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

Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
Faculté de la Technologie
Département d'Electrotechnique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master (LMD)

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Intitulé :

Etude et réalisation d'un dispositif pour la production de gaz méthane à partir de la biomasse et/ou les déchets agricoles

Présenté par :

Amer kheira
Bouzerouata Amira El Hassna

Devant le jury composé de :

Pr. Meziane Rachid	Président
Dr. Raouti Driss	Encadreur
Pr. Bouchikhi Abdelaziz	Examinateur

Soutenu le 30/06/2020
Promotion 2019-2020

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier dieu de nous avoir procuré le courage et la volonté qui nous ont permis de parvenir à notre objectif.

Nous remercions très chaleureusement notre encadreur Dr. ***Raouti Driss****, Maitre de conférences ''A'' à l'Université Dr. Moulay Taher –Saida – qu'a aménagé touts ses efforts pour que ce mémoire puisse voir le jour. Nous lui exprimons notre gratitude de nous avoir dirigé, encouragé et surtout aidé afin de réaliser ce travail.*

Nous adressons également nos remerciements aux membres des jurys Dr Meziane Rachid Professeur à l'Université docteur Moulay Taher –Saida, pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury et le professeur Bouchikhi Abdelaziz pour avoir accepté l'évaluation de ce mémoire et d'en être les examinatrices.

Nous remercions tous les enseignants de département d'électrotechnique, en particulier ceux de l'option de réseaux électriques qui nous ont encadré durant notre formation.

Nous remercions également Mr. Hamlet Aissa l'ingénieur du laboratoire réseaux électriques pour sont soutient pratique et l'accueil de notre dispositif et nos expériences au sein du laboratoire au département d'électrotechnique à la faculté des sciences et technologie.

Pour terminer, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce projet de fin d'étude de prêt ou de loin.

Table de matière :

Remerciements :

Table de matière :

Introduction générale ……..... **12**

Chapitre I : Généralités sur les sources d'énergie

I.1 introduction **……..…….……** **13**

I.1.1 définition des sources d'énergie **……..…..…** **13**

I.1.2 Les transformations dans la forme d'énergie **…….……** **13**

I.1.2.1 Energie primaire**…….** **14**

I.1.2.2 Energie secondaire **……..……...** **14**

I.1.2.3 Energie finale**……..……...** **14**

I.1.2.4Energie utile **……...……** **14**

I.2 Classification des sources de production de l'énergie **……...……..…** **15**

I.2.1 Sources non renouvelables**……..……...** **15**

I.2.1.1 Les énergies fossiles**…….…** **18**

I.2.1.2 Sources nucléaire**……....…….....……..……..….** **18**

I.2.2 Sources renouvelables**……....…….……** **20**

I.2.2.1 Energie solaire**……....** **20**

I.2.2.2 Aérogénérateur (éolienne)**……...……....** **23**

I.2.2.3 L'énergie hydraulique **……...……..** **25**

I.2.2.4 La géothermique **……..……** **28**

I.2.2.5 La biomasse **……..……...** **29**

I.3 Situation et développement des sources d'énergie**……..…….** **31**

I.3.1 Production d'énergie dans le monde **……..……...** **31**

I.3.2 Situation d'énergies en Algérie **…….……..** **33**

I.3.2.1 Programme de développement des énergies renouvelables **……..…….** **34**

I.3.2.2 Le plan de développement des investissements en énergie renouvelables**…** **35**

