à droite : digesteur à dôme flottant. En bas : digesteur tubulaire en polyéthylène .....	18
Figure 12: Les méthodes de l'élimination du CO <sub>2</sub> .....	21
Figure 13: Stockage en cavité saline .....	22
Figure 14: Stockage en nappes aquifères.....	23
Figure 15: Stockage en cavité minée .....	24
Figure 16: Les gazomètres .....	25
Figure 17: Les réservoirs du biogaz Liquéfié .....	25
Figure 18: Les réservoirs du biogaz comprimé.....	26
Figure 19: Système de récupération du biogaz .....	32
Figure 20: Les bassins de lixiviat .....	33
Figure 21: Centrale thermique .....	45
Figure 22: La centrale nucléaire.....	46
Figure 23: Centrale électrique a biomasse .....	51
Figure 24: La classification des turbines a gaz .....	54
Figure 25: Turbine mono-arabe.....	54
Figure 26: Turbine bi-arabe .....	55
Figure 27: Turbine à cycle ouvert .....	56
Figure 28: Turbine à cycle fermé .....	56
Figure 29: Turbine à vapeur.....	58
Figure 30: Les turbines à action et réaction .....	59
Figure 31: La pile à combustible à membrane échangeuse de protons .....	62
Figure 32: La pile à combustible DMFC .....	62
Figure 33: La pile à combustible à acide phosphorique .....	63
Figure 34: Les piles à combustibles AFC .....	63
Figure 35: Les piles à combustibles MCFC.....	64
Figure 36: Les piles à combustibles SOFC .....	65
Figure 37: Présentation de logiciel GSP 12 .....	70

## Liste de figure

Figure 38:Les composants du logiciel .....	71
Figure 39:La quantité des déchets pour chaque région[3].....	71
Figure 40: Modèle de la turbine a gaz dans le GSP 12.....	72
Figure 41:L'entrée de la turbine a gaz sur GSP12 .....	73
Figure 42: Fenêtre de compresseur.....	73
Figure 43:Fenêtre de la chambre de combustion.....	74
Figure 44:Le choix du carburant utilisé dans la chambre de combustion .....	75
Figure 45:Les caractéristiques d'entrée de la turbine .....	76
Figure 46:Les caractéristiques de sortie de la turbine .....	76
Figure 47:La fenêtre d'échappement .....	77
Figure 48:Résultats obtenus de la simulation .....	78
Figure 49:Rapport des résultats.....	79
Figure 50:Le contrôleur de débit de carburant.....	80
Figure 51:L'effet de changement du débit sur la puissance produite.....	80
Figure 52:La puissance produite en fonction de débit de carburant.....	81
Figure 53:Le rapport comparatif entre les différents types de carburant.....	82

# **Introduction générale**

# Introduction Générale

## Introduction générale

En Algérie, la pollution des sols, l'air et l'eau par des déchets municipaux, agricoles et industriels est en augmentation de jour en jour. Ceci provoque des impacts négatifs et des risques sur l'environnement et sur la santé de la population par la création des polluants. Cela encourage les industries et le gouvernement à rechercher des solutions technologiques et innovants qui permettent un traitement idéal et moins chers des déchets.[1]

Une des technologies permettant le traitement de ces déchets est la digestion anaérobie, cette dernière, présente une méthode de valorisation des déchets, par l'augmentation de production de biogaz qui est une source d'énergie renouvelable qui peut être utilisé dans la production d'électricité et de la chaleur.[1]

La digestion anaérobie ou bio méthanisation, est un processus biologique de la dissociation de la matière organique qui se déroule sans oxygène et qui génère à la fois, du biogaz qui est un mélange de méthane  $CH_4$  et de dioxyde de carbone  $CO_2$ , c'est un carburant renouvelable convertible en énergie, et un résidu solide valorisable appelé digestat. [2]

Une grande diversité de déchets biodégradables peut être utilisée dans les installations de digestion, tel qu'un déchet correspond à toute substance, produit ou matériau qui a été jeté ou abandonnée parce qu'ils n'ont plus d'usages spécifiques, il existe plusieurs types de déchets qui dépend de leur origine et leur nature qui sont : des déchets urbains, industriel et agricole. [2,3]

L'élimination et le traitement des déchets permettent de produire de l'électricité, de plus l'électricité est devenue une partie intégrante dans notre vie quotidienne, en effet, la disponibilité de l'électricité soutient la prestation des services essentiels en apportant la lumière dans les écoles, les foyers et la sécurité sanitaire. [2, 3]

Actuellement, l'explosion démographique urbaine et les besoins de l'homme sont en évolution cela entraînent des augmentations dans la consommation électrique.

Il existe plusieurs voies de production d'électricité notamment, les centrales nucléaires, les centrales hydro-électrique, les centrales géométriques, l'énergie photovoltaïque, les éolienne et les centrales thermiques qui fonctionnent à base des sources naturelles gaz , fioul ou charbon, à partir de ces sources on obtient une vapeur qui entraîne une turbine couplée à un alternateur qui transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique, puis en énergie électrique par une génératrice .[4]

les voies de production d'énergie électrique citées précédemment dépendent des sources renouvelables et fossiles qui engendrent plusieurs problèmes et inconvénients parmi ces contraintes les énergies fossiles provoquent des émissions de produits polluants et l'augmentation des gaz à effet de serre ,notamment pour les sources renouvelables qui sont intermittentes et un cout d'investissement cher avec un rendement très faible contrairement à la digestion anaérobie qui produit du biogaz qui participe à la production d'électricité ,il permet de diminuer les besoins en énergies fossiles , il réduit les émissions de gaz à effet de serre ,il aide à diminuer la pollution atmosphérique et il permet de réduire les risques du réchauffement

## Introduction Générale

et du changement climatique, de plus il a un cout de traitement très faible et une source primaire gratuite et inépuisable. [3] [5]

Dans ce travail, on souhaite faire une estimation du potentiel de production d'énergie électrique par la digestion anaérobie des déchets à Tlemcen.

Ce mémoire est réparti en quatre chapitres, en plus d'une introduction et une conclusion générale, le premier chapitre présente la production du biogaz à partir de la digestion anaérobie nous y présenterons des généralités et notions fondamentales sur la digestion anaérobie et le biogaz ainsi sa valorisation et les méthodes de stockage. Le deuxième chapitre consiste une large présentation sur le centre d'enfouissement technique. Le troisième chapitre concerne une présentation générale des différentes sources d'énergie, à savoir les énergies fossiles et renouvelables, ainsi qu'une explication des différentes techniques permettant de produire de l'électricité de ces dernières, en parlant bien-sûr de leurs avantages et inconvénients. Enfin le dernier chapitre consacré à une simulation d'une turbine à gaz ainsi qu'aux résultats obtenus et discussions.

# Introduction Générale

## Listes des références de l'introduction

1. MLOUKI, I., A. AISSAOUI, and M.E.A. DAHOU, L'effet de prétraitement chimique alcalin par KOH sur la production du biogaz à partir des boues de la station de lagunage de la ville d'Adrar. 2017, Université Ahmed Draia-ADRAR.
2. Kihal, M., Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf (Tlemcen. 2015.
3. Laskri, N., O. Hamdaoui, and N. Nedjah, Digestion Anaérobie De La Matière Organique Fermentescible D'une Décharge Publique Et Production Du Biogaz.
4. N DIAYE Papa Amadou, K.A., Production d'énergie électrique à partir d'un système photovoltaïque. 2019.
5. KHERBOUCHE, D., Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse. 2011.



# **CHAPITRE I :LA PRODUCTION DU BIOGAZ A PARTIR DE LA DIGESTION ANAEROBIE**

### I-1- La digestion anaérobie

La digestion anaérobie est un procédé complexe ou bien c'est un résidu organique d'activités agricoles, industrielles ou urbaines, c'est un mode de recyclage dans le cadre de la transition énergétique qui transforme la matière organique en biogaz, en digestat et l'eau.[1]

Cette opération se déroule à l'intérieur d'une cuve cylindrique et hermétique que l'on appelle méthaniseur ou digesteur en absence d'oxygène, et avec la chaleur fournie par le chauffage dans des conditions précises pour activer l'opération et soumis à une action micro-organismes (en présence des bactéries de type méthanogènes) qui vont aider à la dégradation de la matière.

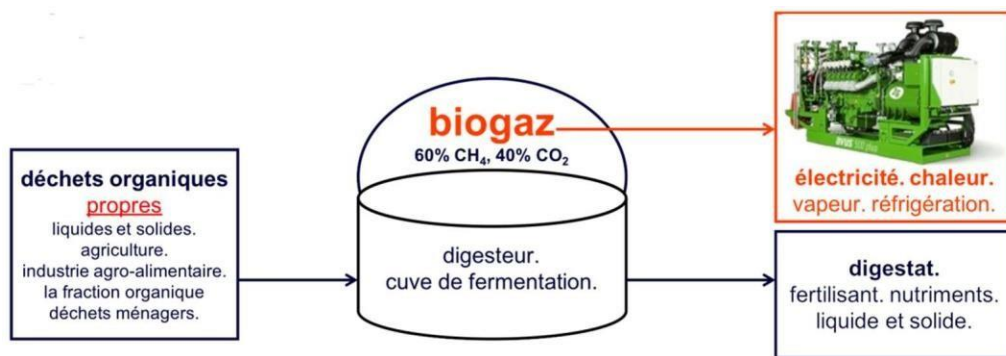


Figure 1: Schéma simplifiée sur la digestion anaérobie[1]

Le biogaz qui se compose du méthane, dioxyde de carbone, l'eau, sulfure d'hydrogène, ammoniac et azote avec des pourcentage différente et variable afin de produire de l'énergie

Le reste de la matière organique qui se trouve dans le digesteur va être pressé pour donner le digestat et de l'eau qui va être transmise vers des réservoirs. Il va être filtrés en donnant l'eau excédentaire afin de les utiliser dans le domaine agricole.



Figure 2: Les trois principaux produits de la digestion anaérobie[2]

### I-1-1- Les étapes

La dégradation anaérobie est décrite par quatre étapes : l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse, chacune de ces étapes produit des sorties qui deviendront des entrées de l'étape suivante jusqu'à la fabrication du biogaz.

#### I-1-1-1-l'hydrolyse

Les matières organiques contenues dans les déchets alimentaires sont généralement constituées de carbohydrates (cellulose, hémicellulose, amidon...), de protéines et de lipides (graisses et huiles).[1, 2]

Au cours de cette étape les molécules organiques complexes sont décomposées ou hydrolysées en éléments plus simples qui sont les sucres simples, acides aminés, acides gras et osides en ajoutant des bactéries hydrolytiques, ils ont un type anaérobie de métabolisme strict ou facultatif [1]

La lipolyse est la dégradation des lipides qui libère du glycérol et des acides, ensuite Le glycérol est rapidement absorbé par les microorganismes. L'hydrolyse des protéines libère des polypeptides et des acides aminés. La cellulose et les hémicelluloses sont hydrolysées en leurs monosaccharides constitutifs (glucose, fructose, arabinose, ...)

Le processus d'hydrolyse est une étape limitante dans la digestion anaérobie des matériaux complexes par rapport aux autres étapes.

#### I-1-1-2-L'acidogénèse

Les composants hydrolysés peuvent ensuite alimenté une flore bactérienne qui s'appelle les bactéries fermentatives, Qui vont transformer ces molécule organique en acides organiques (lactates et propionate) et en composés neutre (alcools et glycérol), ainsi que une petit quantité du

Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie  
gaz carbonique et hydrogène .[1, 2]

# Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Il progresse généralement rapidement en raison de la croissance rapide des bactéries impliquées.

## I-1-1-3-L'acétogénèse

Elle contient l'ensemble des réactions, d'une part il excite une flore bactérienne qui est des bactéries acétogènes qui convertit les acides organiques et les composés neutre en acétate, gaz carbonique et hydrogène, d'autre part des bactéries homoacétogènes transfère l'hydrogène et le dioxyde de carbone en acétate [1, 2]

## I-1-1-4-la méthanogénèse

C'est la dernière étape de la méthanisation, elle permet la fabrication du biogaz a partir de l'hydrogène , le dioxyde de carbone et acétate. Les bactéries existe dans cette étape sont les bactéries méthanogènes acétoclastiques réagit avec l'acétate et les bactéries méthanogènes hydrogénophiles utilisant l'hydrogène et le dioxyde de carbone afin de produire du biogaz qui se compose du méthane, le dioxyde de carbone et des composants avec faible pourcentage qui sont l'hydrogène , ammoniac et sulfure d'hydrogène [1]

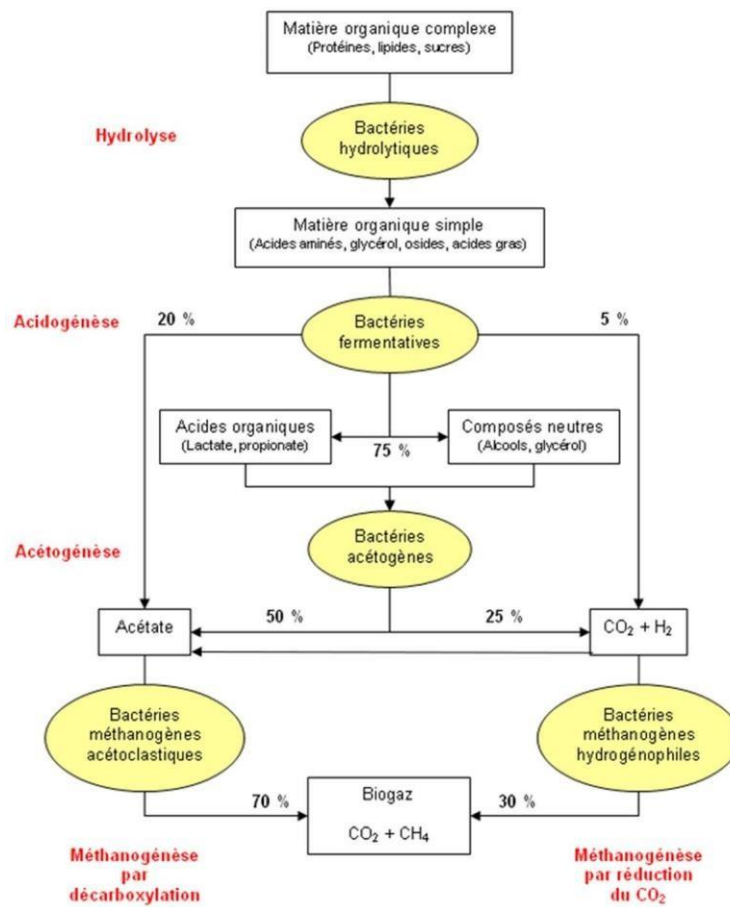


Figure 3: Les étapes de fabrication du biogaz[3]

## I-1-2- Les paramètres influençant la digestion anaérobie

La digestion anaérobie ne déroule qu'en manque d'oxygène et grâce à l'ensemble des bactéries qui s'ont des conditions de vie essentielle à leur survie.

Bien que d'autres paramètres conditionnent les performances de ce procédé et par suite la quantité de biogaz qui peut être produite, parmi ces paramètres : la température, le Ph...

### I-1-2-1-La température

Elle a des effets importants sur les réactions de la digestion anaérobie, tel que l'augmentation de la température modifie les voies métaboliques et les activités des bactéries, ce dernier se développe entre 10 et 65 °C. [2]

La méthanisation se déroule dans trois gammes de température :

Dès que la température est inférieure à 15°C, la digestion est de type psychrophile qui est peu connu mais il est couramment utilisé dans les milieux tempérés et les régions hautes altitude. Ce type se produit lorsqu'il n'y a pas de chauffage du réacteur et il se produit également naturellement dans tous les réservoirs d'eaux usées liquides contenant des matières organiques.[1]

Dès que la température est entre 30 et 40 °C la digestion est de type mésophile qui se produit a dés température moyenne, il est le plus courant dans des processus de digestion anaérobie car il utilise moins d'énergie pour faire fonctionner le système digestif et fournit des conditions plus stables, contrôlables et permet d'obtenir d'excellents rendements digestifs.[1]

Lorsque la température est supérieure à 45°C, la digestion est thermophile la méthanogénèse est plus rapide dès que l'activité bactérienne augmente, de plus cette zone est souvent utilisée pour la méthanisation des ordures ménagères. Ces températures aident à inactiver les agents pathogènes et à accélérer la production de biogaz.

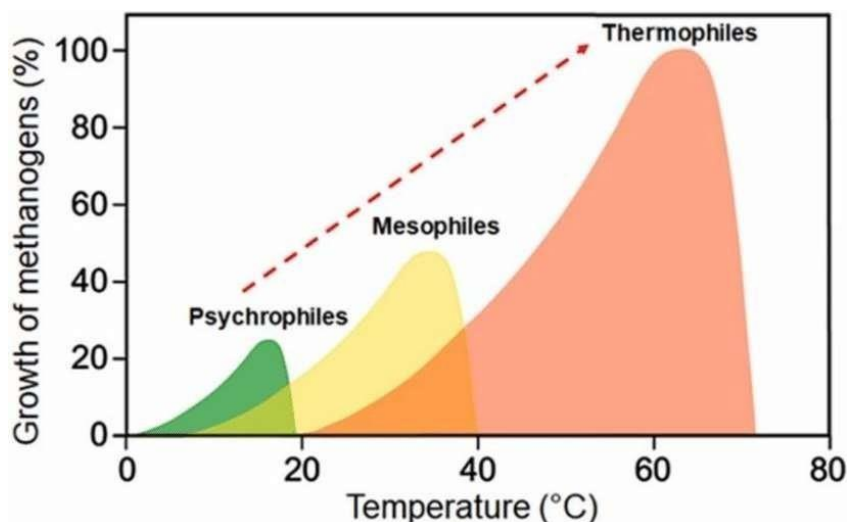


Figure 4:La croissance des méthanogènes en fonction de la température[4]

### **I-1-2-2-Le PH**

Le pH joue un rôle important dans les fonctions biochimiques et physicochimiques des milieux digestifs anaérobies. Les bactéries anaérobies sont sensibles aux fluctuations de pH. Un contrôle rigoureux de ce paramètre est essentiel au bon fonctionnement du digesteur alors pH optimal pour les bactéries hydrolysantes et acidogènes se situe entre 5,5 et 6,5, tandis que le pH optimal pour les acétogènes est plus proche de la neutralité et les méthanogènes ont une activité optimale entre pH 6 et 8.[1]

Dans le cas d'une accumulation d'acides gras volatils (AGV) pendant la surcharge Dans le réacteur, la valeur du pH chute rapidement à des valeurs inférieures à 5,0, entraînant une inhibition du processus de méthanisation, donc l'ajout de soude ou de chaux à la boue fraîche épaissie ou directement au fermenteur permet de maintenir le pH.[2]

D'autres cas les valeurs de pH supérieures à 7,5 causées par l'accumulation d'ammoniac présentent un risque d'inhibition microbienne et de précipitation de composés minéraux.

### **I-1-2-3-Les acides gras volatils**

Des concentrations élevées d'acides gras volatils peuvent être attribuées non seulement à la toxicité spécifique des acides, mais aussi à la baisse de pH que leurs concentrations provoquent. De plus les concentrations élevées en AGV sont plus probablement d'un résultat du déséquilibre dans la digestion anaérobie (provoqué par un changement de température, la présence de toxique, une surcharge organique) alors les AGV deviennent plus toxiques dans ce cas.[1]

### **I-1-2-4-L'humidité**

La présence d'humidité est essentielle à toute activité biologique et aussi la présence d'eau a une grande quantité est importante dans la méthanisation .En particulier la croissance et le développement des populations microbienne nécessite un minimum de 60 à 70 % d'humidité. De plus le taux de dilution est un facteur favorable, lors de son augmentation entraîne une augmentation significative de la quantité de biogaz produit.[2]

### **I-1-2-5-La taille des particules :**

La matière organique a une forme très hétérogène, mais ses particules diffèrent également par leur taille. Cette taille affecte le processus de méthanisation.[1]

Une taille trop importante rend difficile la fragmentation de la matière organique dans l'étape d'hydrolyse, ralentissant l'évolution des étapes suivantes.

La taille minimale donne aux particules une surface plus appropriée pour l'exposition aux bactéries lors de la transformation de la matière organique

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Il n'y a pas de taille spécifique de particules pendant le processus de digestion anaérobie. En effet, cela dépend directement des conditions de fonctionnement du digesteur utilisé. Basé sur des références techniques existantes.

### I-1-2-6-Taux de charge et temps de séjour

Ce sont deux paramètres qui sont toujours analysés ensemble car ils sont corrélés. Le taux de chargement indique la quantité de substrat introduit dans le fermenteur par unité de temps. Le temps de séjour est le temps pendant lequel la matière organique reste dans le fermenteur.

Le nombre de bactéries issues du processus de méthanisation commence à doubler environ 10 jours après l'introduction du substrat dans le fermenteur. Cela suggère que la matière organique doit rester dans le fermenteur pendant un minimum de temps pour permettre la formation de méthane, ainsi la production est proportionnelle à la quantité des matières organiques.[1]

### I-1-3-Les voies de la digestion anaérobie

Il existe deux techniques pour méthaniser les déchets en fermenteurs et les valoriser pour produire du biogaz : méthanisation par voie sèche (discontinue) et méthanisation par voie humide (infiniment mélangée).

- La méthanisation par voie sèche est aussi appelée méthanisation discontinue, elle existe depuis plusieurs années, elle est adaptée aux sédiments de substrats suffisant de 20 à 40% de matière sèche traitée dans les digesteurs qui sont nommés (garages-digesteurs), de plus pour chaque unité de digesteur utilise des différents substrats. Elle fonctionne à température en régime mésophile avec une électricité faible à cause d'absence d'équipement de pompage ou de brassage, cette voie a besoin de peu de maintenance. Mais cette technique a un risque très important lors de l'ouverture des digesteurs, ainsi un temps de fermentation élevé entre 6 à 8 semaines, elle nécessite une gestion d'évaluation de production de biogaz et de chaleur, de plus elle occupe une surface importante du sol. Cette installation par voie sèche nécessite un coût très élevé. [3]



**Figure 5: La méthanisation par voie sèche[4]**



## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

- La méthanisation par voie humide est aussi appelée infiniment mélangée, c'est la plus fréquemment employée, elle donne une production élevée et constante de biogaz à cause d'une meilleure dégradation de la matière organique et aussi elle a un brassage optimal. Cette installation a un coût d'exploitation et d'investissement moins élevés par rapport à la méthanisation par voie sèche. Néanmoins, cette technique réutilise 20 à 30% de la chaleur produite, de plus elle a besoin d'une énorme quantité d'énergie pour entraîner les pompes. Et le système par voie humide a besoin d'un ajout de liquide pour diminuer la matière sèche du mélange et le bon fonctionnement du digesteur. [4]



Figure 6: La méthanisation par voie humide [5]

Critère de comparaison	Voie liquide	Voie sèche
Matière entrante	Maximum 20% de Matière Sèche	<u>20 à 40% de Matière Sèche</u>
Consommation en eau	Dilution parfois nécessaire	Renouvellement du percolat
Stabilité du process	Plus facile d'intervention en cas de dysfonctionnement biologique	<u>Gestion en parallèle de plusieurs digesteurs</u>
Besoin en chaleur	20 à 30 % de la chaleur produite	Moindres sur les installations bien isolées
Besoin en électricité	Pompes, brasseurs et incorporeurs	Faibles
Besoin en fuel	Rien Eventuellement si moteur dualfuel	Rien Eventuellement si moteur dualfuel
Digestat	Pompable	Manipulable au chargeur
Besoin en main d'œuvre	Automatisation possible	Important pour les chargements déchargements
Production de Biogaz	Production linéaire	Production séquencée dans le temps
Sécurité	Phase de démarrage = période à risque	Chargement/déchargement = période à risque

Figure 7: Comparaison entre la méthanisation par voie humide et la voie sèche [4]

## I-1-4- Les technologies de la digestion anaérobie

### I-1-4-1-En voie humide

Les réacteurs à cellule libre : sont des installations utilisées en l'absence de tout support solide ou matrice de rétention dans la cuve, tel que les déchets organiques sont maintenus en suspension dans des réacteurs à mélange infini pour réaliser la transformation microbienne. La biomasse est souvent recyclée après séparation liquide-solide si le séparateur utilise un décanteur, on parle alors de "réacteur à contact".