I.4 Conclusion **……..……** **36**

Chapitre II : Production des certaines énergies à partir de la biomasse

II.1 Introduction …… **38**

II.1.1 Concept de la biomasse…… **38**

II.1.2 Composition de la biomasse…… **38**

II.1.3 Propriété de biomasse…… **39**

II.1.4 La matière organique …… **40**

II.1.4.1 Composition chimique de la matière organique …… **40**

II.1.4.2 Caractéristiques chimiques de la matière organique…… **41**

II.2 Les transformations de la biomasse…… **41**

II.2.1 Compactage et séchage de la matière…… **42**

II.2.2 Technique de conversation primaire …… **42**

II.2.2.1 Processus thermochimique (voie sèche)…… **44**

II.2.2.2 Processus biochimique (voie humide)…… **45**

II.2.2.3 Extraction mécanique (biomasse oléaneux et aquatique)…… **47**

II.2.3 La conversation secondaire…… **48**

II.3 Situation de la source d'énergie de la biomasse…… **49**

II.3.1 Etat actuel de la production de biomasse à travers le monde …… **49**

II.3.2 Biomasse en Algérie …… **49**

II.3.2.1 Expériences de valorisation de la Biomasse en Algérie …… **50**

II.3.2.2 Ressources de la biomasse en Algérie…… **52**

II.4 Conclusion …… **53**

Chapitre III : Approche pratique sur la méthanisation

III.1 Introduction ……..…… **54**

III.1.1 Principe de méthanisation ……. **54**

III.1.2 Les intrants …… **55**

III.2 Processus de fermentation…… **56**

III.2.1 Phases de dégradation en méthanisation……...…… **57**

III.2.1.1 Phase aérobie de dégradation ……..……. **57**

III.2.1.2 Phases anaérobie de dégradation …….. **57**

III 2.2 Aspect physico-chimie de dégradation anaérobie……... **59**

III.2.2.1 Substances nutritives…….. **59**

III.2.2.2 Température……..….. **60**

III.2.2.3 Potentiel hydrogène ph…… **60**

III.2.2.4 Le rapport C/N…… **60**

III.2.2.5 Pouvoir calorifique ……..…….. **61**

III.2.2.6 Niveau d'humidité……..…… **61**

III.3 Le biogaz produit ……..…… **61**

III.3.1 Composition du biogaz…….. **61**

III.3.2 Caractéristiques du biogaz……. **62**

III.4 Valorisation du biogaz…….……. **62**

III.4.1 Traitement de biogaz avant valorisation ……..……... **64**

III.4.1.1 Epuration du biogaz en sortie du digesteur……. **64**

III.4.1.2Purificationde biogaz (éliminer de co_2)……...…… **66**

III.4.1.3Stockageetdistributionde biogaz……...…… **66**

III.4.2Voiesde valorisation de biogaz…….…… **66**

III.4.2.1Voiethermique ……..……. **67**

III.4.2.2Voieélectrique ……..…..…….. **67**

III.4.2.3Biométhane carburantes…….. **68**

III.4.2.4 L'injection dans le réseau de gaz naturel…… 68

III.4.3 Risques liés au biogaz…… 69

III.5Lescoproduits…… 69

III.5.1Le digestat…… 69

III.6Conclusion…… 70

Chapitre IV : Réalisation et expérimentation d'un dispositif de méthanisation

IV. 1 Introduction…… 72

IV. 1.1 objectif du travail expérimental..... 72

IV.1.2 Montage expérimentale …… 73

IV.1.3 La liste du Matériels…….... 74

IV.2 Réalisation du dispositif expérimental…….. 74

IV.2.1 Premier prototype…….. 75

IV.2.1.1 Mis en œuvre des expériences …….. 76

IV.2.1.2 1er expérience…… 76

IV.2.2 deuxième prototype…… 77

IV.2.2.1 2émé expérience…… 77

IV.3 Résultats et discussion …….. 77

IV.3.1 Constations sur le développement de processus de fermentation……. 78

IV .5 Conclusion …….. 81

Conclusion générale…… 83

Bibliographie

La liste de figures :

Chapitre I :

Figure I.1 : Schéma de source géologique du gaz naturel ……. **16**

Figure I.2 : Fission nucléaire ……. **18**

Figure I. 3 : Fonctionnement d'une centrale nucléaire ……. **19**

Figure I.4 : Exemple d'une énergie solaire thermique dans une maison ……. **21**

Figure I.5: Panneaux photovoltaïques (captage de la lumière du soleil) pour Production d'électricité ……. **22**

Figure I.6: Composition d'une éolienne horizontale ……. **24**

Figure I.7 : Schéma explicatif de fonctionnement d'une centrale hydraulique **26**

Figure I.8: Hydrolienne dite à axe horizontale marémotrice ……..... **28**

Figure I.9 : Système en boucle ouverte de géothermie à basse température ……..... **28**

Figure I.10 : Mix mondiale de production d'électricité par combustible, 1971-2018 …. **32**

Figure I.11 : Consommation de gaz naturel en Algérie a augmenté de 75% entre 2008 et 2018 ……... **34**

Chapitre II :

Figure II.1 : Composition de la biomasse cellulose, hémicellulose et lignine ……. **33**

Figure II.2 : Principales filières de conversion énergétique……..…….. **43**

Figure II.3 : Photographie d'une bouteille remplie d'huile de pyrolyse…… **45**

Figure II.4 : Processus de la dégradation anaérobie……..…. **46**

Figure II.5 : Schéma explicatif de production du bioéthanol à partir de plusieurs sources de sucres…….. **47**

Figure II.6 : Principe de production de biodiesel……..…….. **48**

FigureII.7 : Vue d'ensemble de la centrale de Bréah – Oran……..…… **49**

Figure II.8: Tracteur fonctionnant au biogaz……..... **50**

Figure II.8 : Digesteurs……..……..…….... **51**

Chapitre III :

Figure III.1 : Principaux composants de le méthanisation et sous produits…….. **55**

Figure III.2 : Etapes de processus biologique…….…..... **57**

Figure III.3: Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz (contenant 70% de méthane et 30 % de gaz carbonique)…….…….....…..... **63**

Figure III.4 : Schéma récapitulatif des procédés d'épuration et de purification du biogaz choisis pour notre installation…… **64**

Figure III.5 : Schéma symbolique représentant les voies de valorisation du biogaz…….…….…. **67**

Figure III.6 : Voiture à biogaz…….…….. **68**

Chapitre IV :

Figure IV .1 : Schéma simplifié de notre montage expérimental…… **73**

Figure VI.2 : Photographie du dispositif expérimental…….…..…….. **77**

Figure IV .3 **:** Schéma simplifié de montage expérimental modifié …… **77**

Figure IV.4 : Résultat obtenu de la production de gaz méthane à partir de fermentation des déchets agricoles des bovins…… **78**

Figure IV.5 : Photographie de résultat de fermentation de la deuxième expérience… **80**

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Chiffres clés de l'édition 2019 des « Key World Energy Statistics » De l'AIE sur les énergies……..……. **33**

Tableau III.1 : Comparaison entre le biogaz et le gaz naturel (source : AIE)……. **62**

Tableau III.2 : Caractéristiques du biogaz et du méthane déterminées à 0°C1atm……. **63**

Tableau IV.1 : Essais expérimentales réalisés……..……. **73**

Abréviation :

GPL : Gaz de pétrole liquéfie

AIE : Agence international énergie

IRENA : Agence international d'énergie renouvelable et cogénération

IAER : Institut Algérie des énergies renouvelables

PCI : Pouvoir calorifique inferieur

PCS : Pouvoir calorifique supérieur

MO : Matière organique

MV : Matière volatile

MOO : Matière organique oxydable

DCO : Demande chimique en oxygène

CT : Charbonne complète

GES : Gaz à effet serre

GNR : Gaz naturel renouvelables

FFOM: Fractions fermentescibles des ordures ménagères

OMR : Ordures ménagères résiduelles

PAP : Porte-à-porte

AGV : Acides gras volatils

BSR : Bactéries sulfato-réductrices

GNV : Gaz naturel véhicule

EMAA : Énergie Méthanisation Autonomie Azote

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ainsi que les pays en voie de développement ne cessant de se multiplier. Cette production a triplé depuis les années 60 à nos jours. La totalité de la production mondiale d'énergie provient de sources fossiles. Sachant que les réserves en combustibles fossiles ne dureront pas éternellement, la pénurie du pétrole va progressivement s'installer. Par ailleurs, la croissance des activités humaines génère une production de plus en plus de déchets de différentes sortes : déchets industriels, ordures ménagères, déchets agricoles, boues issues des stations d'épurations des eaux usées…etc. Tous ces déchets ont bien sûr des impacts très néfastes sur l'environnement ainsi que sur la santé humaine.

Dans ce sens, il y a lieu de penser à un moyen qui nous permet de trouver une énergie alternative, renouvelable et propre, à titre d'exemple et non d'exception, la biomasse. C'est dans ce cadre que s'inscrit le travail entrepris dans ce mémoire. Il s'agit de la production du biogaz à partir de la biomasse et en particulier les déchets agricoles. Nous le présenterons dans quatre chapitres comme suit:

Un premier chapitre qui détaille les différents et la classification des sources d'énergie en général avec une récapitulation de leurs avantages et leurs inconvénients pour élaborer une aidé permettant le bon choix entre ces sources. Nous donnerons une aidée sur la situation énergétique mondiale et en Algérie ainsi que les perspectives envisagées en termes d'utilisation de l'énergie renouvelables en Algérie.