Le jus méthané est recyclé vers le bioréacteur, augmentant la concentration en biomasse active et le temps de séjour des particules non dégradées. Si la séparation comprend une membrane d'ultrafiltration, le réacteur devient un bioréacteur à membrane, ce qui peut augmenter considérablement la quantité de micro-organismes retenus dans le réacteur, permettant ainsi une charge plus élevée. Il a un taux élevé de réduction de la pollution par les matières organiques (plus de 90%). (Figure a)[5]

- Les réacteurs à lit fixe : Les réacteurs à lit fixe utilisent de la biomasse qui est fixée sur un support garni, a une structure ordonnée ou est introduite dans le réacteur sous forme de matériau en vrac. Les bactéries se développent sur ces supports sous forme de biofilms, qui offrent une excellente résistance aux perturbations (coups de charge, coupures...) et une haute résistance aux agents toxiques. Le flux peut être ascendant ou descendant. Des charges de 8-12 kg DCO/(m<sup>3</sup> j) peuvent être atteintes en moyenne avec ce type de réacteur, avec des rendements plus élevés en flux descendant. Ces réacteurs sont adaptés à la méthanisation de déchets liquides, contenant majoritairement des matières organiques sous forme soluble, pour éviter le colmatage. Pour limiter ce phénomène, il est également possible de mettre en place un système d'assouplissement des supports par recirculation du biogaz produit sous pression. Cependant, il est déconseillé de l'utiliser de ce type de réacteur pour les effluents riches en matières en suspension (> 5 g/L). (Figure b)[6]

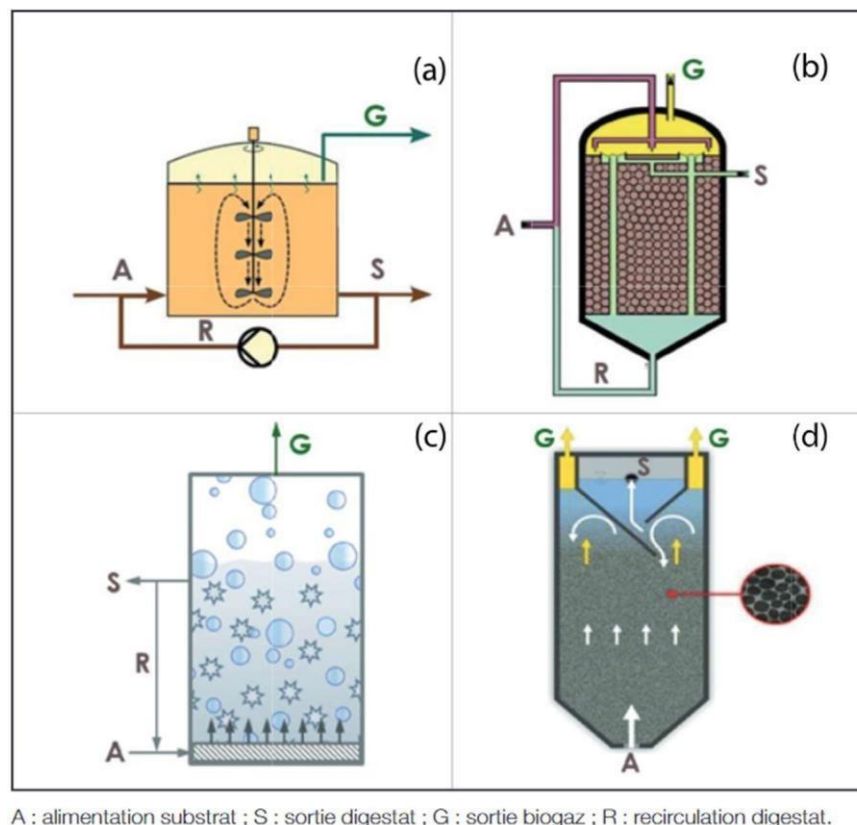
- Les réacteurs à lit fluidisé : Les réacteurs à lit fluidisé utilisent un support mobile constitué d'un matériau particulaire ou d'un ensemble d'éléments mobiles spécifiques qui sont déplacés soit par un écoulement d'eau, soit par du biogaz. Les réacteurs à lit fluidisé peuvent être ascendants ou descendants et peuvent recevoir des lits triphasés inversés ou turbulents. Le flux entrant perturbe le support mobile et crée un milieu uniforme qui permet un contact optimal entre le micro-organisme et le substrat. La mobilité du support le rend moins sensible au colmatage et améliore l'activité biologique des biofilms doit avoir une densité supérieure à 1 pour introduire Pour un écoulement descendant, la densité des porteurs utilisés doit être inférieure à 1. Ce type de procédé est adapté au traitement des eaux usées à forte teneur en matières en suspension (> 10 g/L). La capacité de charge moyenne est de 12-15 kg DCO/(m<sup>3</sup>.j), mais l'afflux doit être parfaitement maîtrisé pour assurer une suspension suffisante et uniforme du support. (figure c)[7]

- Les réacteurs à lit de boues (UASB) : également appelés réacteurs UASB, sont basés sur la capacité des micro-organismes anaérobies à former des granulés facilement décan tables. C'est à dire

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

un biofilm autoportant suffisamment grand et dense pour ne pas être emporté même si la vitesse de l'eau traitée est augmentée de 1 à 2 m/h.

Le flux ascendant permet au lit de boues d'être suspendu et mélangé uniformément. Le système doit être équipé d'un séparateur triphasique sur le dessus pour séparer le biogaz produit, les granulés et l'eau purifiée. Le démarrage de ce type de réacteur est généralement long car il faut augmenter progressivement la charge pour favoriser cette granulation. De plus, le système réagit avec sensibilité aux surcharges et sous-charges à long terme. De plus, l'étape d'acidification doit être effectuée dans un réservoir séparé, car un excès de bactéries productrices d'acide inhibera la granulation. Ces technologies dérivées permettent de traiter 12 à 18 kg DCO/(m<sup>3</sup> · j). (figure d)[8]



**Figure 8: Les technologies en voie humide[6]**

### I-1-4-2-En vois sèche

La fermentation sèche est une technique qui permet de conserver le résidu intact sans ajouter de l'eau. La teneur en matière sèche est typiquement de 20 à 40 %, ce qui rend le milieu de fermentation semi-solide au lieu de solide, avec peu d'eau libre. Comme dans le cas des technologies utilisées en voie humide, les technologies disponibles en voie sèche sont :

- Les réacteur verticaux : Les réacteurs verticaux sont couramment utilisés pour traiter la fraction organique des déchets ménagers. La circulation au sein du réacteur est assurée par recyclage du digestat ou par recyclage du biogaz produit sous pression. Comme déjà mentionné, ce type de technologie

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

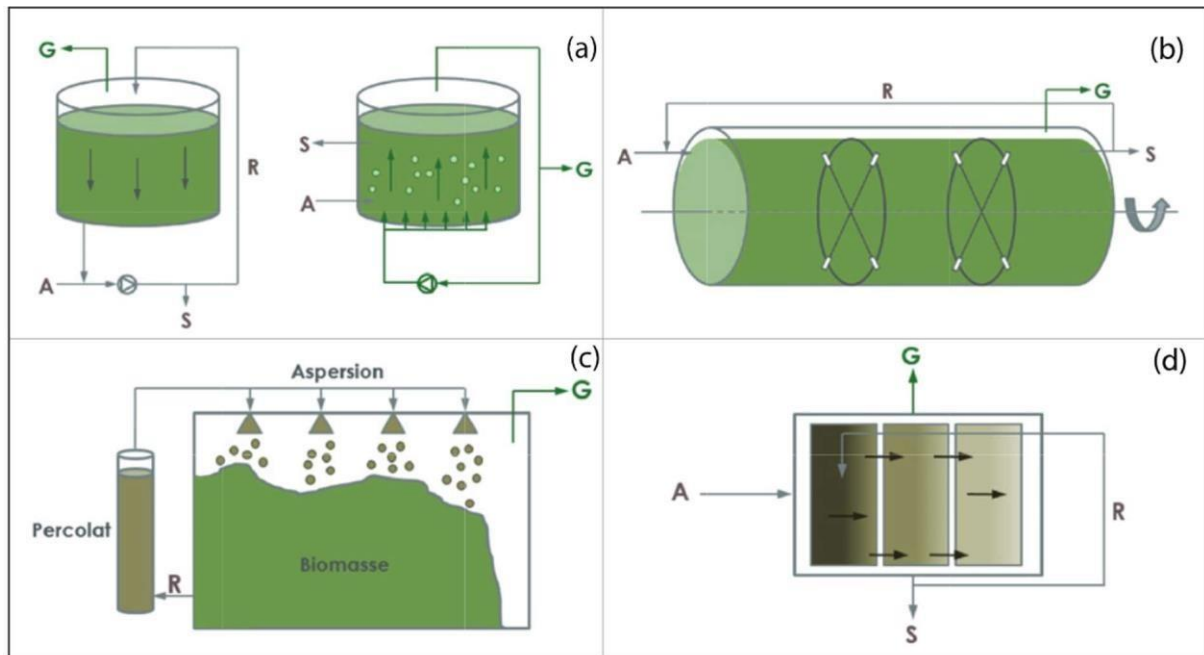
permet l'utilisation de substrats avec une teneur en matière sèche de 20 à 40 %. La charge admissible est de 8-10 kg MO/(m<sup>3</sup> j). Cette méthode présente l'avantage d'utiliser des substrats bruts sans ajout d'eau, mais il est souvent difficile d'obtenir une homogénéité au sein du méthaniseur. De plus, de grands gradients de température peuvent exister dans le méthaniseur. (figure a)[9]

- les réacteur horizontaux : Dans un réacteur à écoulement piston horizontal, les substrats entrant dans le réacteur poussent contre les substrats déjà en place pour assurer une progression régulière du matériau à travers le réacteur. La rotation de l'arbre vertical à pales assure l'enroulement du résidu.

Ce type de technologie permet également l'utilisation de substrats avec une teneur en matière sèche de 20 à 40 % sans ajout d'eau. Le fonctionnement est continu, mais comme pour les réacteurs verticaux, l'homogénéité est souvent difficile à atteindre et des gradients de température importants peuvent se produire au sein du méthaniseur, c'est la technologie retenue par Vinci.(figure b)[9]

-les méthaniseur batch à percolation : Les méthaniseurs discontinus à percolation sont utilisés pour traiter la fraction organique des ordures ménagères, notamment les déchets à forte teneur en matière sèche supérieure à 40%. Les digesteurs discontinus se remplissent au fur et à mesure que les déchets sont produits et sont fermés lorsqu'ils sont pleins. Les déchets solides sont pulvérisés avec un percolât chauffé riche en bactérie qui agit comme un inoculum pour l'ensemencement. Après la fin de la digestion anaérobie plusieurs semaines, la matière digérée est extraite en une seule fois. Ce type de système nécessite l'installation de plusieurs méthaniseurs en parallèle pour obtenir un traitement régulier du substrat et une production stable de biogaz. (figure c)[10]

- La méthanisation en cellules : Il s'agit de procédés de méthanisation à grande échelle, impliquant des procédés où la simplicité de conception prime sur l'efficacité du traitement. A l'extrême, le processus le plus poussé est l'enfouissement, où le temps de décomposition des déchets est d'environ 20 ans. Il est enfoui dans des alvéoles pré-équipées et permet 3-4 ans d'exploitation minière, suivie d'une minéralisation et d'une valorisation des déchets après forage et tri. Pour une bonne efficacité du procédé, les étapes de prétraitement (broyage, homogénéisation, etc.) sont importantes et une recirculation des lixiviats doit être mise en place pour réensemencer les déchets entrants et le biogaz est récupéré pendant la période de décomposition. (figure d)[10]



A : alimentation substrat ; S : sortie digestat/lixiviate ; G : sortie biogaz ; R : recirculation jus.

**Figure 9: Les technologies en voie sèche[4]**

### I-2-Le digesteur

Le digesteur est appelé aussi fermenteur ou bioréacteur anaérobie, Il y'a plusieurs formes : cylindrique, ovoïde ou bien continental, généralement il est construit en béton ou en acier. il est constitué d'une cuve fermée qui empêche l'entrée de l'air et bien isolé thermiquement de son extérieur ce qui permet aux microorganismes de se dégrader biologiquement et chimiquement, ces matières organique restent quelques jour leurs digestion .Par ailleurs le digesteur est constitué de plusieurs système parmi eux il existe un système de chauffage qui est garanti par un réseau de chaleur , d'un système de mesure de teneur en gaz, d'un système de prélèvement et de dispositifs permettent le contrôle de différents paramètres comme la température et le pH , et enfin un système d'agitation est un élément essentiel car il homogénéise la masse fermentaire et améliore le contact de la matière et la bactérie. De plus, il favorise l'uniformité de la température et empêche la matière de se déposer au fond du fermenteur ou de former une croûte à la surface.

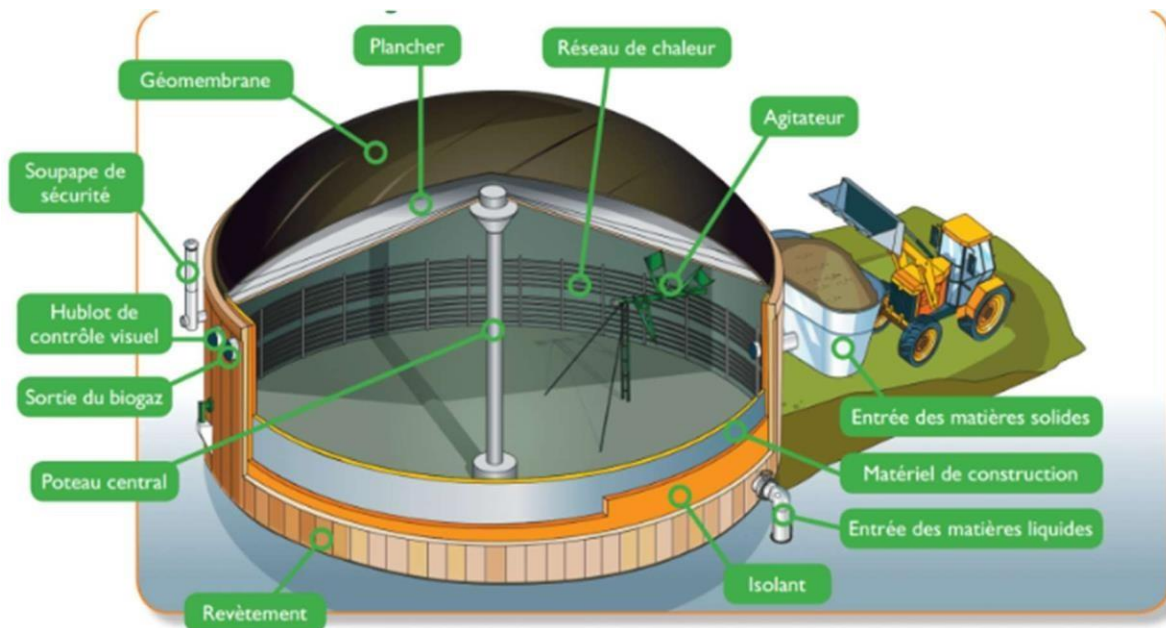


Figure 10: Schéma précis du digesteur[7]

### I-2-1-les types de digesteur

Le choix du fermenteur est en fonction du type de déchets à traiter et de l'utilisation prévue, la classification du digesteur dépend de :

a- Le mode de l'alimentation : discontinu, semi-continus ou continu ;

-Le mode discontinu :

Il présente l'avantage d'une construction simple, d'une simplicité très technique, le mode de fonctionnement consiste à remplir le fermenteur de matière organique et à le faire fermenter, en fin de fermentation le digestat est évacué et le processus peut être relancé. Ils sont avantageux pour le traitement des déchets solides tels que le fumier, les résidus agricoles ou les ordures ménagères. La production de biogaz n'est pas régulière.

Au début du cycle, la production de biogaz est lente, puis s'accélère, atteignant un taux maximum à mi-parcours du processus de décomposition, et finalement décroissant dans le cycle ne laissant que les éléments non digestibles dans le fermenteur.

-Le mode continu :

Dans ce type, l'introduction de matière est continue. Par conséquent, Les substrats introduits sont dégradés et transférés soit sous la pression soit mécaniquement sous forme de résidus de fermentation, de plus la quantité de matière quitte le fermenteur avec la même quantité de matière alimenté

La biomasse doit être prétraitée pour l'adapter aux conditions de fonctionnement du réacteur. Ce prétraitement du substrat consiste à ajuster la taille de ses particules et à éliminer la matière

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

inorganique pour assurer son mouvement lors de la méthanisation. Le prétraitement est utilisé des équipements tels que des broyeurs et des mélangeurs.

Le débit de substrat et le taux de chargement dans le fermenteur sont également continus, ce qui entraîne une production constante de biogaz .

-Le mode semi continu :

Le digesteur est graduellement chargé de matières successives à des intervalles appropriés dans le temps, ainsi il atteint sa capacité effective et se vide lorsque la production de biogaz n'est plus suffisante.

b- Le type de substrat : solide, semi solide ou liquide ;

c- Le nombre d'étapes : mono ou bi étapes

-En mono-étape :

Les étapes de la fermentation se déroulent de la même phase en utilisant des substrats environ jusqu'à 40% de la méthanisation par voie sèche, de plus ce procédé est appliqué dans le mode discontinu et continu.

-En bi-étapes :

Dans ce procédé, la digestion se déroule dans 2 étapes, dans la première étape le digesteur est responsable de séparer la phase d'hydrolyse et l'acidogène et dans la 2 étape se déroule la méthanogène. L'avantage de ce système les solides sont décomposés en quelques jours. Cette séparation de phase réduit le risque d'empoisonnement cellulaire méthanogène lié à la présence d'acides gras volatils si l'étape acidogène n'est pas totalement achevée.

-Les typer de digesteur

Digesteur à dôme fixe :

Les digesteur dômes fixes, le volume du fermenteur est constant. Au fur et à mesure que le gaz est produit, il crée une pression et déplace la suspension dans la chambre d'expansion. En ouvrant la vanne de la ligne de biogaz, le gaz sous pression est libéré et les boues montent dans la cuve de fermentation.

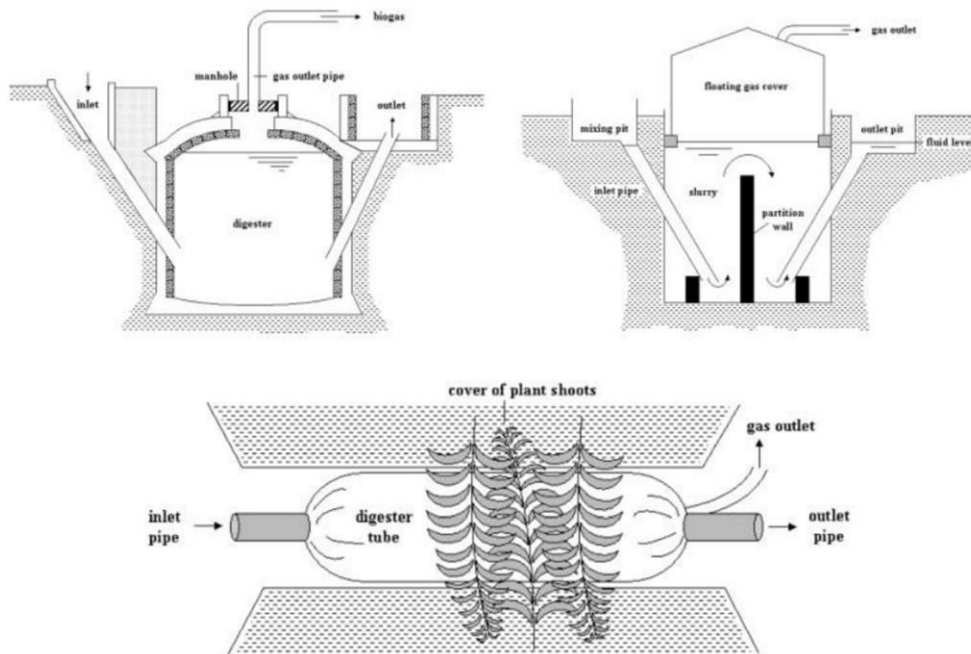
Les digesteurs à dôme flottant :

Les fermenteurs à dôme flottant soulèvent et abaissent le dôme au fur et à mesure que le gaz est produit et extrait. Le dôme peut également se dilater. Le temps de séjour hydraulique dans le réacteur doit être d'au moins 15 jours en climat chaud, 25 jours dans le climat tempéré et 60 jours pour les effluents hautement pathogènes. Les fermenteurs à dôme flottant réduisent également la quantité de déchets organiques envoyés dans les décharges. Contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Digesteur tubulaire :

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Un digesteur à tubes en polyéthylène est un type de système de digestion anaérobie utilisé pour convertir les déchets organiques en biogaz pouvant être utilisé pour produire de l'électricité. Les fermenteurs sont constitués de cuves tubulaires en plastique polyéthylène haute densité (PEHD) durable, léger et résistant à la corrosion. Les conteneurs sont généralement creusés dans le sol et remplis de déchets organiques tels que des excréments d'animaux et des restes de nourriture.. Les digesteurs tubulaires en polyéthylène sont largement utilisés dans les zones rurales pour générer de l'énergie à partir des déchets agricoles, mais peuvent également être utilisés dans les zones urbaines pour traiter les déchets alimentaires et autres matières organiques.



**Figure 11: Les types de digesteur : En haut à gauche : digesteur à dôme fixe. En haut à droite : digesteur à dôme flottant. En bas : digesteur tubulaire enpolyéthylène.[7]**

### I-3-le biogaz

Le biogaz est un gaz le plus souvent formé à partir de la méthanisation d'éléments organique sous l'action micro-organismes et en absence d'oxygène, ces déchets sont des déchets banals et biodégradable. Il est composé globalement de méthane et du dioxyde de carbone, il contient des impuretés comme l'eau, sulfure d'hydrogène, ammoniac et azote.

Tel que le biogaz est un élément frais et un combustible renouvelable qui peut être utiliser pour produire de l'énergie électrique et de la chaleur grâce à un système de cogénération.

#### I-3-1-Le traitement de biogaz

Le traitement est un procédé de nettoyage des composants dangereux, il est composé de trois étapes [11]



### **I-3-1-1-Enrichissement du biogaz**

Il existe plusieurs façon d'enrichissement, parmi eux la methode de contre-lavage avec eau sous pression. Cette méthode a une meilleure flexibilité possible pour le traitement du biogaz, indépendamment de sa qualité et de sa quantité.

Le biogaz est comprimé à 7 bars et lavé dans une colonne de lavage à contre-courant d'eau. Le dioxyde de carbone et le sulfure d'hydrogène sont beaucoup plus solubles dans l'eau que le méthane afin qu'il se dissolvent.

L'eau de lavage est introduite dans le vase d'expansion pour réduire les pertes de méthane au cours du processus. Une partie du gaz dissous peut être à nouveau gazéifiée et à nouveau comprimée.

Dans la colonne de désorption, l'eau de lavage est régénérée par séparation à contre-courant du dioxyde de carbone et du sulfure d'hydrogène pour minimiser la consommation d'eau douce.

Cette méthode résulte un biogaz propre qui sèche, afin d'être utilisé dans d'autres domaines.

De plus cette technologie contient plusieurs avantages :

La station est constituée de modules standard de différentes capacités et faciles à installer, elle ne consomme aucun produit chimique et nécessite aucune désulfuration préalable, de plus elle élimine le CO<sub>2</sub> du biogaz et permet de récupérer 99% du méthane.

### **I-3-1-2-Odorisation du biogaz**

Le gaz dans le réseau doit avoir une odeur car cette odeur permet de contrôler la détection lors des fuites. Elle se fait avant l'injection du tétrahydrothiophène.

### **1-3-1-3-L'épuration du biogaz**

Purification du biogaz pour éliminer tous les éléments, qui s'ont des traces ou non. Cela peut nuire aux consommateurs et endommager les conduites de gaz.

De plus cette étape permet d'augmenter le pouvoir calorifique du biogaz et d'obtenir un gaz de qualité.

a- L'élimination d'eau :

Le biogaz contient différentes quantités d'eau en fonction de la température. Et à 35°C, le biogaz contient un peu après 5% d'eau. Celle-ci doit être éliminée avant l'introduction du biogaz dans le réseau de distribution. Pour enlever l'eau du biogaz, il y'a des différents procédés basés sur la condensation de l'eau ou le séchage des gaz.

-Élimination d'eau par condensation :

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Ce processus est basé sur la séparation du condensat là où l'eau s'égoutte. Il est capturé puis jeté. Il existe plusieurs des techniques manuelles ou automatisées sont utilisées pour éliminer l'eau, telles que l'utilisation d'un désembuer constituer d'un treillis métallique à trous fins ; utilisation d'un séparateur à cyclone d'une force centrifuge ; utilisation de collecteurs d'humidité en cas de condensation d'humidité due à la dilatation des gaz.

-Élimination de l'eau par séchage :

Ce procédé est basé sur le séchage du biogaz qui est saturé de vapeur d'eau, cela comprend plusieurs techniques comme le refroidissement du gaz sursaturé en eau dans l'échangeur.[11]

Les tuyauteries sont refroidies et le condensat est collecté, ainsi l'ajout d'un déshydratant permet l'élimination complète de la vapeur d'eau.

b- Élimination d'acide sulfhydrique :

C'est un composé très odorant, corrosif et toxique. La combustion génère également du SO<sub>2</sub>, qui est l'une des principales causes des pluies acides.

Pour éliminer cet élément on utilise plusieurs technologies :

-Le dosage de sels de fer :

Les sels de fer sont introduits directement dans le substrat de fermentation dans le doseur solide ou le fermenteur dans le but d'atténuer la formation de ce contaminant [11]

-Désulfuration biologique :

Ce processus est basé sur l'oxydation aérobie biologique lors de la présence des bactéries thiobacillus. Il existe de types externe et interne, la désulfuration interne se fait lors d'injection d'air dans le fermenteur contrairement à la désulfuration externe qui se passe dans un bioréacteur séparé du digesteur.

- Désulfuration physique :

Il contient deux types, désulfuration fine fonctionne avec une filtration a haute pression en employant du charbon actif comme un catalyseur, cette méthode est la plus utilisé car les concentrations d'acide sulfhydrique ne peuvent généralement être atteintes qu'avec une désulfuration fine. Et la deuxième le contre-lavage à l'eau de pression qui permet de séparer le sulfure d'hydrogène sous haute pression d'eau.

c- Élimination de Dioxyde de carbone :

Il existe plusieurs méthodes d'éliminer le CO<sub>2</sub> du biogaz, Ces méthodes peuvent être utilisées individuellement ou en combinaison pour éliminer efficacement le CO<sub>2</sub> qui sont :

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

- Absorption : Le biogaz passe à travers une solution de produits chimiques qui absorbent le CO<sub>2</sub>. Cette méthode utilise généralement de l'eau ou de la soude caustique comme absorbant.
- Adsorption : Le biogaz passe à travers des matériaux poreux tels que le charbon actif et les zéolithes qui adsorbent le CO<sub>2</sub>.
- Cryogénie : Le biogaz est refroidi à très basse température pour liquéfier le CO<sub>2</sub> et le séparer du biogaz.
- Membrane : Le biogaz traverse une membrane sélective qui laisse passer le méthane et bloque le CO<sub>2</sub>.
- Utilisation de bactéries : les bactéries méthanotrophes peuvent être utilisées pour oxyder le CO<sub>2</sub> en dioxyde de carbone et en eau.



Figure 12: Les méthodes de l'élimination du CO<sub>2</sub>[8]

### d-Élimination d'ammoniac :

Dans les grandes usines, l'ammoniac est souvent éliminé des gaz par un processus d'épuration utilisant de l'acide nitrique dilué ou de l'acide sulfurique dilué. Ce processus comprend l'équipement en acier inoxydable peut être très coûteux, cette technique n'est donc pas adaptée aux petites installations. L'ammoniac peut également être éliminé avec du charbon actif ou des procédés de concentration tels que l'adsorption ou le lavage à l'eau.[11]

### e- Élimination d'azote :

La filtration sur membrane, le lavage à l'acide, l'évaporation, la précipitation de la struvite et le traitement biologique sont quelques-unes des méthodes qui peuvent réduire considérablement la teneur en azote.

### I-3-2-Stockage du biogaz

Le biogaz est généralement utilisé dans les applications de cogénération où le biogaz est brûlé pour produire de l'électricité et de la chaleur. L'électricité est généralement générée directement à partir du biogaz produit. Mais lors d'une forte production du biogaz ou si la production dépasse la consommation, il peut être stocké pour une utilisation ultérieure.

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Il existe plusieurs méthodes pour stocker le biogaz, bien qu'il est important de prendre en considération des facteurs tels que la quantité de gaz à stocker, le coût de l'équipement et l'utilisation prévue du gaz et l'espace disponibles.

### I-3-2-1-Le stockage sous terrain

Le biogaz est stocké sous terre dans des réservoirs ou dans des formations naturelles telles que des gisements de gaz épuisés et des aquifères ainsi que dans des cavités. Cette méthode nécessite une configuration et un équipement plus complexes, mais peut stocker de grandes quantités de gaz, ce qui en fait une bonne option pour le stockage à long terme.

#### -Stockage en cavité saline :

Le stockage dans les grottes de sel suppose la présence d'importants gisements de sel. Les cavités se forment en dissolvant du sel dans de l'eau douce. Mais ces cavernes souterraines ou artificielles sont créées en injectant de l'eau. Cette technique dissout progressivement le sel et le récupère sous forme de saumure.[12]

Généralement, il a une forme allongée d'une hauteur de plusieurs centaines de mètres et d'un diamètre de plusieurs dizaines de mètres. Ils se trouvent généralement à des profondeurs de 200 à 2 000 mètres et peuvent atteindre des volumes de centaines de milliers de mètres cubes.

Le gaz qui imprègne et est stocké à l'état gazeux sous haute pression occupera l'espace libre. La cavité saline imperméable et non poreuse assure une capture immédiate.



Figure 13: Stockage en cavité saline[9]

#### -Stockage en nappes aquifères :

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Le stockage souterrain en milieu poreux fait appel à des formations poreuses et perméables comme les réservoirs aquifères qui sont surmontés d'un horizon imperméable et structurés sous forme de pièges.[12]

Les réservoirs aquifères sont généralement situés à des profondeurs comprises entre 500 et 2000 m.

Lors de l'étape de stockage, le gaz est comprimé et injecté à travers une série de puits de travail à l'état gazeux dans des formations souterraines de roche poreuse contenant de l'eau et des couches imperméables. Le gaz injecté sous pression comble le volume vide non occupé par l'eau dans le réservoir. Lors du retrait du stock, le gaz est aspiré par sa propre pression.

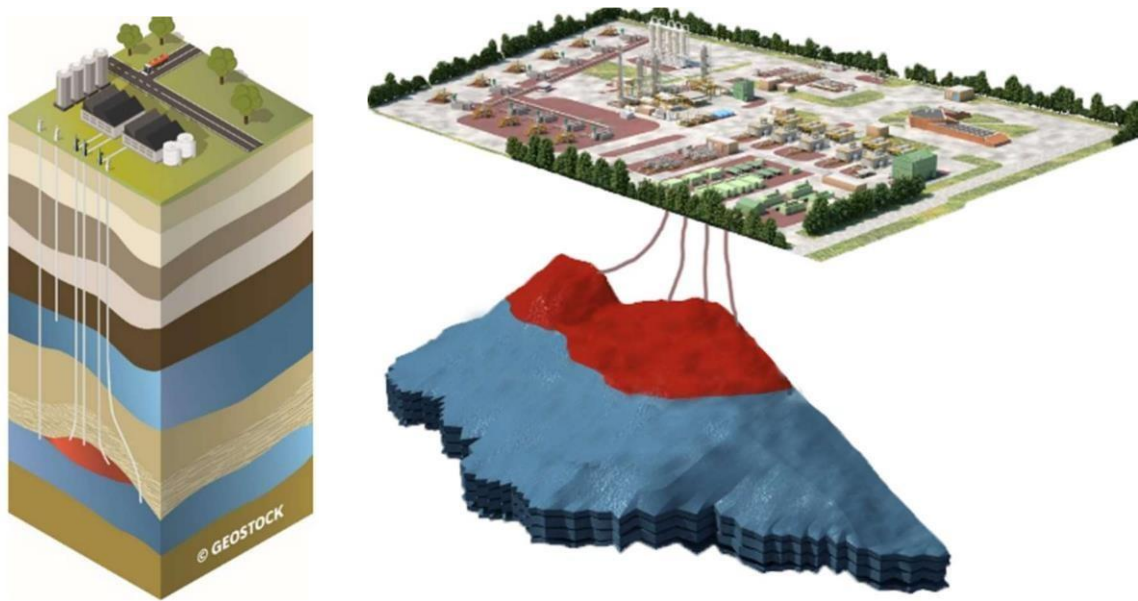


Figure 14: Stockage en nappes aquifères[10]

### -Stockage en gisement épuisés :

Du gaz sous pression est injecté dans un ancien champ essentiellement imperméable qui a été converti en stockage. Ce processus permet au gaz d'être efficacement stocké. Par ailleurs l'extraction de gaz est un flux continu avec peu de flexibilité et une vitesse lente.

### -Stockage en cavité minée :

Une cavité minée est un ouvrage souterrain constitué d'une ou plusieurs galeries creusées dans un massif rocheux. Les puits de mine sont généralement situés entre 50 et 200 m de profondeur.[13]

Les cavités étant généralement non revêtues, leur étanchéité repose sur le principe du confinement hydrodynamique, ainsi l'eau contenu dans la roche environnante s'écoule dans la direction de la cavité minière et assure le confinement du produit dans le stockage souterrain. La technologie minière s'applique également au stockage des gaz dont le point de liquéfaction est inférieur à  $-10^{\circ}\text{C}$ . Cette technique concerne le stockage souterrain de gaz naturel liquéfié ou le stockage de produits gaziers sous haute pression.

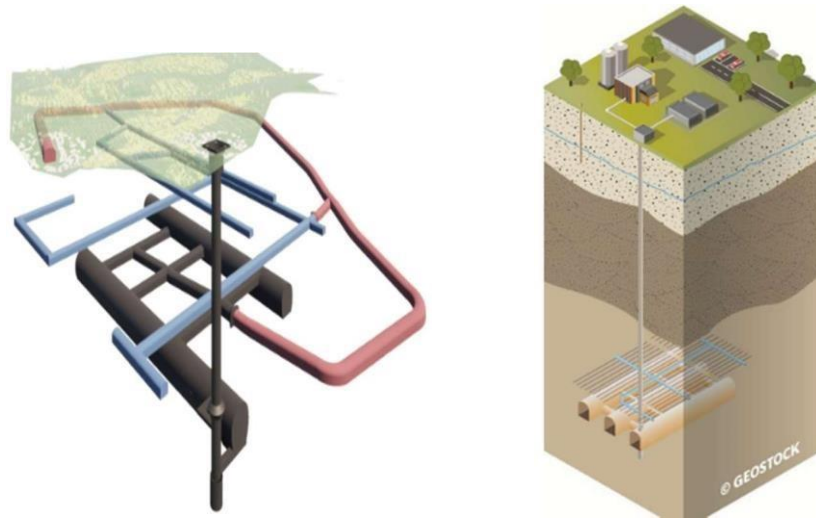


Figure 15: Stockage en cavité minée[11]

### I-3-2-2-Le gazomètre

Un gazomètre est une grande structure gonflable en forme de ballon en matériau renforcé qui est ancrée au sol. Le biogaz produit par la fermentation anaérobie est pompé dans le réservoir de gaz.

Ce système se compose des membranes intérieure, extérieure et inférieure. Le gaz est stocké entre les membranes interne et inférieure. Un souffleur d'air fournit une pression d'air entre les membranes intérieure et extérieure. Cette pression d'air provoque l'expansion du gazomètre. Lorsque le gaz est nécessaire, la pression dans le récipient est relâchée et le gaz s'écoule vers le point d'utilisation.[14]



**Figure 16:Les gazomètres[12]**

#### **I-3-2-3-Les réservoirs du biogaz Liquéfié**

Cet état est atteint lorsque le gaz est refroidi et comprimé à une température d'environ -160 °C et à la pression atmosphérique.

Après traitement, le gaz naturel est condensé par liquéfaction, ce qui réduit son volume d'un facteur 600.

Le gaz naturel liquéfié est stocké dans des réservoirs cylindriques verticaux installés à proximité des terminaux méthaniers. Ces réservoirs en métal ou en béton ont des doubles parois et une forte isolation thermique pour maintenir le gaz à l'état liquide.[15]



**Figure 17:Les réservoirs du biogaz Liquéfié[13]**

#### **I-3-2-4-Les réservoirs du biogaz comprimé**

Le biogaz comprimé est constitué de substances à l'état gazeux à température et pression normales.

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

Cette méthode nécessite un compresseur pour pressuriser le gaz. Cette méthode peut être coûteuse, mais elle peut stocker des quantités relativement importantes de gaz dans un petit espace.

Ce type de gaz est stocké soit dans des réservoirs ou des bouteilles (des cylindres).



**Figure 18:Les réservoirs du biogaz comprimé[14]**

### **I-3-3-Valorisation de biogaz**

Outre sa valeur énergétique, la valorisation du biogaz a un double impact environnemental positif : en amont comme traitement des déchets et des effluents organiques, et en aval pour atténuer les risques climatiques globaux en particulier, son captage réduit les émissions de gaz à effet de serre, de méthane et d'oxydes d'azote. Le biogaz peut être valorisé de plusieurs manières possibles, en fonction du type de gisement, de la quantité et la qualité de méthane.

#### **I-3-3-1-La valorisation thermique**

Ce type de valorisation à utiliser le biogaz comme source d'énergie thermique , elle récupère le maximum d'énergie contenue dans le biogaz .La récupération de chaleur à partir de ce biogaz peut se faire de différentes manières. L'une des méthodes les plus courantes consiste à utiliser une chaudière à biogaz pour produire de la vapeur, qui est ensuite utilisée pour faire tourner une turbine afin de produire de l'électricité.[16]

Et la chaleur produite par la combustion du biogaz pour obtenir de la chaleur utile, comme pour chauffer de l'eau, chauffer des bâtiments ou sécher des matières premières, et utilise des sources d'énergie renouvelables pour réduire les coûts.



### **I-3-3-2-La valorisation électrique**

La production d'électricité est envisagée lorsque le volume de biogaz produit est important.

Ce processus se déroule généralement en deux étapes :

Tout d'abord, nous collectons le biogaz généré par la décomposition de matières organiques telles que les déchets alimentaires, les déchets agricoles et les eaux usées. Le biogaz est ensuite purifié en éliminant toutes les impuretés. [16]

Dans une deuxième étape, le biogaz purifié est utilisé pour alimenter une turbine à gaz ou un moteur afin de produire de l'électricité, ensuite Elle peut réinjecter dans le réseau électrique.

D'autre part une centrale de cogénération contient une chaudière au biogaz couplée à une turbine à vapeur ou à un moteur à gaz. Cette unité qui produit l'électricité et de la chaleur qui est récupérée au niveau du moteur et dans les gaz d'échappement.

Le mécanisme de cogénération utilise une partie de la chaleur générée pour activer le moteur (combustion externe ou interne), la turbine ou la pile à combustible pour produire de l'électricité.

La valorisation de l'électricité à partir du biogaz présente plusieurs avantages écologiques et économiques. Réduire les émissions de gaz à effet de serre en produisant de l'électricité à partir de sources renouvelables au lieu de combustibles fossiles. Il contribue également à la gestion des déchets en convertissant les déchets organiques en énergie utile.[16]

### **I-3-3-3-Valorisation par alimentation au réseau**

Il peut également alimenter le réseau de gaz naturel. C'est la solution qui permet le meilleur rendement énergétique lorsque le réseau est suffisamment proche du point de production.

### **I-4Conclusion :**

En conclusion, la digestion anaérobie est un processus essentiel dans la gestion durable des déchets organiques. Par le biais de différentes étapes telles que l'hydrolyse, l'acidogénèse, l'acétogénèse et la méthanogénèse, la digestion anaérobie permet la décomposition des matières organiques en produisant du méthane, une source d'énergie renouvelable. Cependant, la réussite de ce processus dépend de divers paramètres tels que la température, le pH et la composition des substrats.

La digestion anaérobie présente de nombreux avantages et elle offre une alternative écologique à l'enfouissement des déchets, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement.

En conclusion, le biogaz est un combustible renouvelable et une source d'énergie prometteuse

## Chapitre I : La Production Du Biogaz A Partir De La Digestion Anaérobie

qui peut être produit par le processus de digestion anaérobie des matières organiques. Cependant, pour tirer pleinement parti du potentiel du biogaz, il est crucial de mettre en place des mesures adéquates de traitement, de stockage et de valorisation.

### Liste des références chapitre I

1. Nieto Orellana, C.R., Valorisation par digestion anaérobie des déchets organiques ménagers de la ville de Cuenca, Équateur. 2019.
2. KHERBOUCHE, D., Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse. 2011.
3. Abbassi-Guendouz, A., et al., Rôle du transfert de matière dans la limitation de la digestion anaérobie par voie sèche. 2013.
4. Blanes, R., et al., Etude de la production de méthane par digestion anaérobie des pulpes de café obtenues au cours de la voie humide. 1982.
5. Moletta, R., La digestion anaérobie des déchets municipaux. L'Eau, l'Industrie, Les Nuisances, 2002. **275**: p. 75-82.
6. Benyahia, B., Modélisation et observation des bioprocédés à membranes: Application à la digestion anaérobie. 2012, Montpellier 2.
7. Moletta, F.H.R., Inventaire moléculaire d'un écosystème microbien de digestion anaérobie.
8. PETROCHIMIQUES, C.E., U.M. POTENTIEL, and P.L.D. ANAEROBIE, LE TRAITEMENT DES EFFLUENTS DE CERTAINES INDUSTRIES.
9. Moletta, R., Technologies de la méthanisation de la biomasse Déchets ménagers et agricoles. La méthanisation, in French., 2011: p. 177.
10. Hernandez-Shek, M.A., Développement et validation de méthodologies et d'outils opérationnels de caractérisation rhéologique de biomasses appliqués au procédé de méthanisation en voie solide, et conception de réacteurs de 0, 5 m<sup>3</sup>. 2020, Université de Technologie de Compiègne.
11. Kadir, L. and M. Aziza, Traitement et valorisation du biogaz.
12. Haddad, P., Recherche sur l'injection de nouveaux gaz dans les stockages souterrains (RINGS). 2021, Université de Pau et des Pays de l'Adour.
13. Gombert, P., et al., Risques et opportunités liés.
14. Riban, J., Sur un nouveau gazomètre à pressions constantes et variables à volonté. Journal de Physique Théorique et Appliquée, 1900. **9**(1): p. 343-347.
15. SELMANE HEMZA, T.S., ETUDE ET REALISATION D'UN DIGESTEUR ANAEROBIQUE POUR LA PRODUCTION DE BIOGAZ. 2017.
16. Hess, J., Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation. 2007, Université Nice Sophia Antipolis.

# **CHAPITRE II : LE CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE**

## **II-1-Les centres d'enfouissement**

Une décharge est une installation de gestion des déchets conçue pour recevoir et stocker les déchets solides produits par les humains et l'industrie. En Algérie, comme dans de nombreux autres pays, la gestion des déchets est un enjeu environnemental et de santé publique important. Les décharges sont l'un des modes de gestion des déchets les plus importants en Algérie.[1]

Cependant, la gestion des déchets en Algérie est confrontée à des défis majeurs, notamment le manque d'infrastructures et de ressources financières pour construire et entretenir des décharges adéquates. Le déversement et l'incinération incontrôlés des déchets sont également un problème courant en Algérie et peuvent causer de graves dommages à l'environnement et à la santé humaine. Malgré ces défis, le gouvernement algérien a pris des mesures pour améliorer la gestion des déchets dans le pays, notamment en promouvant la collecte sélective et le recyclage. Il a également travaillé à la construction de nouvelles décharges pour remplacer les sites non réglementés.[1]

Le Centre d'enfouissement algérien est une installation dédiée à la gestion des déchets solides municipaux et industriels. Ces centres sont conçus pour recevoir des déchets inoffensifs, qui sont compactés et enfouis dans des tranchées.[2]

Le fonctionnement de ces centres est régi par la loi algérienne sur la gestion des déchets, qui fixe des normes strictes pour le traitement et le stockage des déchets. En particulier, les installations d'enfouissement doivent respecter les normes de sécurité et de protection de l'environnement pour éviter la contamination des sols et des eaux souterraines.[2]

Cependant, malgré les efforts des autorités algériennes pour améliorer la gestion des déchets, la décharge fait toujours face à des défis opérationnels et de gestion. En effet, certains centres peuvent être surchargés, mal gérés ou mal entretenus, entraînant des risques pour la santé publique et l'environnement.[2]

Pour relever ces défis, le gouvernement algérien s'emploie à mettre en place de nouvelles solutions de gestion des déchets comme le tri et le recyclage et à moderniser les infrastructures existantes. Il existe également des initiatives locales pour promouvoir la participation du public à la gestion des déchets, en particulier dans certaines villes.

## **II-2-Le centre d'enfouissement technique de Tlemcen**

Le Centre de Gestion des Déchets de Tlemcen est une installation de traitement des déchets située dans la ville de Tlemcen, exactement dans la commune de Chetouane sur la route de saf-saf vert la commune de Amieur au lieu-dit DjbelHadid à 5 km du centre-ville de Tlemcen. Ce centre est un lieu de collecte, de traitement et d'élimination des déchets solides générés par les habitants de cette zone.

Les communes conventionnées avec eux sont Tlemcen, Mansourah, Chetouane, Remchi ,Hennaya, Amieur, Ain fezza ,Ben sakrane, Zenata, Ouledriah ,Oued Ikhdar.

Par ailleurs les décharges techniques sont conçues pour éliminer les déchets de manière efficace et respectueuse de l'environnement. Les déchets sont transportés sur le site et triés, recyclés ou éliminés de manière appropriée. Les matériaux recyclables sont séparés et envoyés vers des installations de recyclage, tandis que les déchets non recyclables sont généralement enfouis dans des fossés spécialement qui s'appelle des casiers désignés et recouverts de terre pour minimiser l'impact environnemental.

Le but principal du Centre Technique de Traitement des Déchets de Tlemcen est de réduire l'impact des déchets sur la santé publique et l'environnement en offrant une infrastructure adéquate de gestion des déchets. Il s'agit notamment d'empêcher le lixiviat de pénétrer dans le sol et les eaux souterraines, et de réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de la décomposition des déchets.

Le centre se compose de deux casiers d'une capacité de 400.000 m<sup>3</sup>, le premier est saturé et recouvert de terre et le deuxième est arrivée au niveau zéro. Dans chacun de ces casiers ont une installation de système de récupération de biogaz.



**Figure 19: Système de récupération du biogaz[15]**

Il comporte une station de lagunage composée de trois bassins d'une superficie de 2600 m<sup>2</sup> et d'un volume de 3120m<sup>3</sup> avec une profondeur de 1,2 m. Cette station emmagasine les lixiviat venant des casiers.



**Figure 20: Les bassins de lixiviat[15]**

### **II-3-Les déchets**

Les déchets sont les résidus des processus de production, de transformation ou d'utilisation, les substances fabriquées, les matériaux ou, plus généralement, jetés ou destinés à être jetés par leurs propriétaires, qui sont de leur nature un effet nocif et un risque sur le sol, la flore et la faune . Ils détruisent les lieux ou les paysages, pollue l'air ou l'eau, et plus généralement nuisent à la santé humaine et à l'environnement.[2]

#### **II-3-1-Evaluation des déchets**

Les déchets sont un mélange indistinct, hétérogène, complexe, variable et difficile à juger.il existe quatre difficultés principales qui sont :

-Les définitions adoptées : Les seuls problèmes excitent, sont des problèmes juridiques et pratiques ce qui implique le moment ou l'objet débarrassé devient un déchet.

-L'assiette : Il y a souvent une différence entre ceux qui collectentlesdéchets et ceux qui lesreçoiventoulestraitent. Laprincipaledifférencerésidedans les déchetsavant le traitement et lesdéchets après le traitement.Enmoyenne,lesorduresménagères contiennent 35 % d'humidité contrairement pour certainsdéchetsontune teneur en humidité beaucoup plus élevée. Pour les boues d'épuration contiennent un taux d'humidité varie entre 60 et 98 %. [2]

- Le mode de calcul retenu : La quantité de déchets ménagers peut être exprimée en poids ou en volume. Cependant, du fait de la compressibilité des ordures ménagères, seul le poids peut être mesuré avec précision et facilité. La quantité d'ordures ménagères est exprimée en kg/hab/j ou par an.[2]

-Le périmètre envisagé : C'est une zone limitée qui contient l'ensemble des déchets afin de les mesurer.

### **II-3-2-Classification des déchets**

#### **II-3-2-1- Les déchets ménagers et assimilés**

Ce type recouvre des déchets ménagers qui contiennent des ordures ménagères, Les déchets municipaux ou urbains, Les déchets occasionnels et des déchets assimilés qui regroupe des déchets des entreprises industrielles, des artisans, des commerçants, des écoles ou des services publics.

#### **II-3-2-2- Les déchets industriels**

Ce regroupe on trois types :

-les déchets industriels toxiques : c'est des déchets qui portent un effet toxique et dangereux pour l'environnement et la santé publique, ils sont traités avec beaucoup de précautions.

-les déchets non toxiques : ce sont des déchets banals déduisent des activités commerciales, industrielles, ou artisanales.

-Les déchets industriels spéciaux : sont des déchets très dangereux qui contient un risque infectieux

#### **II-3-2-3- Les déchets hospitaliers**

cette catégorie est déduite des activités dans la médecine humaine et vétérinaire, ils regroupent des déchets infectieux, déchets d'activité de soins, déchets anatomiques ou produits chimique. Ils sont considérés comme des déchets très dangereuses et contagieux de virus. [2]

#### **II-3-2-4-Les déchets inertes**

Ces déchets issus de travaux publics et des travaux de bâtiments, ils ne sont pas biodégradables et ne reçoivent aucune modification physique, chimique ou biologique.

#### **II-3-2-5-Les déchets fermentescibles**

Ils sont des matières organiques biodégradables qui sont généralement fabriqués à partir des matières naturelles, les papiers et cartons, le bois et les matières plastiques.



**II-3-2-6- Déchets ultimes**

Ces déchets ne sont plus traités dans les conditions technico-économiques actuelles, ils sont issus ou non du traitement des déchets c'est-à-dire après le traitement des déchets résulte d'autres déchets, notamment par extraction des parties valorisables ou extraction des propriétés polluantes ou nocives.[2]

**II-3-2-7-Les boues**

Les boues d'épuration se trouvent aux limites des zones respectives de déchets et d'eaux usées. Ils sont communément assimilés à des déchets solides. Ce sont des mélanges de solides et de liquides, d'autre part la partie solide est composée de fines particules.[2]

**II-3-3-La gestion des déchets**

La gestion des déchets s'applique sur tous types de déchets (solides, liquides ou gazeux), elle comprend à la fois les étapes de collecte, transport, tris, et le traitement jusqu'à l'élimination des déchets. et de manière plus large elle correspond à toute activité qui participe à l'organisation de la prise en charge des déchets dès leur production jusqu'à leur traitement final. [2]

**II-3-3-1- La collecte**

Elle correspond à des différentes opérations d'enlèvement des déchets, leur transport, enfin vers une installation d'élimination, tel qu'il existe plusieurs types de déchets et chacun a sa propre méthode de collecte.

- Collecte en porte à porte :

Les services d'enlèvement collectent les déchets triés et les placent dans des conteneurs spécifiques. Ces conteneurs sont affectés à un ou plusieurs générateurs de déchets et placés à proximité de leur lieu d'habitation.[2]

- La collecte en point d'apport volontaire :

Elle est nommée PAV qui contient deux types les conteneurs aériens, sur le sol, les colonnes enterrés et semi-enterré. PVA s'agit d'apporter les déchets dans les points de collecte ou a la déchèterie, ces conteneurs sont abordables à l'ensemble des habitats.[2]

- La collecte d'équipement électrique et électronique :

Les équipements électriques et électroniques (EEE) contiennent souvent des substances ou des composants nocifs pour l'environnement (accumulateurs et piles, condensateurs contenant des PCB, gaz à effet de serre, composants contenant du mercure...) qui sont également plus susceptibles d'être recyclés. (métaux ferreux, métaux non ferreux, métaux rares, verre, plastiques...). Ils ont un enlèvement et un traitement spécifique.[2]

### **II-3-3-2- Le tri des déchets**

Le tri détermine le recyclage des déchets, il permet notamment la séparation des matières recyclables et des autres déchets. Il permet d'économiser des ressources naturelles, d'éviter le gaspillage des matières réutilisables afin d'utiliser les matières existantes comme l'emballage. [2]

### **II-3-3-3- Le traitement des déchets**

Le traitement commence après la collecte, le transport et le prétraitement, il suit une hiérarchie qui privilégie la valorisation matière puis énergétique. Ce traitement est réalisé par un opérateur privé ou public, il existe plusieurs types de traitements de déchets qui sont adaptés à leurs types : la réutilisation, le recyclage, la régénération, la valorisation énergétique, puis l'élimination.[2][3]

- La réutilisation :

Elle définit comme un processus de gestion, de raffinage ou de remédiation à des fins de récupération qui traite les déchets, les matériaux ou les produits afin qu'ils puissent être réutilisés sans autre prétraitement.

- Le recyclage :

Le recyclage est l'opération de valorisation qui traite les déchets, y compris les déchets organiques, en substances, matériaux ou produits pour leur fonction d'origine ou à d'autres fins. Le recyclage permet de remplacer une substance, une matière ou un produit par une autre substance, matière ou produit. Le compostage fait partie des procédés de recyclage.

- la régénération :

La valorisation est basée sur le processus de purification de liquides ou de solides, en extrayant les fractions contaminées ou indésirables contenues dans les déchets.

La régénération peut affecter les huiles, les gaz fluorés, les solvants, les plastiques, les catalyseurs. Cela peut être fait par filtration, déshydratation sous vide, purification...

- La valorisation énergétique :

La valorisation énergétique est la méthode d'élimination privilégiée par rapport à l'élimination, mais elle est réservée aux déchets qui ne peuvent être réutilisés ou recyclés.

- L'élimination :

L'élimination des déchets est le type de traitement des déchets qu'il convient d'éviter autant que possible. Il doit être réservé aux déchets "ultimes" où aucune autre utilisation n'est possible. Et parmi ces opérations sont le stockage et l'incinération sans valorisation énergétique.

### **II-4-Les impacts de l'étude**

#### **II-4-1-Impact environnementale**

Selon les conditions dans lesquelles la digestion anaérobie est réalisée, elle peut avoir des effets à la fois positifs et négatifs sur l'environnement

Tel qu'un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en valorisant les déchets organiques. Cependant, pour minimiser les impacts environnementaux négatifs, il est important de gérer la gestion des eaux usées, d'utiliser efficacement les produits digestifs et de s'assurer que les intrants sont disponibles localement.[4][5]

-Réduction des émissions de gaz à effet de serre :Il peut remplacer les combustibles fossiles pour la production d'énergie. Cela aide à réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier le méthane est un gaz à effet de serre plus puissant que le dioxyde de carbone. [4]

- Pollution de l'air : Si la méthanisation n'est pas bien gérée, elle peut produire des odeurs désagréables et être nocive pour la santé humaine et animale.

- Réduire les impacts liés à l'enfouissement des déchets :La digestion anaérobie réduit la quantité de déchets organiques envoyés dans les décharges, limitant les émissions de gaz à effet de serre et le risque de contamination des sols et des nappes phréatiques.[6]
- Risques liés à la gestion des eaux usées :La digestion anaérobie traite de grands volumes de lisier et de boues d'épuration. Une gestion mal maîtrisée de ces effluents peut entraîner des risques de contamination des sols et des eaux.
- Risques liés à l'utilisation de digestat :Une mauvaise valorisation des résidus de fermentation peut entraîner des risques de contamination des sols et des eaux, surtout si les doses appliquées sont trop élevées.
- La consommation de ressources : La digestion anaérobie nécessite des intrants tels que des déchets organiques et du fumier de bétail et de l'énergie pour chauffer le digesteur. Le manque de disponibilité locale de ces intrants peut entraîner le transport et la consommation de grandes quantités de ressources non renouvelables.

### **II-4-2-Impact soucieux économique**

- Production d'énergie renouvelable :Cette production d'énergie renouvelable contribue à réduire la dépendance aux énergies fossiles et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.[7]
- Création d'emploi : La digestion anaérobie peut créer des emplois dans l'agriculture, l'industrie et l'énergie. En effet, la collecte, le transport et la transformation des matières organiques nécessitent une main-d'œuvre qualifiée. De plus, la construction et l'exploitation d'une usine de méthanisation nécessitent des techniciens et ingénieurs spécialisés.[7]
- Réduire les coûts traitement des déchets :La fermentation anaérobie permet une valorisation efficace des déchets organiques. Cela réduit les coûts de traitement des déchets et évite l'enfouissement de matières organiques qui peuvent produire du méthane, un gaz à effet de serre potentiellement dangereux.[5]
- Production d'engrais organique :La digestion anaérobie produit également un digestat. C'est un résidu riche en nutriments qui peut être utilisé comme engrais organique dans l'agriculture. Cela peut réduire le coût d'achat des engrais chimiques et améliorer la qualité du sol.

-Valorisation des déchets : Le recyclage de ces déchets organiques peut contribuer à réduire les coûts de gestion des déchets et à protéger l'environnement

-Sécurité énergétique :Le biogaz est une source d'énergie renouvelable locale qui peut contribuer à la sécurité énergétique en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles importés. [5]

### **II-4-3- Impact académique**

La digestion anaérobie est un domaine de recherche active dans les universités et les centres de recherche car elle offre des opportunités pour développer des technologies plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement. Les chercheurs peuvent étudier le processus de biogaz, la qualité du biogaz produit, les facteurs affectant le processus, les meilleures pratiques de gestion de la biomasse.[8]

-éducation : La digestion anaérobie est également couverte dans les cours universitaires en génie chimique, en génie de l'environnement, en sciences de l'environnement et en agriculture. Les étudiants comprendront les principes de base de la digestion anaérobie, les différentes techniques de digestion anaérobie, l'application des techniques, les avantages et les défis de la digestion anaérobie.

-Formation professionnelle : Les professionnels de l'industrie peuvent également bénéficier de la digestion anaérobie car elle offre des opportunités de formation et de développement. Les entreprises sont encouragées à sensibiliser à la technologie du biogaz, aux réglementations environnementales, aux meilleures pratiques de gestion de la biomasse.

-Collaboration interdisciplinaire :Une digestion anaérobie réussie nécessite une collaboration multidisciplinaire. Les universités peuvent donc organiser des collaborations avec des entreprises, des agences nationales et des organisations non gouvernementales pour développer des projets de recherche interdisciplinaires sur la digestion anaérobie. Ces collaborations peuvent déboucher sur des innovations technologiques, des avancées en matière de politique environnementale et des solutions durables pour la gestion des déchets.

### **II-5- Conclusion**

En conclusion, il est clair que les centres d'enfouissement, bien qu'ils offrent une solution temporaire à la gestion des déchets, ne sont pas sans conséquences négative. Ces installations, où les déchets sont enfouis dans le sol, ont des impacts significatifs sur l'environnement et la santé humaine.

Les émissions de gaz à effet de serre, la contamination des sols et des eaux souterraines, les problèmes d'odeurs et de nuisances sonores, ainsi que la menace pour la biodiversité sont autant d'effets nocif associés à ces sites. Il est donc impératif de repenser notre approche en matière de gestion des déchets.

La première étape consiste à redéfinir notre relation avec les déchets. Les déchets peuvent être définis comme des produits ou des substances dont nous n'avons plus besoin et qui nécessitent une élimination ou une transformation appropriée. Cela signifie que nous devons adopter une approche proactive axée sur la réduction des déchets à la source, en favorisant la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matériaux. En définitive, la gestion des déchets doit évoluer vers une approche plus durable et circulaire, où les déchets sont considérés comme des ressources potentielles plutôt que comme un fardeau. En réduisant notre dépendance aux centres d'enfouissement et en adoptant des pratiques de gestion des déchets plus responsables, nous pouvons contribuer à préserver notre environnement, à protéger la santé publique et à promouvoir la durabilité à long terme.

## Liste des références chapitre II

1. Mezouari-Sandjakdine, F., Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. 2011, Limoges.
2. Aliouche, S., Y. Kehila, and L. Benkahoul, Modalités de sélection des sites d'enfouissement technique en Algérie et leur prise en charge par les instruments d'aménagement du territoire et d'urbanisme. Environnement, Ingénierie & Développement, 2017.
3. Yamina, A., Contribution au suivi de la gestion et la valorisation des déchets dans le centre d'enfouissement technique: cas du CET Zef Zef (Wilaya de Skikda). 2021.
4. Hajjaji, N., et al., Production du biogaz par digestion anaérobie: Aspects technologiques et environnementaux. Séminaire de l'Ecole Doctorale RP2E «Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits et Environnement, 2010.
5. KHERBOUCHE, D., Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse. 2011.
6. Ventura, A., et al., Valorisation des déchets et bénéfices environnementaux: un long fleuve pas si tranquille. Academic Journal of Civil Engineering, 2022. **40**(2).
7. Prévot, H., La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du Conseil Général des Mines au Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, Paris, 2000.
8. Farinet, J.-L., La méthanisation à la Réunion. Compte rendu de mission du 15 au 23 septembre 2010: perspectives et enjeux de recherche. Appui technique au programme PILMO. 2010.
15. ABDELHAK, D., Les Risques Liés à la Gestion du centre d'Enfouissement Technique de Chetouane (Tlemcen-Nord ouest Algérien). 2010, Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2.

# **CHAPITRE III : LA PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DE LA DIGESTION ANAEROBIE DES DECHETS**



# Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

## III-1-Introduction

Depuis des temps immémoriaux, l'humanité a eu besoin d'énergie pour se nourrir, se réchauffer et se déplacer. L'énergie se présente sous différentes formes (chaleur, électricité, etc.) et provient de diverses sources. Aujourd'hui, grâce aux avancées technologiques, il est possible de produire de grandes quantités d'énergie en utilisant toutes les ressources disponibles, qu'elles soient fossiles, solaires, hydrauliques ou éoliennes. L'énergie demeure un enjeu majeur à la fois sur le plan politique, scientifique, économique et environnemental.[1]

La production d'énergie électrique repose principalement sur l'utilisation d'énergies fossiles et de combustibles d'origine nucléaire. Bien que l'utilisation systématique de combustibles fossiles soit rentable, elle entraîne une importante émission de gaz polluants et de gaz à effet de serre. L'énergie nucléaire, qui ne libère pas directement de dioxyde de carbone, souffre souvent d'une mauvaise réputation en raison des risques importants associés.

La production d'électricité décentralisée à partir de sources d'énergie renouvelables offre une plus grande sécurité d'approvisionnement pour les consommateurs tout en respectant l'environnement. Ce n'est pas le cas des combustibles fossiles et de l'énergie nucléaire.

## III-2-La production d'énergie électrique

Une centrale électrique est une installation industrielle conçue pour produire de l'électricité. Ces centrales transforment diverses sources d'énergie naturelle en énergie électrique afin de fournir de l'électricité aux consommateurs, qu'ils soient particuliers ou industriels, même à distance. Le réseau électrique est utilisé pour transporter et distribuer l'électricité jusqu'aux utilisateurs finaux. On distingue généralement cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles, également appelées centrales thermiques classiques, qui utilisent du charbon, du pétrole ou du gaz naturel comme sources d'énergie.
- Les centrales nucléaires, qui sont également des centrales thermiques, utilisent la fission nucléaire pour produire de la chaleur qui est ensuite convertie en électricité.
- Les centrales hydroélectriques, qui exploitent l'énergie de l'eau en mouvement pour faire tourner des turbines et générer de l'électricité.
- Les centrales solaires ou photovoltaïques, qui utilisent des panneaux solaires pour convertir la lumière du soleil en électricité.
- Les centrales éoliennes, qui utilisent la force du vent pour faire tourner des éoliennes qui produisent de l'électricité.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Ces centrales électriques jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en électricité, fournissant une source d'énergie essentielle pour les activités quotidiennes de la société moderne.[1]

### III-3-Les différentes voies de la production d'électricité

#### III-3-1- les énergies non renouvelable

Une énergie qui ne se renouvelle pas ou pas assez rapidement, pouvant ainsi être considérée comme épuisable à l'échelle humaine, est dite non renouvelable.

##### III-3-1-1-L'énergie fossile

-Définition :

L'énergie fossile est une énergie d'origine organique étai découverte depuis des millions d'années par la décomposition de matière organique morte telles que le pétrole, le gaz naturel et le charbon. Ces combustibles fossiles sont stockés sous terre.[1]

De plus ils fournissent plus de 80% de l'énergie utilisée, loin devant les autres sources mais leur utilisation est l'une des principales sources d'émissions de gaz à effet de serre. [1]

-Le fonctionnement :

Une centrale électrique à combustible fossile est une centrale qui brûle des combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Cette combustion a lieu dans une chaudière. La combustion dégage une grande quantité de chaleur qui sert à chauffer l'eau d'une chaudière (ou d'un générateur de vapeur).

Ensuite, il y a de la vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression entraîne une turbine à grande vitesse, qui à son tour entraîne un générateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine, la vapeur est refroidie en eau par un condenseur et renvoyée à la chaudière.

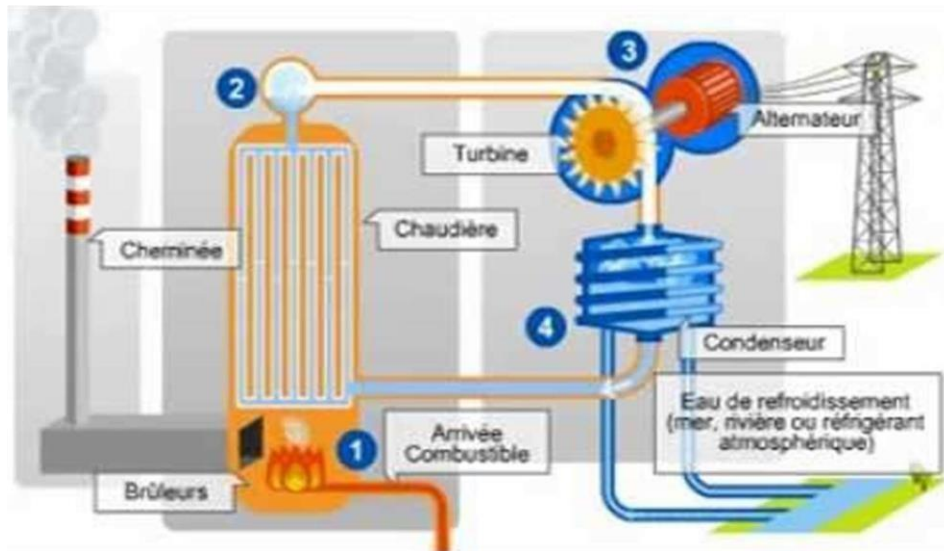


Figure 21: Centrale thermique[16]

### III-3-1-2- L'énergie nucléaire

-Définition :

L'énergie fissile désigne l'énergie produite par des ressources primaires facilement épuisables comme l'uranium, le plutonium et le germanium. L'énergie nucléaire est stockée au cœur de l'atome. Le noyau est constitué de liaisons entre particules neutrons et protons.[2]

L'énergie nucléaire est un type d'énergie produite par la fission ou la fusion de noyaux atomiques. Cette énergie est libérée sous forme de chaleur et peut être utilisée pour la production d'électricité, des applications industrielles, médicales et scientifiques.[2]

-Le fonctionnement de la centrale :

Les centrales nucléaires utilisent le processus de fission nucléaire des atomes d'uranium. L'uranium a extrait des mines et transformé en combustible nucléaire sous forme de pastilles. L'uranium naturel est fissile et doit être enrichi avec l'isotope 235, qui est capable de subir des réactions de fission.[3]

Les pastilles d'uranium sont ensuite chargées dans des assemblages combustibles et insérées dans le cœur du réacteur. Lorsqu'un atome d'uranium est touché par un neutron, il se scinde en deux atomes plus légers et libère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur est utilisée pour chauffer l'eau dans le réacteur qui est nommé un circuit primaire. Par ailleurs la chaleur est transférée au circuit secondaire grâce à un échangeur de chaleur ou générateur de vapeur. L'eau du circuit primaire n'entre jamais en contact avec l'eau secondaire.[3]

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Dans le circuit secondaire la vapeur produite par le générateur de vapeur est collectée par un tube du circuit secondaire et fournie à la turbine. La vapeur détendue est forcée sur les aubes de la turbine puis condensée. L'eau récupérée est renvoyée au générateur de vapeur. [3]

La vapeur entraîne les pales des turbines, qui à leur tour entraînent des générateurs pour produire de l'électricité. La quantité d'énergie électrique produite dépend de la puissance du réacteur et de la capacité de la turbine.

Après avoir traversé la turbine, la vapeur est refroidie et retransformée en eau grâce à un circuit de refroidissement qui utilise l'eau froide du fleuve ou de la mer, provoque la condensation de la vapeur dans le circuit secondaire. C'est la source de froid indispensable à toute machine thermique. Ensuite cette eau est alors renvoyée dans l'échangeur de chaleur pour être à nouveau chauffée par la chaleur produite dans le réacteur.

Les déchets nucléaires seront stockés et gérés de manière sûre et responsable afin de minimiser les risques pour l'environnement et la santé publique.

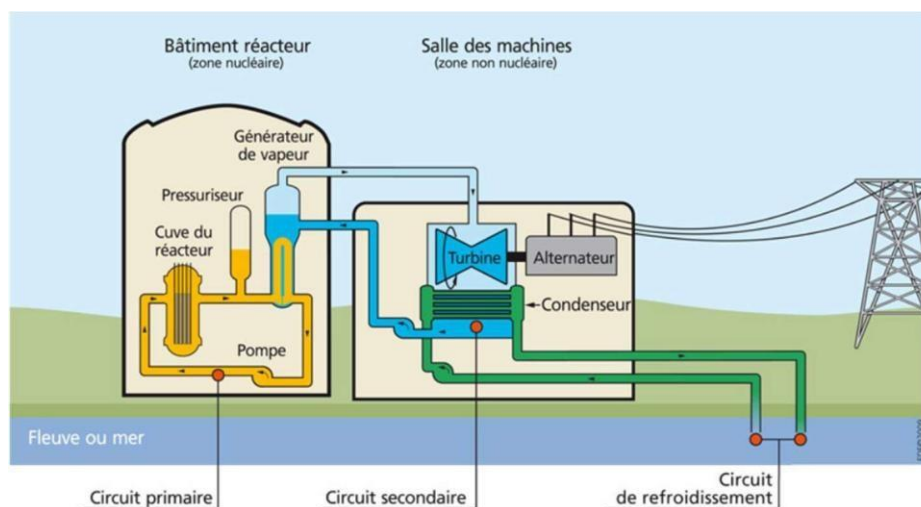


Figure 22: La centrale nucléaire[17]

### III-3-1-3- Les avantages et les inconvénients

- Les avantages :
  - Disponibilité et accessibilité
  - Production d'énergie élevée
  - Fiabilité
  - Coût relativement bas
- Les inconvénients :
  - Épuisement des ressources
  - Pollution de l'environnement
  - Risques pour la santé et la sécurité
  - Problèmes de gestion des déchets

# Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

## III-3-2- Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

Il y a cinq sources essentielles d'énergies dites renouvelables : le vent (éoliennes), le soleil (panneaux solaires), l'eau (barrages hydroélectriques), la chaleur du sol (géothermie) et la biomasse .

### III-3-2-1- L'énergie éolienne

-Définition :

Une éolienne est un dispositif qui convertit une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible dans un arbre de transmission après en énergie électrique via un générateur.[4]

L'énergie éolienne est une énergie non exploitée, distribuée géographiquement, et en particulier dans des situations saisonnières, c'est à dire l'énergie électrique est beaucoup plus demandée pendant les mois d'hiver, lorsque la vitesse du vent est souvent la plus élevée. Cependant leur détection est aléatoire dans le temps, ce qui reste très compliqué, cela exige de grandes pales et mats jusqu'à 60 m pour les éoliennes multi-mégawatts, ils sont nécessaires dans les zones géographiques ouvertes pour éviter les phénomènes de turbulence.[4]

De plus, c'est une énergie qui n'émet pas dans l'atmosphère et ne produit pas de déchets.

-Le fonctionnement :

Les éoliennes sont généralement installées en hauteur sur des mâts ou des tours pour capter le vent, qui est une source d'énergie renouvelable.

Le rotor de l'éolienne est constitué de pales qui sont fixées à un noyau central. Ce noyau est relié à un arbre qui tourne avec les pales, lorsque le vent souffle, les pales de l'éolienne tournent autour d'un axe horizontal ou vertical. La vitesse de rotation dépend de la force du vent.[4]

Ainsi l'arbre est relié à un multiplicateur qui augmente la vitesse de rotation de l'arbre et transmet l'énergie mécanique du rotor à un générateur électrique a fin de convertir cette énergie mécanique en énergie électrique.[4]

De plus Le générateur est équipé d'un système de refroidissement pour éviter une surchauffe et préserver son fonctionnement.

L'énergie électrique produite est transportée à travers des câbles électriques situés dans le mât. Ensuite envoyée à un transformateur, qui augmente la tension de l'électricité pour qu'elle puisse être transportée sur de longues distances.[4]

Le courant électrique produit par les éoliennes peut être stocké dans des batteries pour une utilisation ultérieure ou envoyé directement dans le réseau électrique.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Par ailleurs La nacelle d'une éolienne est la partie supérieure de la tour qui contient les équipements nécessaires comme le rotor, le générateur électrique et les systèmes de contrôle.

Les systèmes de contrôle et de surveillance de l'éolienne sont également installés dans la nacelle. Ils comprennent des capteurs de vent pour mesurer la vitesse et la direction du vent, ainsi que des capteurs pour surveiller la température, la pression et la vitesse de rotation de l'éolienne.

### III-3-2-2-L'énergie solaire

-Définition :

L'énergie solaire est une source d'énergie lumineuse et la plus abondante sur terre, l'énergie photovoltaïque est produite en convertissant une partie de la lumière en électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques. Cette conversion est réalisée par des cellules solaires contenant un matériau semi-conducteur tel que le silicium.[1]

Cette électricité peut être utilisée directement pour alimenter des appareils électroniques ou stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure. L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie la plus renouvelable et propre qui ne produit pas de gaz à effet de serre ni de pollution de l'air lorsqu'elle est utilisée. [1]

-Le fonctionnement du panneau :

Le fonctionnement des panneaux solaires est basé sur l'effet photoélectrique, qui convertit l'énergie lumineuse en électricité, il contient différentes étapes de base :

Lorsque la lumière du soleil frappe ces cellules, elle émet des photons qui sont absorbés par les électrons de la couche supérieure. L'absorption de cette énergie excite les électrons, qui se déplacent de la couche supérieure vers la couche inférieure.

Les électrons libérés par la lumière créent un courant électrique qui sont collecté par un fil conducteur attachés à la cellule, tel que La connexion des cellules ce fait soit en série pour augmenter la tension soit en parallèle pour augmenter le courant.

Ce courant est transféré à un onduleur, qui convertit le courant continu (DC) en courant alternatif (AC), qui peut être utilisé pour alimenter des appareils électroniques ou alimenter le réseau ou stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

### III-3-2-3- L'énergie hydraulique

-Définition :

L'hydroélectricité est un type d'énergie renouvelable générée à partir de l'énergie cinétique ou potentielle de l'eau en mouvement. Cette énergie est convertie en électricité grâce à une turbine hydraulique. Il est produit par la force motrice de l'eau qui peut être utilisée pour faire tourner les turbines des centrales hydroélectriques. Les centrales hydroélectriques peuvent être construites sur des rivières, des lacs, des barrages ou d'autres sources d'eau courante. L'hydroélectricité est considérée comme une source d'énergie renouvelable car elle utilise de

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

l'eau, une ressource naturelle qui se renouvelle constamment à travers le cycle de l'eau. L'hydroélectricité est une source d'énergie fiable, efficace et propre qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux combustibles fossiles.[5]

-Le fonctionnement des centrales :

Les barrages retiennent l'eau et forment des réservoirs. Dirigez ensuite l'eau qui coule vers le mécanisme de production d'énergie. Le débit est contrôlé par des vannes. A la sortie du tube, l'eau est injectée dans une turbine constituée d'aubes ou d'aubes montées sur un arbre tournant. Cette turbine est reliée à un générateur, qui convertit l'énergie mécanique de l'eau en énergie électrique. Un transformateur survolte alors la tension produite par l'alternateur afin de la transporter facilement sur les lignes haute et très haute tension du réseau de distribution. A la sortie de la turbine, l'eau est rejetée dans la rivière. La force de l'eau entraînant la turbine est donc dépendante du débit et de la hauteur manométrique.

### III-3-2-4-L'énergie géothermique

-Définition :

L'énergie géothermique, dérivée du grec géo (terre) et thermie (chaleur), est la science de l'étude des phénomènes thermiques au sein de la terre. L'énergie géothermique, au sens large, fait référence à l'énergie géothermique, qui est l'énergie de la terre convertie en chaleur. Plus précisément, l'énergie géothermique est l'énergie thermique stockée sous la surface de la terre, dans le magma ou les roches, qui sont extraite par forage pour produire de la vapeur ou de l'eau chaude qui est utilisée pour faire tourner des turbines et produire de l'électricité.[1]

Pour capter l'énergie géothermique on fait circuler des liquides profondément dans la terre. Ce fluide est une nappe phréatique naturelle ou de l'eau injectée sous pression pour fracturer des roches imperméables à haute température.[1]

-Le fonctionnement des centrales géothermique :

Tout d'abord, un forage est effectué dans le sol pour obtenir des sources géothermiques, qui se trouvent à des profondeurs de plusieurs kilomètres.

À l'aide de ces puits de forage l'eau chaude est pompée à partir d'un réservoir géothermique souterrain. Cette eau chaude est ensuite envoyée dans un échangeur de chaleur

Par ailleurs La vapeur produite dans l'échangeur de chaleur est envoyée dans une turbine, qui entraîne un générateur pour produire de l'électricité ; cette turbine peut être de type à vapeur ou à gaz.

Après avoir traversé la turbine, la vapeur est envoyée dans un condenseur où elle est refroidie et se condense en eau ensuite elle est renvoyée dans le réservoir géothermique pour être réchauffée à nouveau.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Enfin l'électricité produite par le générateur est acheminée à un transformateur qui la convertit en une tension pour être injecter dans le réseau électrique.

### III-3-2-5- La biomasse

-Définition :

L'énergie de la biomasse, ou bioénergie, est l'énergie dérivée de matières organiques non fossiles telles que le bois, la paille, l'huile et les déchets végétaux provenant de la foresterie, de l'agriculture et de l'industrie. Semblable à l'énergie fossile, la bioénergie est dérivée de l'énergie solaire stockée dans les plantes grâce à la photosynthèse. C'est une réaction qui implique le CO<sub>2</sub> de l'air, l'eau et la lumière du soleil. En général, la photosynthèse ne transforme qu'une faible proportion moins de 1% de la lumière solaire disponible. Cette énergie est ensuite stockée sous forme de liaisons chimiques dans les végétaux.[6]

Lorsqu'on utilise la biomasse dans un processus de valorisation, que ce soit par voie biologique, chimique ou thermique, on extrait l'énergie en oxydant les atomes de carbone, ce qui produit du CO<sub>2</sub> et de l'eau. Ce processus est périodique, parce que le CO<sub>2</sub> est disponible pour produire une nouvelle biomasse.[6]

- La centrale électrique a biomasse :

Le processus de production d'énergie à partir de la biomasse dans une centrale électrique est effectivement composé des étapes suivantes

La biomasse peut être obtenue à partir de différentes sources, elle peut être collectée à partir de ces sources de manière durable pour garantir une utilisation responsable des ressources naturelles.

Ensuite elle est stockée pour être utilisée comme combustible. Le stockage doit être géré de manière à éviter la formation de moisissures ou de bactéries.

L'énergie de la biomasse est convertie en énergie thermique par combustion. Cette énergie convertit l'eau en vapeur, entraîne une turbine à vapeur couplée à un générateur et convertit finalement l'énergie mécanique en énergie électrique. Une partie de la vapeur ou de l'énergie thermique restante peut être utilisée pour alimenter un circuit de chauffage. Ensuite, il y a la combinaison de la chaleur et de l'électricité, est également connu sous le nom de cogénération.[6]

En effet l'électricité produite est transformée à une tension plus élevée avant d'être distribuée sur le réseau électrique. La distribution est gérée par les opérateurs du réseau de transport d'électricité.

Ce processus est similaire à celui utilisé dans une centrale thermique classique, sauf que la source d'énergie est la biomasse.



## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Par ailleurs après chaque cycle il existe un traitement des gaz de combustion. Les gaz sont filtrés pour éliminer les particules et les polluants. Des technologies telles que les filtres à manches, les électrofiltres et les désulfuriseurs sont utilisées pour éliminer les polluants avant de libérer les gaz dans l'atmosphère.

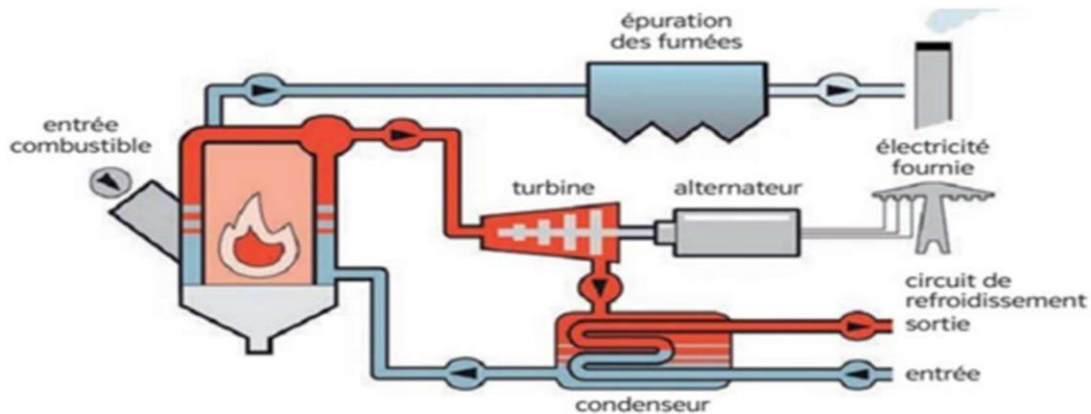


Figure 23: Centrale électrique a biomasse[18]

### III-3-2-6- Les avantages et les inconvénients

➤ Les avantages :

- Durabilité et disponibilité à long terme
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Amélioration de la qualité de l'air et de la santé publique
- Diversification des sources d'énergie

➤ Les inconvénients :

- Intermittence et faible disponibilité de la source primaire
- Impact environnemental localisé
- Coûts initiaux élevés.

### III-4- Les équipement de la conversion électrique du biogaz

La conversion électrique du biogaz consiste à transformer ce dernier, qui est un mélange de gaz naturel produit par la décomposition anaérobie de matières organiques, en électricité. Cette transformation peut être réalisée à l'aide d'une turbine à gaz ou d'un moteur à combustion

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

interne. Les gaz combustibles sont introduits dans la turbine ou le moteur, où ils sont brûlés pour produire de l'énergie mécanique, qui est ensuite utilisée pour faire tourner une génératrice qui produit de l'électricité.[7]

Une autre technique de la conversion du biogaz en électricité est l'utilisation d'une pile à combustible. Cette technique permet de convertir directement le gaz en électricité grâce à une réaction chimique électrochimique.

En plus des technologies énergétiques consolidées sur le plan technique et commercial, il existe des systèmes énergétiques innovants. Parmi ces technologies :

Les moteurs à combustion interne, Les turbines à gaz, Les cycles de Rankine, Les cycles Stirling, les piles à combustible et Les cycles Couplés.

Ce processus de conversion électrique du biogaz est couramment utilisé dans les centrales électriques à biogaz, qui permettent de produire l'électricité à partir des déchets dans les centres d'enfouissement. Ce processus donne de nombreux avantages, tels que la production d'énergie renouvelable à partir de déchets organiques, la diminution de la dépendance aux énergies fossiles et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cette technique peut être particulièrement bénéfique pour les communautés qui contiennent de grandes quantités de déchets organiques et cherchent à développer une source d'énergie alternative et durable.

### III-4-1-Moteur a combustion interne

Il est possible d'utiliser des moteurs à combustion interne de manière efficace et fiable pour la production d'électricité. Ces moteurs sont conçus pour transformer l'énergie chimique du carburant en énergie mécanique, qui est ensuite convertie en électricité par un générateur.

Dans les centrales électriques, les moteurs à combustion interne sont couramment utilisés pour produire de l'électricité à partir de différents types de carburants, comme le diesel, l'essence, le gaz naturel ou encore le biogaz. Les centrales électriques équipées de moteurs à combustion interne sont souvent utilisées pour fournir de l'électricité aux zones isolées ou aux réseaux électriques de taille modeste à moyenne.[7]

De plus les moteurs à combustion interne trouvent également une application dans les groupes électrogènes de secours, qui permettent de produire l'électricité en cas de panne de courant dans des établissements tels que les hôpitaux, les centres de données ou encore les bâtiments commerciaux.[7]

Par ailleurs, ces moteurs sont utilisés dans diverses applications industrielles, notamment dans les installations de cogénération, où la chaleur dégagée par la combustion du

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

carburant est récupérée et utilisée pour le chauffage ou pour d'autres processus industriels. Ils sont particulièrement utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière pour produire de l'électricité à partir du gaz naturel extrait.

Lorsqu'il s'agit de convertir le biogaz en électricité, les moteurs à combustion interne sont efficaces avec un taux d'efficacité électrique compris entre 30 et 40 pour cent. Les applications de cogénération permettent une plus grande efficacité en récupérant la chaleur perdue à partir du système de refroidissement du moteur pour produire de l'eau chaude ou de l'échappement du moteur pour produire de la vapeur basse pression.[7]

-description :

En premier lieu les moteurs à combustion interne qui utilisent le biogaz, ils fonctionnent en remplaçant total ou partiel de l'essence ou du diesel.

Le processus de combustion dans un moteur à biogaz est similaire à celui d'un moteur à essence ou diesel. Lorsque le mélange air-biogaz est comprimé dans la chambre de combustion, il devient plus chaud et plus dense, ce qui augmente la pression. Une étincelle est alors générée par la bougie d'allumage pour enflammer le mélange air-biogaz, ce qui crée une explosion qui pousse le piston vers le bas. Cette poussée est ensuite transmise à l'arbre moteur pour produire de l'énergie mécanique.[8]

De plus Les moteurs à combustion interne sont des machines volumétriques qui réalisent de manière cyclique une série de transformations physico-chimiques sur un système principalement en phase gazeuse, produisant globalement un travail sur l'organe moteur.

Les moteurs à combustion interne sont couramment utilisés dans les décharges pour convertir le gaz produit en électricité, avec des puissances allant de 800 kW à 3 MW. Pour des projets nécessitant plus de 3 MW, plusieurs moteurs peuvent être combinés.[8]

Par ailleurs il convient de souligner que l'utilisation de moteurs à biogaz nécessite l'utilisation d'équipements particuliers pour l'alimentation, le stockage et la purification du gaz. De plus, ces moteurs peuvent nécessiter une maintenance plus régulière que les moteurs à essence ou diesel.

### III-4-2-Turbine à gaz

Une turbine à gaz est un type de moteur qui convertit l'énergie chimique du carburant en énergie cinétique. En premier lieu la compression de l'air est généralement effectuée par un compresseur axial ou centrifuge qui augmente la pression de l'air entrant. Le carburant est ensuite injecté dans la chambre de combustion où il brûle avec de l'air comprimé. La combustion fait augmenter rapidement la température et la pression du gaz, a fin d'obtenir des gaz à haute énergie. Ensuite ce gaz chaud est dirigé vers une série de pales de turbine qui sont connectées à un arbre de transmission. Lorsque les gaz passent à travers les pales de turbine, ils

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

sont refroidis et se dilatent, ce qui crée une force motrice qui fait tourner l'arbre de transmission pour générer de l'énergie mécanique ou électrique. Enfin, les gaz de combustion sont rejetés dans l'atmosphère ou dans le condenseur. [7]

Les turbines à gaz sont couramment utilisées dans les centrales électriques pour leur efficacité énergétique élevée et leur faible niveau d'émissions de gaz à effet de serre.

-Les types de turbines à gaz :

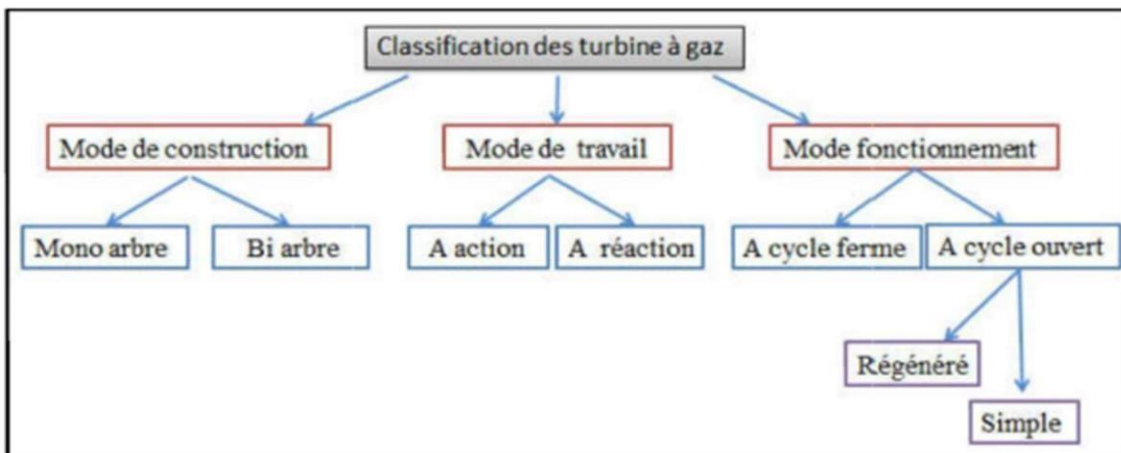


Figure 24: La classification des turbines a gaz [19]

➤ Selon son mode de construction :

-La turbine-mono-arbre : Les parties compresseur et turbine sont montées sur le même arbre, permettant à l'ensemble de tourner à la même vitesse. Ce type est utilisé pour les applications qui ne nécessitent pas de changements de vitesse.

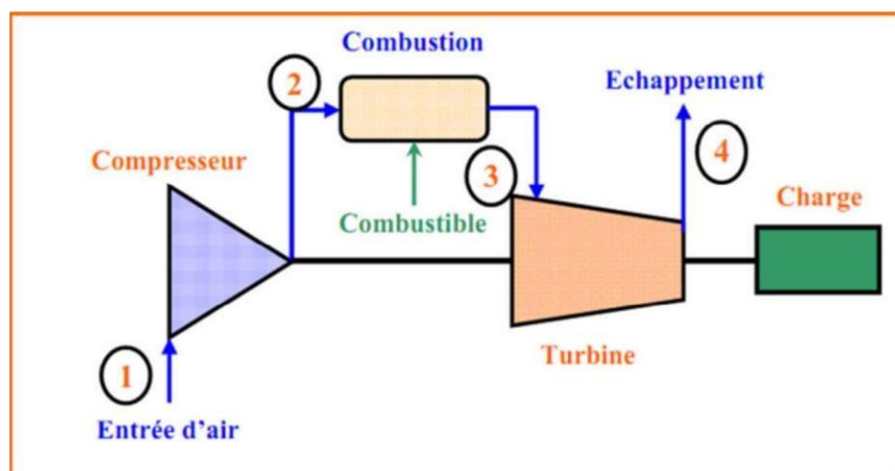


Figure 25: Turbine mono-arabe[19]

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

-Une turbine bi-arbre : est constituée de deux roues de turbine mécaniquement indépendantes. La roue de turbine haute pression entraîne le rotor du compresseur axial et ses accessoires, tandis que la roue basse pression du deuxième étage est utilisé pour entraîner le groupe récepteur. Le but d'une roue de turbine non couplée est de permettre aux deux roues de fonctionner à des vitesses différentes pour s'adapter aux différentes exigences de charge des composants entraînés.

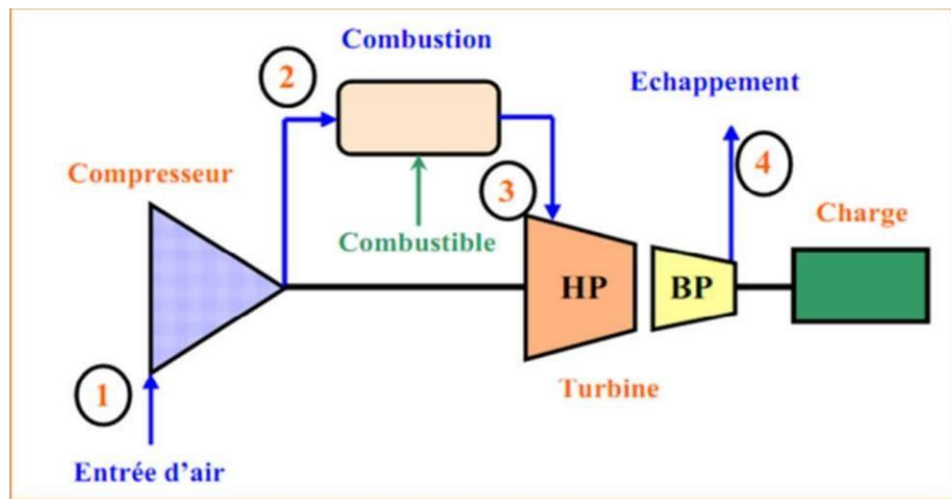
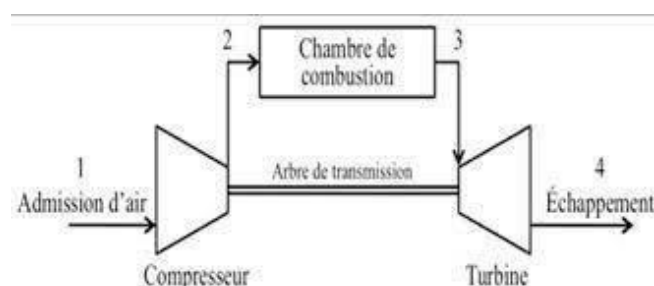


Figure 26: Turbine bi-arbre[19]

➤ Selon le mode de fonctionnement :

-le cycle ouvert :

C'est un type le plus courant et le plus simple à utiliser, l'air ambiant est aspiré dans la turbine, comprimé, chauffé et enfin son admission et son échappement sont directement reliés à l'atmosphère. Il est divisé en deux classes, la turbine à cycle simple s'agit d'une turbine qui utilise un seul fluide pour générer de l'énergie mécanique, le gaz a encore de l'énergie potentielle après détente et est perdu dans l'atmosphère par l'échappement. Et pour la deuxième la turbine à cycle régénéré s'agit d'une turbine dans laquelle plusieurs fluides moteurs sont inclus dans le circuit thermodynamique pour augmenter l'efficacité du système.[9]

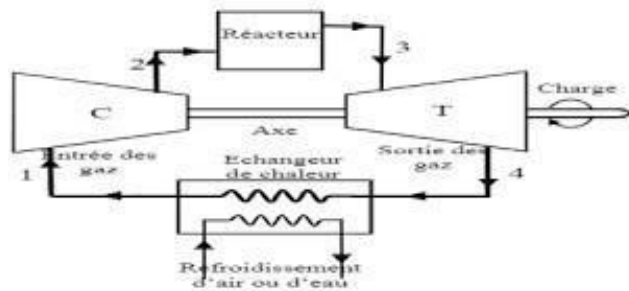


## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

**Figure 27: Turbine à cycle ouvert[20]**

-cycle fermé : c'est un type où Les gaz d'échappement sont récupérés pour une utilisation ultérieure, au lieu d'être rejetés dans l'atmosphère, les gaz d'échappement sont collectés et envoyés vers un échangeur de chaleur où ils sont utilisés pour chauffer un fluide et envoyés vers une turbine à vapeur pour générer de l'énergie supplémentaire.

Les turbines à gaz à cycle fermé sont plus économes en énergie et moins polluantes que les turbines à gaz à cycle ouvert, mais sont plus complexes et coûteuses à fabriquer et à entretenir.[9]



**Figure 28: Turbine à cycle fermé[21]**

➤ Selon le mode de travail :

-La turbine à action : L'énergie thermique est complètement transférée en énergie cinétique dans la directrice. Ainsi le seul rôle des pales du rotor est de convertir l'énergie cinétique obtenue par détente en travail mécanique donné au rotor. Pas de changement de pression pendant la génération de gaz de roue.[9]

-La turbine à réaction : Une partie de l'énergie thermique est convertie en énergie cinétique et mécanique à l'intérieur de la roue. L'échange de gaz à l'intérieur de la roue se fait en modifiant la pression statique.[9]

-Les composants de la turbine :

**Boîtier :** Un conteneur qui contient tous les éléments d'une turbine, tels que les rotors, les stators, les aubes et les joints. Il est généralement construit en acier résistant à la chaleur et à la pression.

**Les rotors :** Ce sont les parties mobiles de la turbine qui tournent à grande vitesse pour générer de l'énergie mécanique. Le rotor se compose d'un arbre principal qui supporte une série de disques avec des pales fixées autour de leur circonférence. Les pales peuvent avoir des formes différentes selon le type de turbine.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

Le Stator : C'est la partie fixe de la turbine qui dirige la vapeur vers les pales du rotor et convertis l'énergie cinétique de la vapeur en énergie mécanique. Un stator est généralement constitué d'une série d'aubes fixes disposées autour d'un rotor.

Les joints d'étanchéité : Ce sont ces éléments qui assurent l'étanchéité entre le rotor et le stator pour éviter les pertes de vapeur et les fuites de pression. Il existe différents types de joints tels que les joints à labyrinthe et les joints à gaz.

Système de contrôle : Ce sont des appareils électroniques qui contrôlent et coordonnent le fonctionnement des turbines. Les systèmes de contrôle surveillent la vitesse, la température, la pression et d'autres paramètres de la turbine pour assurer un fonctionnement efficace et sûr.

### III-4-3-turbine a vapeur

En premier lieu une chaudière à haute pression chauffe l'eau pour produire de la vapeur. Cette vapeur est injectée dans la turbine à haute pression et température. La vapeur frappe alors les pales du rotor de la turbine et commence à tourner.[7]

Ensuite la vapeur au contact avec la lame se dilate, réduisant la pression et la température de la vapeur. L'énergie cinétique de la vapeur est transférée au rotor de la turbine sous forme d'énergie de rotation mécanique.[7]

La vapeur sort de la turbine à basse pression et basse température. Il est généralement refroidi et condensé à l'aide d'un échangeur de chaleur ou d'un condenseur avant d'être réchauffé et renvoyé à la chaudière pour produire de la vapeur.

Ainsi le rotor de la turbine est relié à un arbre qui entraîne une génératrice, produisant ainsi de l'électricité.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

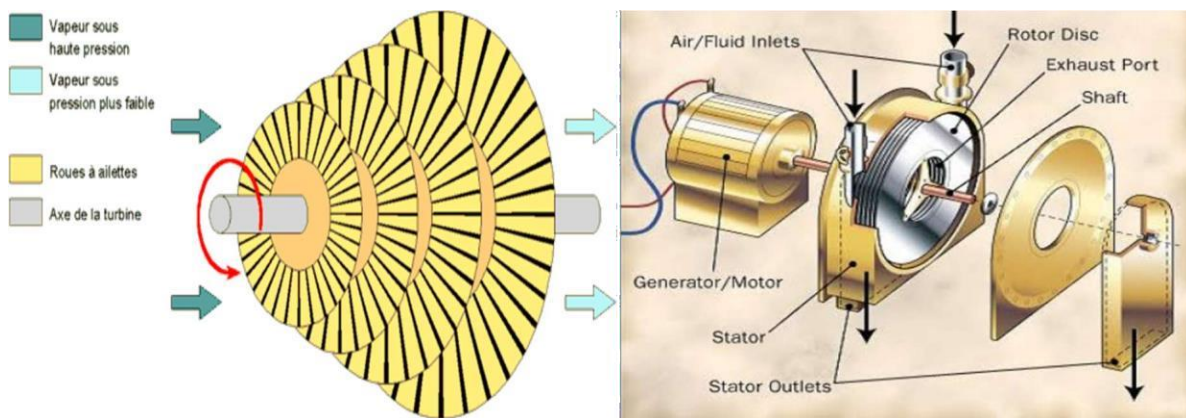


Figure 29: Turbine à vapeur[22]

### -les types de turbine à vapeur :

- Dans une turbine à action, la vapeur est dirigée vers une roue mobile, puis s'échappe dans l'atmosphère ou se condense dans un condenseur. La vapeur en mouvement est accélérée par la forme des pales de la turbine, créant une force qui fait tourner la turbine.
- Une turbine à réaction dirige la vapeur à travers une série de roues mobiles et fixes. La vapeur en mouvement est accélérée par les roues en mouvement, envoyée aux roues fixes, où elle est ralentie, créant une force qui fait tourner les roues. [7]

Par conséquent, la différence fondamentale entre les deux types de turbines réside dans la manière dont elles utilisent la vapeur pour générer de l'énergie mécanique. Dans les turbines d'action, la vapeur est utilisée pour créer une force de réaction qui fait tourner les roues mobiles, tandis que dans les turbines à réaction, la vapeur est utilisée pour créer des forces de réaction en traversant les roues motrices et fixes.



## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

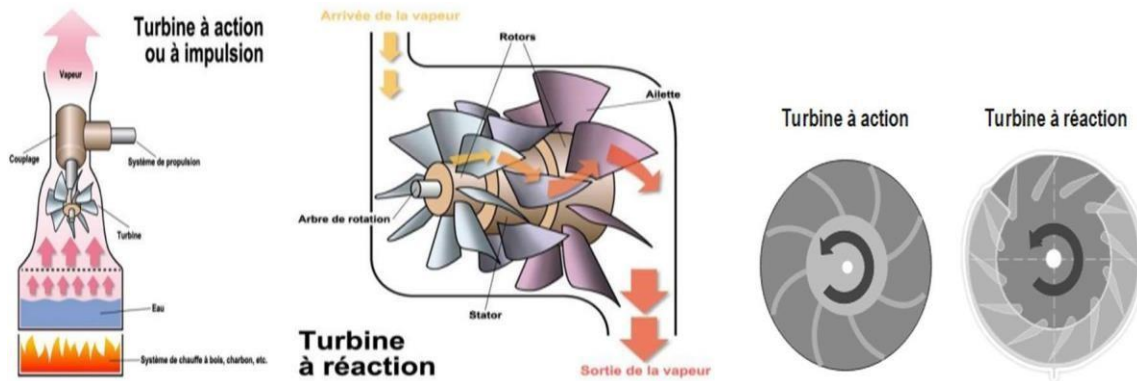


Figure 30:Les turbines à action et réaction[22]

### III-4-4-Moteur a combustion externe

Le moteur à combustion externe à cycle de Stirling est un type de moteur thermique qui produit de l'énergie mécanique en utilisant un gaz fermé dans un cycle fermé. Contrairement aux moteurs à combustion interne tels que les moteurs à diesel et essence, le cycle de Stirling n'utilise pas de combustion à l'intérieur du cylindre du moteur. Au lieu de cela, il utilise un cycle fermé de compression, de chauffage, d'expansion et de refroidissement du gaz pour produire de l'énergie.

Pour faire circuler le gaz entre les deux pistons, un échangeur de chaleur est utilisé. Lorsque le piston chaud se dilate, le gaz est transféré vers le piston froid, où il se contracte. Cette contraction entraîne la production d'énergie mécanique, qui peut être utilisée pour alimenter une turbine ou un générateur électrique.

Le cycle de Stirling est un cycle réversible, ce qui signifie que l'énergie peut également être utilisée pour faire fonctionner le moteur à l'envers, en fournissant de la chaleur

au piston froid et en refroidissant le piston chaud. Les moteurs à combustion externe à cycle de Stirling ont une grande efficacité énergétique et peuvent fonctionner avec une variété de combustibles, y compris les sources d'énergie renouvelables telles que la biomasse et l'énergie solaire. Cependant, ils sont souvent plus coûteux et plus complexes que les moteurs à combustion interne, ce qui limite leur utilisation à des applications spécifiques et haut de gamme.[7]

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

-description du fonctionnement :

Le principe de ces moteurs consiste à produire de l'électricité en utilisant une combustion constante et externe de biogaz à une température et une pression constante.

Le processus débute par la compression du gaz, qui est réalisée en déplaçant le piston froid vers le piston chaud. Ensuite, le gaz est chauffé à une température élevée, ce qui engendre son expansion et pousse le piston chaud vers le haut. Après cela, le gaz chaud est transféré vers le piston froid, où il est refroidi à une température plus basse. Cette baisse de température cause la contraction du gaz, permettant ainsi au piston froid de se déplacer vers le piston chaud. Enfin, le gaz est de nouveau transféré vers le piston chaud pour recommencer le cycle.

-Le mouvement de va-et-vient des deux pistons entraîne une rotation à travers un système de bielles et de vilebrequin, permettant ainsi de produire de l'énergie mécanique. Le cycle de Stirling est reconnu comme un cycle de Carnot idéal, ce qui implique qu'il est théoriquement capable d'atteindre un rendement élevé en transformant la chaleur en énergie mécanique.[10]

### III-4-5-Les piles à combustible

-Définition :

Les piles à combustible sont des dispositifs électrochimiques qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique, ils sont alimentés par du biogaz produisent de l'énergie en faisant réagir le méthane dans l'anode avec l'oxygène dans la cathode sans combustion (moins de pollution), tel qu'il est nécessaire de purifier le biogaz avant son utilisation dans la PAC, car ces PAC sont vulnérables à certains contaminants présents dans le biogaz, en particulier le sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) .

Cette méthode de conversion électrique produite généralement un courant continu tel que les électrons libérés lors de cette réaction d'oxydation sont transportés à travers un circuit électrique externe pour produire de l'électricité, tandis que les ions méthane migrent à travers l'électrolyte de la pile à combustible vers la cathode. À la cathode, les ions méthane réagissent avec des ions oxygène provenant de l'air pour produire de l'eau, du dioxyde de carbone et de la chaleur.

Les piles à combustibles (PAC) qui utilisent du biogaz et fonctionnent à des températures élevées ont un avantage en termes de récupération de chaleur par rapport à d'autres moyens de cogénération. En effet, la chaleur récupérée dépasse les 700°C, ce qui représente un potentiel plus important. En comparaison, les moteurs à combustion produisent de la chaleur à une température moyenne d'environ 80°C, ce qui est plus difficile à exploiter.

En outre, le faible niveau sonore des PAC en fonctionnement (50 dB à 1m) représente un avantage important dans le contexte d'une utilisation en milieu résidentiel, où les sources d'énergie sont situées à proximité des consommateurs. Cette caractéristique est d'autant plus remarquable que les machines tournantes sont souvent bruyantes.[7]

A la fin c'est une d'énergie propre et renouvelable aide à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et une valorisation des déchets organiques.

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

-Les types :

Il existe une variété de types de piles à combustibles (PAC) qui peuvent utiliser différents types de gaz et de liquides comme carburant en anode. Toutefois, seules les PAC à hautes températures peuvent être alimentées directement à partir de biogaz. Les autres types de PAC, tels que les PAC de faible et moyenne température, nécessitent que le méthane présent dans le biogaz soit préalablement converti en hydrogène avant de pouvoir fonctionner comme une PAC classique à l'hydrogène. De plus, ces PAC de faible température sont très sensibles aux impuretés et exigent un nettoyage plus poussé du biogaz.

Les PACs à haute température sont plus flexibles en termes de type de biogaz et sont plus tolérantes aux impuretés, comme indiqué dans [30]. Elles peuvent être alimentées directement avec du biogaz, car leur haute température permet de convertir le méthane en hydrogène directement dans l'anode. Cependant, toutes les technologies de piles à combustible nécessitent une purification du biogaz. Le coût d'investissement de ce processus d'épuration est important car il représente en moyenne 20 % du coût total d'installation du système.[11]

1) La pile à combustible à membrane échangeuse de protons PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) est une technologie qui permet de produire de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène fonctionnant à basse température (20-100°C). Elle utilise une membrane électrolytique et un catalyseur en platine pour faciliter la réaction chimique qui se produit à l'intérieur de la pile.

Dans une PEMFC, l'hydrogène est introduit à l'anode de la pile à combustible où il est catalytiquement oxydé en ions hydrogène (protons) et électrons. Les ions d'hydrogène traversent ensuite la membrane électrolytique pour atteindre la cathode, tandis que les électrons exécutent un circuit électrique externe pour fournir l'électricité. Lorsque les ions d'hydrogène arrivent à la cathode, ils réagissent avec l'oxygène et les électrons pour former de l'eau. Ce processus libère également de l'énergie qui peut être utilisée pour alimenter des appareils électriques.[12]

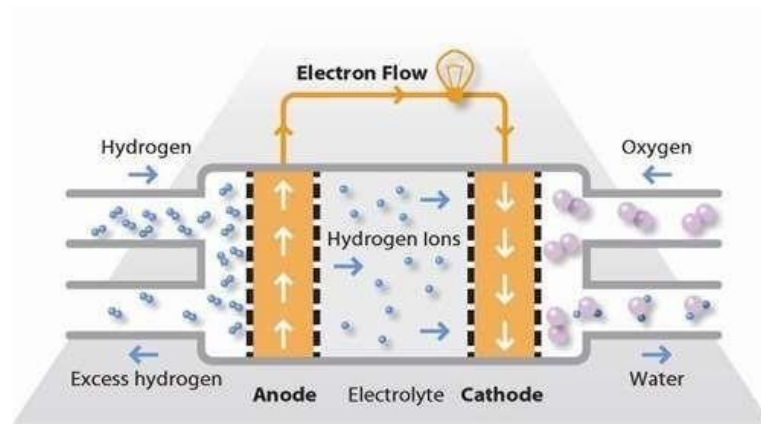


Figure 31: La pile à combustible à membrane échangeuse de protons[23]

2) La pile à combustible DMFC (Direct Méthanol Fuel Cell), ou pile à combustible à membrane échangeuse de protons directe, utilise un liquide organique comme source de carburant, généralement du méthanol, contrairement à la PEMFC qui requiert l'hydrogène gazeux. Cette particularité permet à la DMFC d'utiliser directement une solution liquide de méthanol comme combustible.[13]

Le processus de production d'énergie dans une DMFC implique l'acheminement du méthanol vers l'anode de la pile à combustible, où il est catalytiquement oxydé en dioxyde de carbone, protons et électrons. Les protons traversent ensuite la membrane électrolytique pour atteindre la cathode, tandis que les électrons sont acheminés via un circuit électrique externe pour produire de l'électricité.

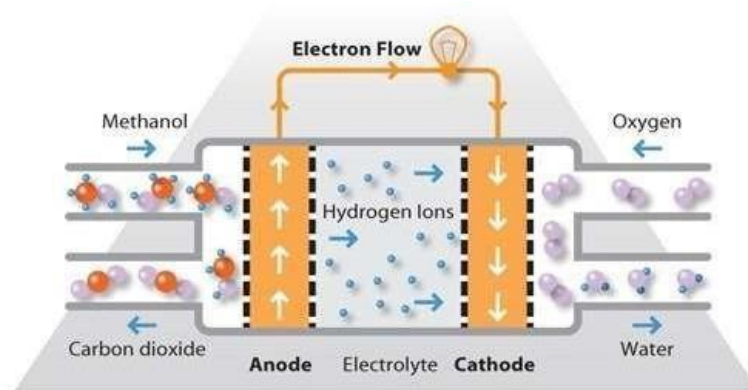
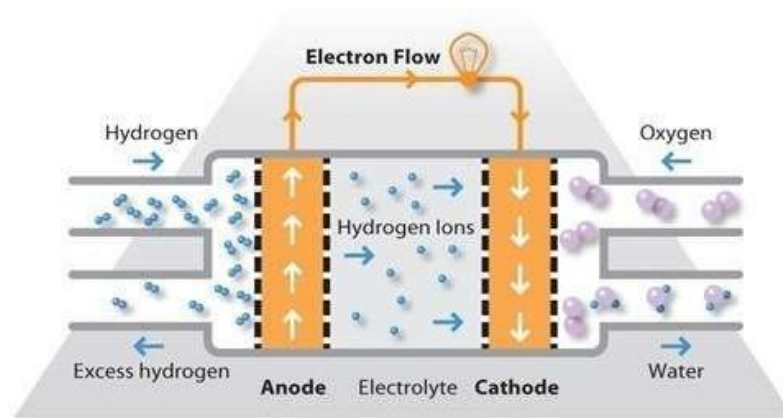


Figure 32: La pile à combustible DMFC[24]

3) La pile à combustible à acide phosphorique PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) est un type de pile à combustible qui utilise de l'hydrogène comme source de carburant et de l'acide phosphorique comme électrolyte. Dans le processus de production d'énergie dans un PAFC, l'hydrogène est acheminé vers l'anode de la pile à combustible où il subit une réaction d'oxydation catalytique pour produire des protons et des électrons. Les protons se déplacent

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

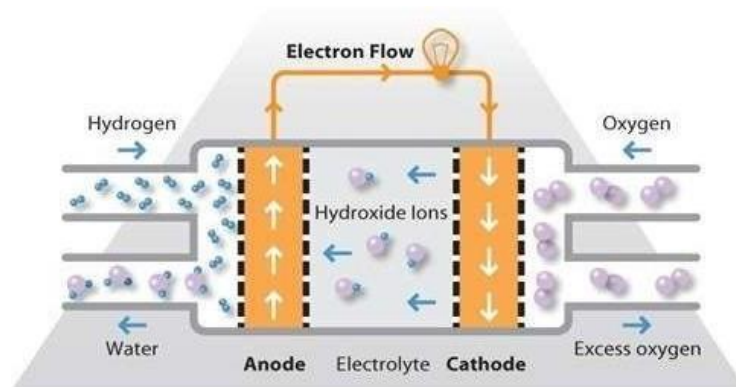
à travers l'électrolyte d'acide phosphorique pour atteindre la cathode, tandis que les électrons sont acheminés à travers un circuit électrique externe pour produire de l'électricité.[14]  
Malgré ses avantages, les PAFC présentent également des inconvénients tels qu'un temps de démarrage lent et une faible tolérance aux impuretés présentes dans l'hydrogène utilisé comme combustible. De plus, en raison de leur poids et de leur encombrement, les PAFC sont moins adaptés aux applications mobiles par rapport à d'autres types de piles à combustible.[14]



**Figure 33:La pile à combustible à acide phosphorique[25]**

4) Les piles à combustibles AFC (Alkaline Fuel Cell) utilisent une électrode de cathode à base d'oxygène ainsi qu'une électrode d'anode fonctionnant avec de l'hydrogène ou des hydrocarbures. Elles opèrent à une température plutôt modérée, aux alentours de 60°C, et affichent une excellente efficacité énergétique.

Néanmoins, la production des AFC demeure assez coûteuse et leur fabrication exige des matériaux de qualité supérieure, ce qui en restreint l'utilisation à des applications spécifiques et haut de gamme.[12]



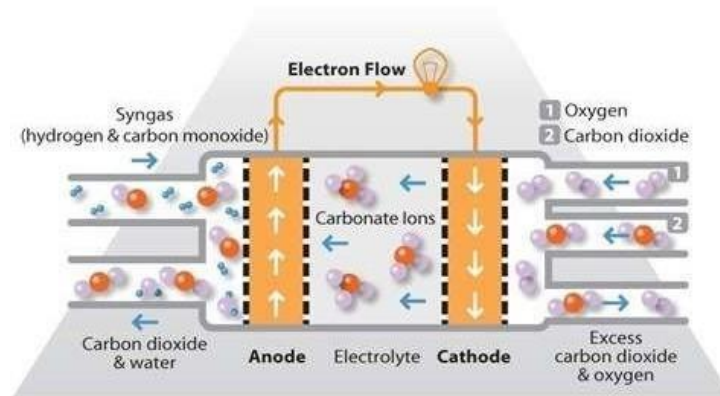
**Figure 34: Les piles à combustibles AFC [25]**

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

5) Les piles à combustibles MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) sont un type de pile à combustible qui utilise un électrolyte à base de carbonate fondu. Elles fonctionnent à des températures élevées, aux alentours de 650°C, ce qui leur permet de produire de l'électricité avec une efficacité énergétique élevée et une faible émission de polluants.

Les MCFC ont la capacité d'utiliser divers types de combustibles tels que l'hydrogène, le méthane et le gaz de synthèse, et sont principalement utilisées pour produire de l'électricité dans des applications stationnaires, telles que la production d'électricité pour les bâtiments, les industries et les centrales électriques. Bien qu'elles aient également été étudiées pour une utilisation dans les véhicules à pile à combustible, leur taille et leur poids limitent leur application dans ce domaine.[14]

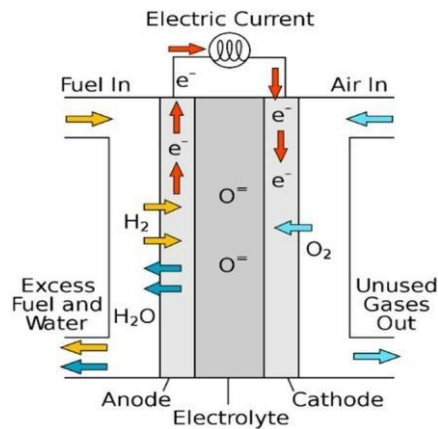
Cependant, leur construction nécessite des matériaux de qualité supérieure et leur utilisation à haute température peut entraîner des problèmes de corrosion et de durabilité.



**Figure 35: Les piles à combustibles MCFC [26]**

6) Les piles à combustibles SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) sont un type qui utilise un électrolyte solide en céramique pour conduire les ions. Elles fonctionnent à des températures élevées, généralement supérieures à 800°C, ce qui leur permet de produire de l'électricité avec une efficacité énergétique élevée et une faible émission de polluants.[15]

Les SOFC ont la capacité d'utiliser divers types de combustibles tels que l'hydrogène, le méthane et le gaz de synthèse, et sont principalement utilisées pour produire de l'électricité dans des applications stationnaires, telles que la production d'électricité pour les bâtiments, les industries et les centrales électriques. Bien qu'elles aient également été étudiées pour une utilisation dans les véhicules à pile à combustible, leur taille et leur poids limitent leur application dans ce domaine.[15]



**Figure 36: Les piles à combustibles SOFC[27]**

### III-4-6-Cycle couplé

-Définition :

Le cycle couplé est une référence à une configuration ou à un système où deux cycles thermodynamiques distincts sont combinés pour optimiser l'utilisation de l'énergie et améliorer l'efficacité globale du système.

-Les types :

- **Cycle Couplé Électrique-Thermique :** Il s'agit d'une configuration où la production d'électricité et la production de chaleur sont couplées pour maximiser l'efficacité énergétique. Dans ce système, une partie de la chaleur résiduelle provenant de la production d'électricité est récupérée et utilisée pour des applications thermiques,

telles que le chauffage ou la production de vapeur pour des processus industriels. Cela permet d'utiliser plus efficacement l'énergie disponible et de réduire les pertes thermiques.[7]

- **Cycle Couplé Gaz-Vapeur (Combined Cycle) :** Cette interprétation fait référence à une configuration spécifique dans le domaine de la production d'électricité. Dans un cycle couplé gaz-vapeur, une turbine à gaz est couplée à une turbine à vapeur pour augmenter l'efficacité globale de la centrale électrique. Le cycle de Brayton (turbine à gaz) produit initialement de l'électricité en utilisant le gaz naturel ou tout autre combustible gazeux. Ensuite, la chaleur résiduelle des gaz d'échappement de la turbine à gaz est récupérée pour générer de la vapeur, qui alimente une turbine à vapeur supplémentaire. Cette configuration permet d'exploiter plus efficacement l'énergie thermique disponible et d'améliorer le rendement global de la centrale électrique.[7]

## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

### III-5-Conclusion :

En conclusion, la production d'électricité par différentes voies offre une diversité d'options pour répondre à nos besoins énergétiques. Les avancées technologiques nous permettent aujourd'hui d'exploiter plusieurs sources d'énergie et de convertir celles-ci en électricité de manière efficace et durable.

Les différentes voies de production d'électricité comprennent l'utilisation des énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique et géothermique, ainsi que l'utilisation de combustibles fossiles tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole. Chacune de ces voies a ses propres avantages et inconvénients en termes de disponibilité, de coût, d'impact environnemental et de durabilité.

La production d'électricité à partir de biogaz présente de nombreuses opportunités et exige des équipements spécialisés pour une conversion électrique efficace de cette source d'énergie renouvelable.

La conversion électrique du biogaz se fait à travers différentes voies, chacune nécessitant des équipements spécifiques adaptés aux caractéristiques du biogaz et aux besoins de production d'électricité. Les moteurs à combustion interne et externe, les turbines à gaz et vapeur, les piles à combustible et le cycle couplé.

Enfin la production d'électricité à partir de biogaz représente ainsi une solution efficace et respectueuse de l'environnement pour répondre à nos besoins énergétiques.



## Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

### Liste de référence chapitre III

1. N DIAYE Papa Amadou, K.A., Production d'énergie électrique à partir d'un système photovoltaïque. 2019.
2. ENERGIE NUCLEAIRE:ENERGY NUCLEAIRE ET L'AGE NUCLEAIRE REUNIES.
3. Energie nucleaire. Societe de Production Documentaire: Paris.
4. Latreche, M.-T., Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien. 2018.
5. Ginocchio, R. and P.-L. Viollet, L'énergie hydraulique. 2012: Lavoisier.
6. KHERBOUCHE, D., Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse. 2011.
7. MEBARKI, B., Etude technoeconomique de la conversion électrique du biogaz en Algérie. Cas du CET de Batna. 2018, Université de Batna 2.
8. BENCHERIF, M., Moteurs à combustion interne, combustion et éléments de carburation. 2018.
9. EMBAREK, S. and M.Y. FASSOULI, Diagnostic De Fonctionnement d'une Turbine A Gaz. UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
10. Mihno, S. and V. Overko, LE MOTEUR DU STIRLING. LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT, L'UTILISATION. 2008.
11. Wahdame, B., Analyse et optimisation du fonctionnement de piles à combustible par la méthode des plans d'expériences. 2006, Université de Franche-Comté; Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
12. Bultel, Y., J. Klein, and J. Fouletier, Piles à combustible. La méthanisation (2e ed.), 2011: p. 348.
13. BENHALIMA, K., Etude de l'effet de la température et la concentration de méthanol sur une pile à combustible à méthanol direct passive en utilisant les propriétés d'une membrane d'échange protonique évaluée par des méthodes de caractérisation classique. 2016.
14. Fauvarque, J.-F. Les piles à combustible et leurs applications. in Annales De Chimie Science Des Matériaux. 2001. Elsevier.
15. Laurencin, J., FONCTIONNEMENT SOUS METHANE D'UNE PILE À COMBUSTIBLE «SOFC»: OPTIMISATION DES PERFORMANCES ET DE LA DURABILITE. 2008, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
16. Bechinia, I., Identification des elements d'une centrale électrique thermique approche multi-modele. 2010, Annaba.
17. Energie nucleaire. Societe de Production Documentaire: Paris.
18. levier du développement pour Madagascar, U., Mémoire de Maitrise.
19. Salhi, A., Etude d'une turbine à gaz pour la production d'électricité. 1984.
20. Talbi, C.E. and C. Chemam, Amélioration des performances d'une turbine à Gaz au moyen d'un régénérateur. 2016, Université Ibn Khaldoun.
21. Giraud, M. and J. Silet, Turbines à gaz aéronautiques et terrestres. 1992: TI.
22. Islas Samperio, J.M., De la turbine à vapeur à la turbine à gaz électrique: compétition technologique et formation d'un nouveau paradigme. 1995, Grenoble 2.
23. Mabrouk, W., Synthèse et caractérisation de nouvelles membranes protoniques: Applications en pile à combustible à membrane échangeuse de protons. 2012, Conservatoire national des arts et métiers-CNAM; Université Tunis El Manar ....
24. Dubau, L., Electrocatalyseurs platine-ruthénium nanodispersés pour une pile à combustion directe de méthanol. 2002, Poitiers.

### Chapitre III : La Production D'électricité A Partir De La Digestion Anaérobie Des Déchets

25. Fauvarque, J.-F. Les piles à combustible et leurs applications. in Annales De Chimie Science Des Matériaux. 2001. Elsevier.
26. Lamy, C. and J.-M. Léger, Les piles à combustible: application au véhicule électrique. Le Journal de Physique IV, 1994. 4(C1): p. C1-253-C1-281.
27. Candusso, D., et al., Piles à combustible PEMFC et SOFC-Description et gestion du système. 2007.

# **Chapitre IV : Estimation et simulation du potentiel énergétique de centre d'enfouissement**

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

## IV-1-Logiciel utilisé

### IV-1-2-Définition

Le programme de simulation de turbine à gaz, également connu sous le nom de "Gaz Turbine Simulation Programme" (GSP), est un logiciel utilisé pour modéliser et simuler le fonctionnement des turbines à gaz. Ces turbines à gaz sont des dispositifs utilisés pour produire de l'énergie mécanique en brûlant du gaz combustible.[2]

Le logiciel GSP permet de simuler les performances d'une turbine à gaz dans différentes conditions de fonctionnement, en prenant en compte des paramètres tels que la température d'entrée du gaz, la pression, le débit massique, le combustible utilisé, les caractéristiques de la turbine. En utilisant ces données, le logiciel effectue des calculs et des simulations pour estimer les performances de la turbine à gaz, y compris son rendement énergétique, sa puissance de sortie, sa consommation de carburant, les températures de sortie.[1]

Le programme de simulation de turbine à gaz peut être utilisé dans diverses applications, telles que la conception de turbines à gaz, l'optimisation des performances, l'analyse de scénarios de charge, l'évaluation des performances énergétiques, la formation des opérateurs. Il permet aux ingénieurs et aux professionnels de mieux comprendre le comportement d'une turbine à gaz dans différentes conditions et de prendre des décisions éclairées pour améliorer son fonctionnement et son efficacité.

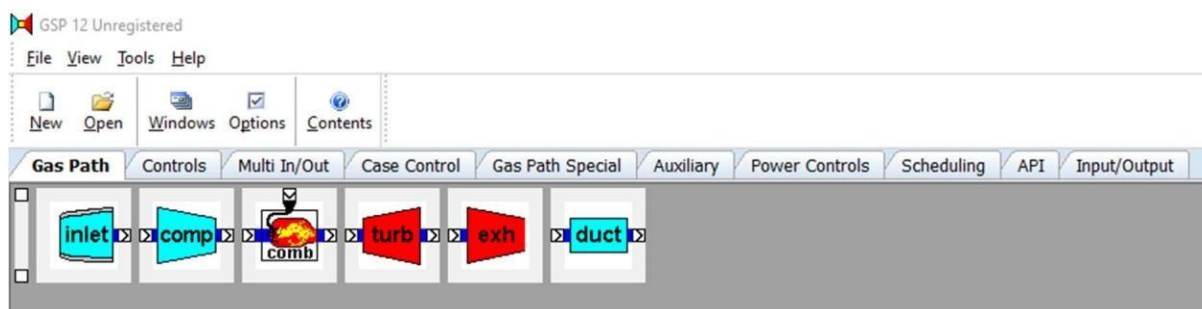


Figure 37: Présentation de logiciel GSP 12

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

## IV-1-2-Historique

Il semble que GSP ait été initialement développé à l'Université technique de Delft (TUD) au département aérospatial en 1986. Le logiciel a été créé en réponse aux limitations et aux problèmes de stabilité numérique de DYNGEN, un programme de simulation de moteurs à réaction et à double flux de la NASA.

GSP a été conçu pour hériter des fonctionnalités de DYNGEN tout en améliorant ses lacunes, notamment en termes de stabilité, de vitesse des processus d'itération numérique et d'interface utilisateur. Au fil du développement, des améliorations, des ajustements et des extensions supplémentaires ont été apportés à GSP afin de permettre une simulation pratique des moteurs à réaction génériques.[1]

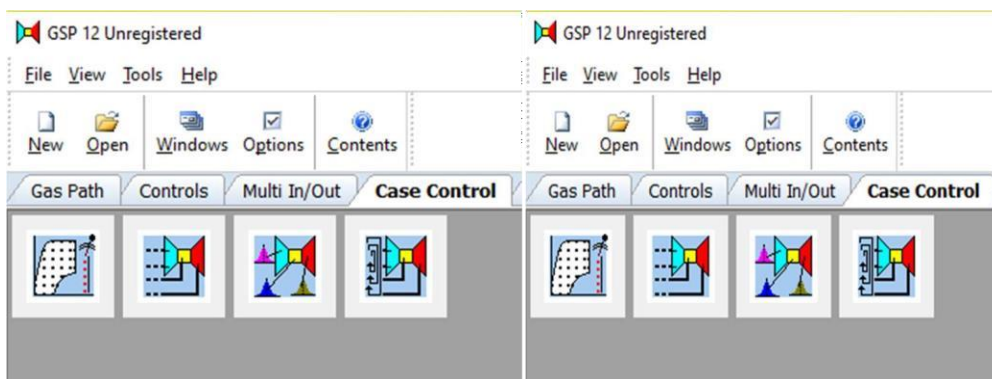
Le développement de GSP s'est ensuite poursuivi au sein de l'institut national de recherche en aérospatiale des Pays-Bas (NLR). Le programme a été converti en FORTRAN77, puis plus tard, avec l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs de bureau à des prix abordables, il a été porté sur Borland Delphi, un environnement de développement logiciel qui utilise l'orientation objet. Delphi a permis une adaptation rapide et offrait des moyens efficaces pour maintenir et étendre les fonctionnalités du programme.

Ces informations donnent un aperçu du contexte et de l'évolution du développement du logiciel GSP depuis son origine à l'Université technique de Delft jusqu'à son utilisation continue et son amélioration au NLR.

## IV-1-3-les composants de logiciel

Il semble que dans le cas spécifique du logiciel GSP 12, les utilisateurs ont la possibilité de personnaliser leur simulation de turbine à gaz en construisant le moteur à turbine à gaz souhaité à partir d'une liste de composants prédéfinis.

Les composants peuvent inclure des éléments tels que le compresseur, la chambre de combustion, la turbine, les échangeurs de chaleur, les conduites.[1]



# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

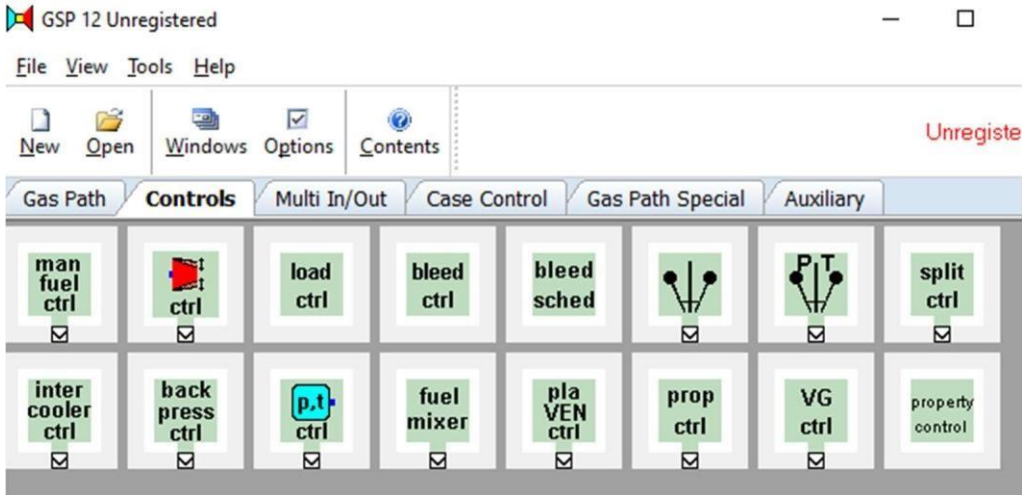


Figure 38: Les composants du logiciel

## IV-2- Estimation des quantités de déchets au centres de Tlemcen :

	population	Déchets ménagers kg /j
Tlemcen	162182	99550
Mansourah	70701	50250
Chetouane	74111	44250
Amieur	13312	8420
Hennaya	36944	24550
Ain fezza	9869	6890
Remchi	48729	31280
Ouled Riah	4329	2960
zenata	4011	3000
Ben sakrane	12666	9440
Oued lkhdar	6594	4940

Figure 39: La quantité des déchets pour chaque région[3]

La quantité total des déchets par jour dans le centre d'enfouissement de Tlemcen est la somme des quantités des déchets des différents régions est égal à **285530 kg/j**(285.53 tonnes par jour) [3],

Les déchets contiennent environ 60 % de matière organique, donc la quantité de la matière organique dans ces déchets serait donc de **171 Tonnes/j.**[4] [5]

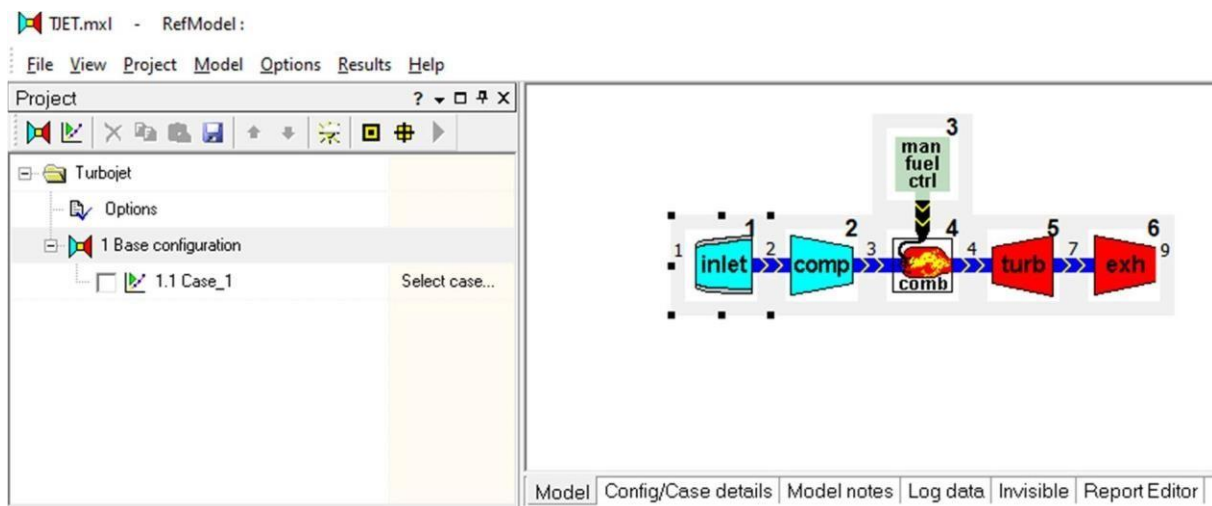
## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

De même la conversion de la matière organique du biogaz peut atteindre environ 50% de cette quantité, cela donne **85.5 Tonnes /j** du biogaz. [6] [4]

Donc le débit massique est **85500 kg /j = 0.98kg/s**

### IV-3-Application du logiciel GSP12

Pour commencer, il faut ouvrir le projet "TJET " à partir du modèle de turbine à gaz dans le logiciel. Ce projet spécifique est basé sur le modèle de turbine à gaz fourni dans le projet d'exemple appelé "Sampleproject".



**Figure 40: Modèle de la turbine a gaz dans le GSP 12**

Dans le modèle choisit de turbine à gaz, chaque composant possède des entrées et des sorties spécifiques. Qu'on pourra modifier les paramètres de chaque composant en fonction des données relatives au biogaz produit dans la station .[7]

1- L'entrée de turbine à gaz (Inlet ) :

Dans notre cas, le débit massique du méthane qui circule à travers ce composant de la turbine à gaz par unité de temps est : 0.98 kg/s.

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

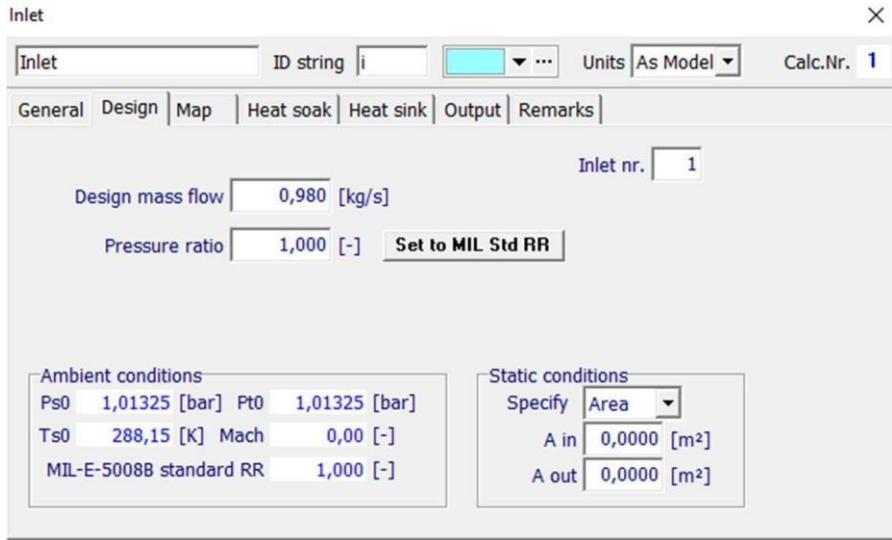


Figure 41:L'entrée de la turbine a gaz sur GSP12

2- Le compresseur ( comp ):

On a pris la vitesse du rotor par défaut

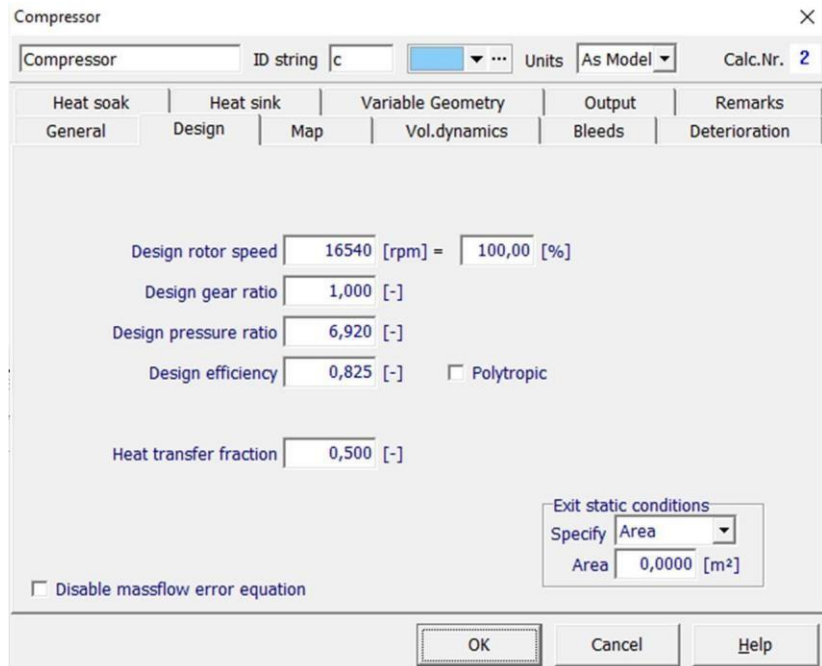


Figure 42: Fenêtre de compresseur

3- La chambre de combustion (comb) :



## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

The screenshot shows the 'Combustor' software interface. At the top, there is a title bar with 'Combustor' and a close button. Below the title bar, there are fields for 'Combustor' (containing 'Combustor'), 'ID string' (containing 'b'), a color selection dropdown, 'Units' (set to 'As Model'), and 'Calc.Nr.' (set to '4').

The main area is divided into several tabs: 'Fuel', 'Fuel pump', 'Water Inj.', 'Heat soak', 'Heat sink', 'Output', 'Remarks', 'General', 'Design', 'Pressure Loss', 'Emissions', 'Vol.dynamics', and 'Design Fuel'. The 'Design' tab is currently selected.

Under the 'Specify' section, there are four radio buttons: 'Fuel flow Wf' (selected), 'Exit temperature', 'Fuel-Air Ratio', and 'Stator Outlet Temp SOT'. To the right of these are input fields for 'Wf' (0.98 [kg/s]), 'Texit' (1231,90 [K]), 'FAR' (0,019095 [-]), and 'SOT' (1231,90 [K]). There is an 'Update input to DP' button.

Below this, there are two input fields: 'Design combustion efficiency' (0,9950 [-]) and 'Design point rel. pressure loss' (0,0400 [-]). There are also two checkboxes: 'Zero Wf in design Calc. (afterburner)' and 'Zero Wf and premixed combustion', both of which are unchecked.

On the right side, there are two sections: 'Burner static conditions' with a 'Duct cross area' input field (0,3800 [m²]), and 'Exit static conditions' with a 'Specify' dropdown menu (set to 'Mach') and a 'Mach' input field (0,15129 [-]).

At the bottom, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

**Figure 43:Fenêtre de la chambre de combustion**

Le biogaz produit est un mélange de différents gaz, notamment du méthane ( $\text{CH}_4$ ), du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de quelques gaz traces tels que Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), et l'azote ( $\text{N}_2$ ). La composition du biogaz peut varier en fonction du type de substrat utilisé dans le processus de digestion anaérobie. une composition moyenne typique des molécules est la suivante : [4] [8]

- Méthane ( $\text{CH}_4$ ) : 60 à 70%
- Dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) : 25 à 35%
- Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) : 100 à 5000 ppm (0,01 à 0,5%)
- Azote ( $\text{N}_2$ ) : 2 à 5%
- Présence de traces d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )

Ces pourcentages sont donnés à titre indicatif et peuvent varier en fonction des conditions de digestion, de la nature des déchets traités et d'autres facteurs. Il est important de noter que la teneur en méthane est un indicateur clé de la valeur énergétique du biogaz, car le méthane est le principal constituant combustible qui peut être utilisé pour produire de l'énergie.[7]

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

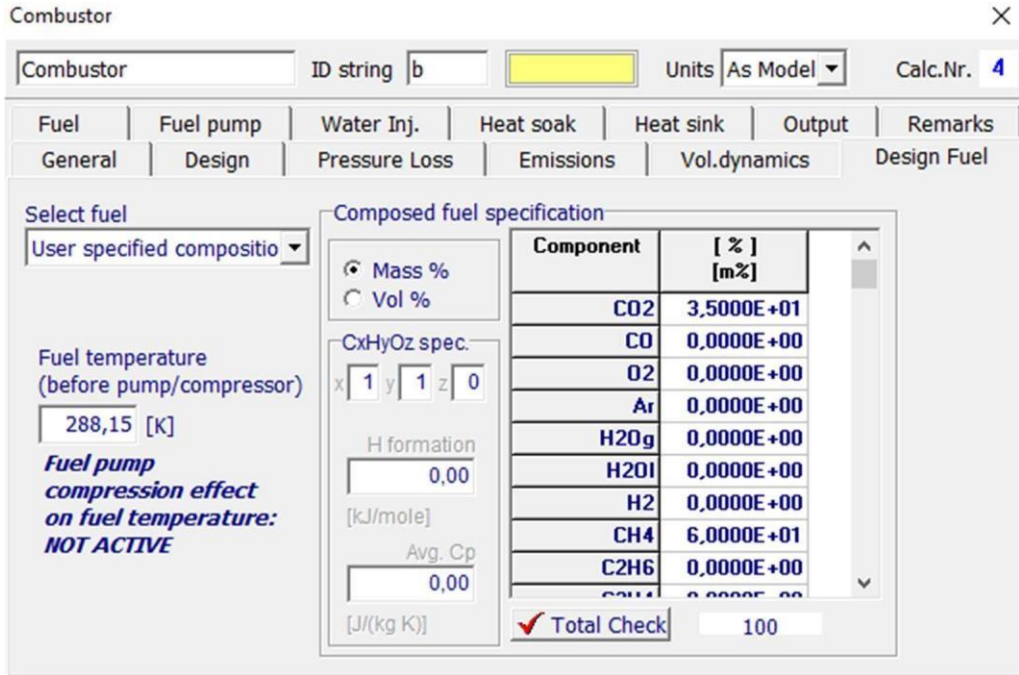
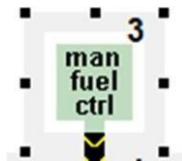


Figure 44:Le choix du carburant utilisé dans la chambre de combustion

4- Le contrôleur du carburant (man fuel ctrl) :

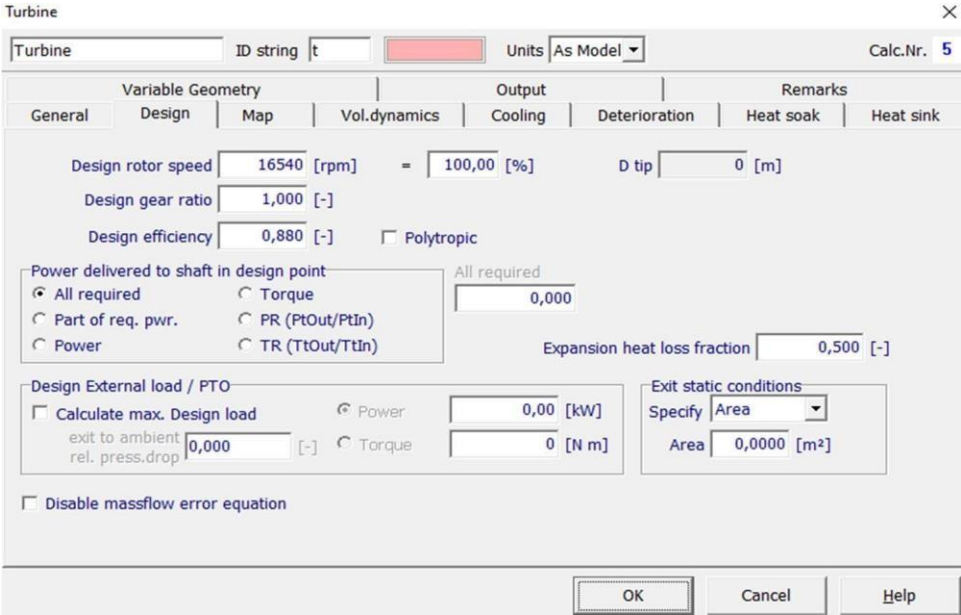


Le composant de contrôle du débit de carburant est une partie essentielle d'un système de combustion. Il est responsable de réguler la quantité de carburant fournie au processus de combustion en fonction des besoins et des paramètres spécifiques du système.

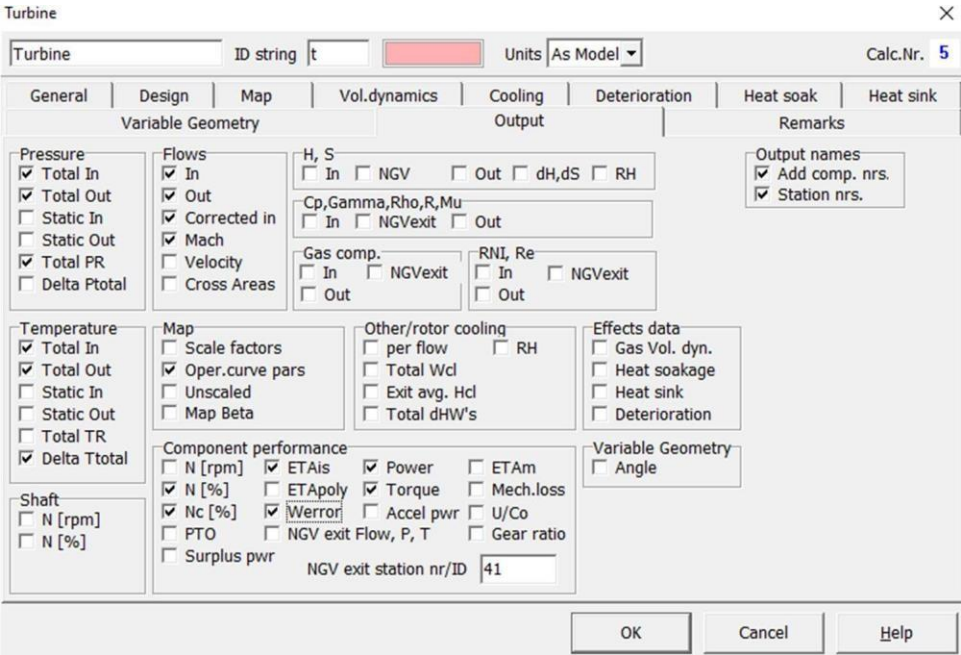
5- La turbine :

Le choix des paramètres d'entrée et de sortis

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement



**Figure 45: Les caractéristiques d'entrée de la turbine**



**Figure 46: Les caractéristiques de sortie de la turbine**

## 6- L'échappement ( exh ) :

L'échappement de la turbine fait référence aux gaz qui sont expulsés par la turbine après avoir été utilisés pour produire de l'énergie mécanique. Dans le contexte d'une turbine à gaz, l'échappement se produit à la sortie de la turbine, où les gaz d'échappement chauds sont libérés dans l'environnement.

# Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement



Figure 47:La fenêtre d'échappement

### IV-3-1-Résultats obtenus et interprétations

Inlet			
Tt1 [K]	Pt1 [bar]	W1 [kg/s]	Wc1 [kg/s]
288,15	1,01325	0,980	0,980

## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

Compressor															
T2 [K]	P2 [bar]	W2 [kg/s]	Wc2 [kg/s]	T3 [K]	P3 [bar]	W3 [kg/s]	PR_c [-]	N1 [rpm]	N%1 [%]	N%_c [%]	Nc_c [%]	PWshaft_c [kW]	Eta_c [-]	TQ_c [Nm]	SM_c [%]
288,15	1,01325	0,980	0,980	542,32	7,01169	0,980	6,920	16540	100,00	100,00	100,00	253,42	0,8250	146,31	0,00

Combustor		
Tt4 [K]	Pt4 [bar]	W4 [kg/s]
2322,35	6,73122	1,960

Turbine											
Wc4 [kg/s]	M7 [-]	PR_t [-]	dTt_t [K]	N%_t [%]	Nc_t [%]	PWshaft_t [kW]	Eta_t [-]	TQ_t [Nm]	Werror_t [-]	Wcompc_t [kg/s]	
0,9046		1,2449		100,00	100,00	255,98	0,8800	147,788		0,9046	

Exhaust nozzle								
Tt7 [K]	Pt7 [bar]	W7 [kg/s]	Wc7 [kg/s]	Tt9 [K]	Ts9 [K]	Pt9 [bar]	Ps9 [bar]	W9 [kg/s]
2259,37	5,40723	1,960	1,1096	2290,85	2020,87	5,24316	2,99867	1,960

**Figure 48: Résultats obtenus de la simulation**

Interprétation :

D'après la simulation de la turbine à gaz, on a obtenu plusieurs paramètres qui sont indiquées sur la figure 48 et qui sont:

- ✓ La température qui indique la quantité de chaleur impliquée dans le processus,
- ✓ La pression qui mesure la force exercée de la turbine,
- ✓ Le débit du carburant représente la quantité de fluide,
- ✓ La vitesse du rotor et la puissance mécanique.

Leur augmentation peut signaler une conversion efficace de l'énergie thermique en énergie mécanique.

## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

Global system performance data:						DesignPoint
FN	=	2,579	[kN]			
TSFC	=	1,36817	[kg/(N h)]			
Rotor speeds:						
N1	=	16540	[rpm]	=	100,00	[%]

Engine station data:							DesignPoint
Station	W[kg/s]	Tt[K]	Ts[K]	Pt[bar]	Ps[bar]	Wc[kg/s]	
a	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
1	0,98000	288,15	*****	1,013250	*****	0,98000	
2	0,98000	288,15	*****	1,013250	*****	0,98000	
3	0,98000	542,32	*****	7,011690	*****	*****	
4	1,96000	2322,35	*****	6,731222	*****	0,90460	
41	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
7	1,96000	2259,37	*****	5,407227	*****	1,10957	
8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
9	1,96000	2290,85	2020,87	5,243156	2,998674	*****	

**Figure 49: Rapport des résultats**

Interprétation :

La puissance mécanique produite par la turbine à gaz est de 255.98 Kw. Cette puissance mécanique peut être convertie en puissance électrique à l'aide d'un alternateur triphasé. Supposons que les pertes de l'alternateur soient négligeables et que le rendement de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique soit de 0.8 (un rendement de 80%).[8]

Le rendement représente l'efficacité du système dans la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique.

Pour calculer la puissance électrique produite par l'alternateur, on multiplie la puissance mécanique par le rendement :

$$\text{Puissance électrique} = \text{Puissance mécanique} \times \text{Rendement}$$

$$\text{Puissance électrique} = 255.98 \times 0.8 \text{Kw}$$

$$\text{Puissance électrique} = 204.78 \text{ kw}$$

Donc l'énergie électrique produite est 737208 kwh , ce qui donne 6458 Gwh/an.

L'énergie électrique produite à partir de la quantité de biogaz générée dans une station d'enfouissement peut être significative et peut contribuer à réduire la consommation d'électricité provenant des réseaux électriques traditionnels.

## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

### IV-3-2- L'analyse de l'effet de changement de débit de carburant sur la puissance produite

On va rentrer un nombre de point et un intervalle de débit de carburant utilisé, ces changements se font dans le contrôleur de carburant.

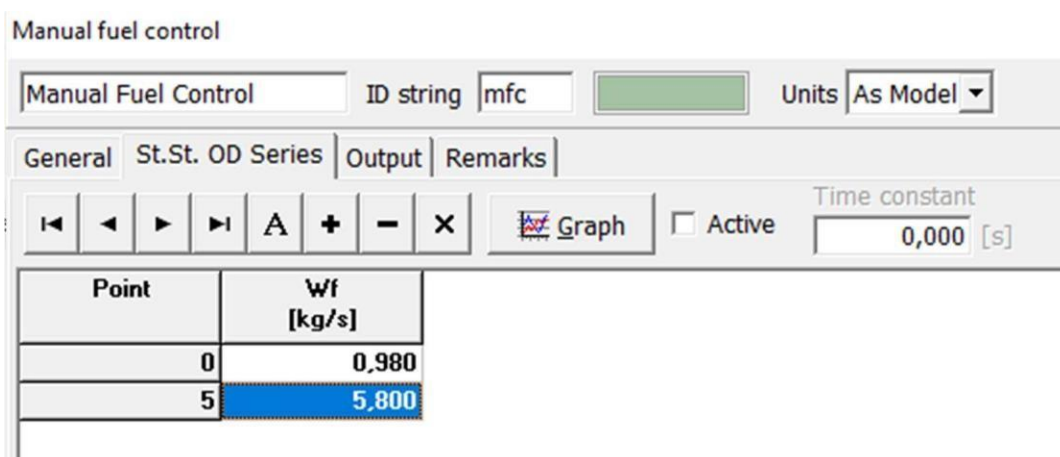


Figure 50:Le contrôleur de débit de carburant

Après la simulation on obtient 5 points différents

Inlet						
Tt1 [K]	Pt1 [bar]	W1 [kg/s]	Wc1 [kg/s]	Tt2 [K]	Pt2 [bar]	W2 [kg/s]
288,15	1,01325	0,980	0,980	288,15	1,01325	0,980
288,15	1,01325	2,200	2,200	288,15	1,01325	2,200
288,15	1,01325	3,500	3,500	288,15	1,01325	3,500
288,15	1,01325	4,700	4,700	288,15	1,01325	4,700
288,15	1,01325	5,800	5,800	288,15	1,01325	5,800

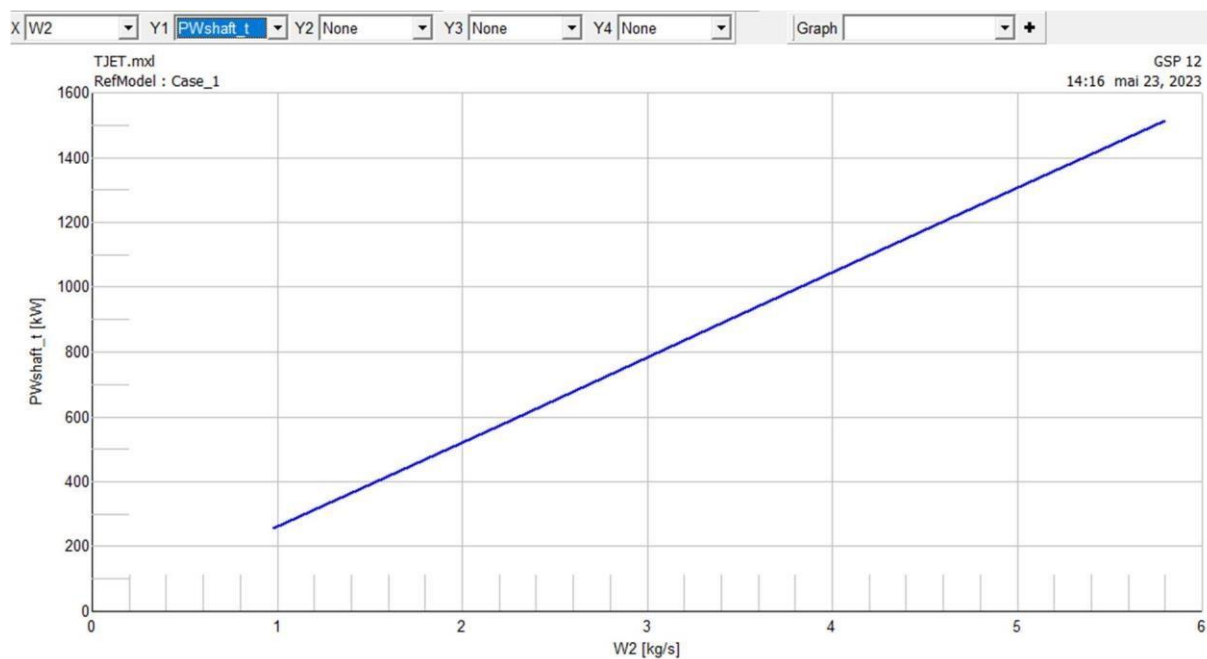
Turbine									
Wc4 [kg/s]	Tt7 [K]	Pt7 [bar]	W7 [kg/s]	M7 [-]	PR_t [-]	dTt_t [K]	N%_t [%]	Nc_t [%]	PWshaft_t [kW]
0,9046	2259,37	5,40723	1,960	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	255,98
2,0307	2259,37	5,40723	4,400	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	574,65
3,2307	2259,37	5,40723	7,000	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	914,21
4,3384	2259,37	5,40723	9,400	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	1227,65
5,3537	2259,37	5,40723	11,600	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	1514,97

Figure 51:L'effet de changement du débit sur la puissance produite

## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

Interprétation du tableau obtenu :

Selon le tableau obtenu , lorsqu'on varie le debit du carburant on constate que la puissance mecanique augmente avec l'augmentation du debit , contrairement a la pression et la température restent constante .



**Figure 52:La puissance produite en fonction de débit de carburant**

Interprétation du graphe :

La puissance de notre turbine varie de manière proportionnelle à la variation du débit de carburant. En d'autres termes, chaque augmentation du débit de carburant entraîne une augmentation de la puissance, tandis que chaque diminution du débit de carburant entraîne une diminution de la puissance.

### IV-3-3- Une analyse comparative entre les carburant

Une étude comparative entre le biogaz et d'autres carburants peut être réalisée pour évaluer leurs caractéristiques et performances

Ligne 1 présente le biogaz

Ligne 2 présente méthane pur



## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

Ligne 3 présente le diesel

Turbine								
Tt7 [K]	Pt7 [bar]	W7 [kg/s]	M7 [-]	PR_t [-]	dTt_t [K]	N%_t [%]	Nc_t [%]	PWshaft_t [kW]
2259,37	5,40723	1,960	0,000	1,2449	-62,98	100,00	100,00	255,98
2314,16	5,44763	1,960	0,000	1,2356	-58,81	100,00	100,00	255,98
2342,57	5,41032	1,960	0,000	1,2441	-60,77	100,00	100,00	255,98

**Figure 53:Le rapport comparatif entre les différents types de carburant**

Interprétation :

D'après les résultats obtenus on remarque que la puissance mécanique ne change pas, par contre le changement de carburant influe sur d'autres paramètres comme la pression et la température.

### IV-4-Conclusion

Le programme de simulation de turbine à gaz GSP (Gas Turbine Simulation Program) est un outil puissant utilisé pour modéliser et étudier le fonctionnement des turbines à gaz. Il offre une représentation virtuelle détaillée des processus physiques et thermodynamiques qui se produisent à l'intérieur de ces machines.

Les valeurs obtenues sont la température, la pression, le débit, la puissance mécanique et la vitesse du rotor fournissent des informations essentielles sur le fonctionnement de la turbine. Tel qu'avec un débit de 0.98 kg/s on a obtenu une puissance mécanique de 255.98Kw.

D'après la relation entre la puissance électrique produite, la puissance mécanique fournie et le rendement du système nous avons obtenu une puissance électrique égale à 204.78Kw.

Logiciel GSP offre donc une approche précise et fiable pour évaluer les performances des turbines et optimiser leur fonctionnement. Elle constitue un outil précieux pour les ingénieurs et les chercheurs travaillant dans le domaine de l'énergie, permettant de prendre des décisions éclairées et d'améliorer la conception et l'efficacité des systèmes énergétiques.

En résumé, le programme de simulation de turbine à gaz GSP offre une plateforme de modélisation avancée pour comprendre, analyser et optimiser les performances des turbines à gaz. Il constitue un outil essentiel pour l'industrie de l'énergie, permettant de développer des turbines plus efficaces et de maximiser la conversion d'énergie mécanique en énergie électrique.

## Chapitre IV : Estimation Et Simulation Du Potentiel Energétique De Centre D'enfouissement

### Liste de référence chapitre IV

1. Visser, W.P. and M.J. Broomhead, GSP A generic object-oriented gas turbine simulation environment. 2000.
2. Visser, W.P., Generic Analysis Methods for Gas Turbine Engine Performance: The development of the gas turbine simulation program GSP. 2015.
3. Kihal, M., Contribution à l'étude de décharge de Saf Saf (Tlemcen. 2015.
4. DU, M.P.L.O. and D.D.E.A. DEA, MODELISATION D'UNE DIGESTION ANAEROBIE DU LISIER DE PORC.
5. Damien, A., Guide du traitement des déchets. 2004: Dunod Paris.
6. Igoud, S., et al., Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines. Revue des Energies Renouvelables, 2002. **5**: p. 123-128.
7. HAOUAM, S.E. and S. HASSAINE, ETUDE DU POTENTIEL DE VALORISATION ENERGETIQUE DU BIOGAZ DE LA STATION D'EPURATION BARAKI. 2020, Directeur: Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE/Co-directeur: Mme.GHOMRI Amina.
8. HAOUAM, S.E. and S. HASSAINE, PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DELA COMBUSTION DU BIOGAZ ISSU DE BIOMASSE. 2020, Directeur: Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE/Co-directeur: Mme. GHOMRI Amina.

# **Conclusion Générale**

# Conclusion Générale

La production d'énergie électrique à partir du biogaz généré dans une station d'enfouissement peut être considérable, ce qui permet de réduire la dépendance aux réseaux électriques classiques.

Le biogaz produit dans une station d'enfouissement est le résultat de la décomposition des déchets organiques. Il est principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone. Ce biogaz peut être collecté, traité et utilisé comme combustible pour alimenter des générateurs d'électricité.

En convertissant le biogaz en énergie électrique, la station d'enfouissement peut produire sa propre électricité et réduire ainsi sa consommation en provenance des réseaux électriques traditionnels. Cette énergie électrique peut être utilisée pour alimenter les opérations de la station d'enfouissement, comme l'éclairage, les équipements de traitement des déchets, etc. De plus, si la production dépasse les besoins de la station, l'excédent peut être injecté dans le réseau électrique local, contribuant ainsi à l'approvisionnement en électricité de la communauté environnante.

Cela présente plusieurs avantages environnementaux et économiques. Premièrement, cela permet de valoriser le biogaz produit dans la station d'enfouissement, transformant ainsi un déchet en une source d'énergie utile. Deuxièmement, cela réduit la dépendance aux sources d'électricité traditionnelles, ce qui peut avoir un impact positif sur l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Enfin, cela peut également offrir des avantages économiques en réduisant les coûts liés à l'achat d'électricité provenant du réseau électrique.

En tenant compte de notre étude, nous avons obtenu une puissance mécanique de 255.98 kW avec un débit de 0.98 kg/s. Ensuite en utilisant la relation entre la puissance électrique produite, la puissance mécanique fournie et le rendement du système, nous avons calculé une puissance électrique de 204.78 kW, représentant l'énergie électrique générée par le système.

Il est important de noter que la quantité d'énergie électrique produite dépend de la quantité de biogaz générée dans la station d'enfouissement et de l'efficacité du système de conversion en électricité.

1. Lacour, J., *Valorisation de résidus agricoles et autres déchets organiques par digestion anaérobie en Haïti*. 2012.
2. Laskri, N., O. Hamdaoui, and N. Nedjah, *Traitement et valorisation des déchets par procédé de digestion anaérobie: production du biogaz*. Revue des Energies Renouvelables CER, 2007. **7**: p. 23-26.
3. Garcia, J.-L., *Les bactéries méthanogènes*. CR Acad. Agric. Fr, 1998. **84**: p. 23-33.
4. Bollon, J., *Etude des mécanismes physiques et de leur influence sur la cinétique de méthanisation en voie sèche: essais expérimentaux et modélisation*. 2012, INSA de Lyon.
5. Cousin, J., *Les voies humides: le biogaz*. 1997.

6. Boutin, O., J.-H. FERRASSE, and S. LEFEVRE, *Procédés d'oxydation en voie humide*. 2011.
7. Hadri, K., et al., *Conception et réalisation d'un digesteur solaire de type batch*. Revue des Energies Renouvelables ICRESD-07 Tlemcen, 2007: p. 97-100.
8. Kadir, L. and M. Aziza, *Traitement et valorisation du biogaz*.
9. Boucly, P., *Expérience in situ et modélisation du comportement des cavités salines utilisées pour le stockage de gaz*. Revue française de Géotechnique, 1982(18): p. 49-57.
10. Chevalier, S., J. Gauthier, and O. Banton, *Évaluation du potentiel géothermique des nappes aquifères avec stockage thermique: revue de littérature et application en deux contextes typiques du Québec*. Canadian Journal of Civil Engineering, 1997. **24**(4): p. 611-620.
11. Hassen, F.H. *Le revêtement des cavités minées lors du stockage de la chaleur*. in *Hautes températures pour le stockage électrique*. 2012.
12. Fressoz, J.-B., *Gaz, gazomètres, expertises et controverses. Londres, Paris, 1815-1860*. Le Courrier de l'environnement de l'INRA, 2012. **62**(62): p. 31-56.
13. Riva, M., *Procédés de purification du biométhane: étude thermodynamique des équilibres solide-liquide-vapeur de mélanges riches méthane*. 2016, Paris Sciences et Lettres (ComUE).
14. Simpore, S., *Modélisation, simulation et optimisation d'un système de stockage à air comprimé couplé à un bâtiment et à une production photovoltaïque*. 2018, La Réunion.
15. ABDELHAK, D., *Les Risques Liés à la Gestion du centre d'Enfouissement Technique de Chetouane (Tlemcen-Nord ouest Algérien)*. 2010, Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2.
16. Bechinia, I., *Identification des éléments d'une centrale électrique thermique approche multi-moèle*. 2010, Annaba.
17. *Energie nucléaire*. Societe de Production Documentaire: Paris.
18. levier du développement pour Madagascar, U., *Mémoire de Maitrise*.
19. Salhi, A., *Etude d'une turbine à gaz pour la production d'électricité*. 1984.
20. Talbi, C.E. and C. Chemam, *Amélioration des performances d'une turbine à Gaz au moyen d'un régénérateur*. 2016, Université Ibn Khaldoun.
21. Giraud, M. and J. Silet, *Turbines à gaz aéronautiques et terrestres*. 1992: TI.
22. Islas Samperio, J.M., *De la turbine à vapeur à la turbine à gaz électrique: compétition technologique et formation d'un nouveau paradigme*. 1995, Grenoble 2.
23. Mabrouk, W., *Synthèse et caractérisation de nouvelles membranes protoniques: Applications en pile à combustible à membrane échangeuse de protons*. 2012, Conservatoire national des arts et metiers-CNAM; Université Tunis El Manar ....
24. Dubau, L., *Electrocatalyseurs platine-ruthénium nanodispersés pour une pile à combustion directe de méthanol*. 2002, Poitiers.
25. Fauvarque, J.-F. *Les piles à combustible et leurs applications*. in *Annales De Chimie Science Des Matériaux*. 2001. Elsevier.
26. Lamy, C. and J.-M. Léger, *Les piles à combustible: application au véhicule électrique*. Le Journal de Physique IV, 1994. **4**(C1): p. C1-253-C1-281.
27. Candusso, D., et al., *Piles à combustible PEMFC et SOFC-Description et gestion du système*. 2007.