Le deuxième chapitre, sera consacré à l'énergie renouvelable tirée de la biomasse. Nous définissons le concept de la biomasse comme énergie renouvelable la plus utilisées dans le monde. Nous citons les différents types des énergies obtenus à partir de biomasse.
Nous finissons ce chapitre par vue sur la situation de la biomasse dans le monde, sa valorisation ainsi l'expérience Algérienne là dessus.

Le troisième chapitre sera réservé à l'aspect pratique de la méthanisation qui sera réalisé au cours de ce travail. Nous exposons les étapes nécessaires de ce procédé commençons par le principe et finissons par citer les éléments nécessaires qu'il faut rassemblés pour le réussir ce procédé.

Le quatrième chapitre est consacré à la tache pratique de notre travail commençons par la réalisation du dispositif expérimental destiné à la fermentation des déchets agricoles et finalisons par sa mis en œuvre. Ce chapitre sera conclu par les résultats et les analyses correspondantes.

Ce manuscrit sera concrétisé par une récapitulation l'ensemble des éléments de valeur qu'a apporté ce travail présentés sous forme d'une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur les sources d'énergies

I.1 Introductions

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables qui sertes à répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, et qui ne cessent à augmenter de jours en jours. Ces demandes énergétiques concernent le transport, le chauffage, l'électricité pour différents fins

La question à posé comment peut on couvrir tout ces besoins énergétiques. Pour répondre à cette question, en premier lieu, nous pouvons présenter les différentes sources d'énergies utilisées avec leurs modes d'utilisation. En second lieu, nous pouvons citer les avantages de certaines des énergies utilisées par apport aux autres.

Parmi ces différentes sources d'énergies, deux sortes ce distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes. Elles peuvent être liquides ou gazeuse. Cependant, les énergies les plus utilisées reste non renouvelables à l'image du pétrole ou même du charbon.

Ce chapitre détaillera l'ensemble des éléments nécessaires sur les sources d'énergies et notamment celles classées comme sources renouvelables.

I.1.1 Définition des sources d'énergie

Une source d'énergie désigne tous les phénomènes à partir desquels il est possible de retirer de l'énergie [1]. L'énergie est disponible dans la nature sous différentes formes, qui sont convertibles. On l'utilise sous forme mécanique (liée au mouvement : énergie cinétique, énergie potentielle), thermique (chaleur), électrique (engendrée par des différences de charges électriques), chimique (stockée sous la forme de liaisons chimiques, exploitée par les êtres vivants lors de la respiration et des fermentations, ou par combustion dans les moteurs thermiques), nucléaire (libérée par fission ou fusion de noyaux d'atomes) ou lumineuse (rayonnement).

I.1.2 Les transformations dans la forme d'énergie

Pour produire de l'électricité qui représente une forme d'énergie finale, il faut transformer à partir d'une source naturelle une énergie brute qui représente une forme d'énergie primaire [2].

A l'exception de l'utilisation directe de la lumière solaire (pour éclairage, le séchage de linge ou la photosynthèse) .Toutes forme d'énergies que nous utilisons proviennent de la

conversion d'une énergie primaire disponible dans la nature en énergie produite par l'homme (ex : conversion de la chaleur en électricité dans une centrale thermique, du rayonnement solaire en énergie électrique par un panneau photovoltaïque, du pétrole en essence dans une raffinerie) [2].

I.1.2.1 Energie primaire

Par définition, une source d'énergie primaire est issue de la nature avant d'être transformé. En cas de non-utilisation de la source primaire dans son état initial, elle est exploitée afin de la transformer en une source d'énergie secondaire utilisable et transportable [3]. Voici la liste des sources d'énergie primaires : Uranium, Charbon, Hydrocarbures, Cours d'eau et chutes d'eau, Force de la mer, Rayonnement du soleil, Force du vent, Pétrole, Gaz naturel, Géothermie, Déchets et biomasse.

I.1.2.2 Energie secondaire

L'énergie secondaire est celle obtenue grâce à la transformation d'énergie. Contrairement à la source d'énergie primaire, l'énergie secondaire est plus simplement stockable, transportable et utilisable [3]. Les énergies secondaires sont également connues sous le nom de « vecteurs énergétiques » sont :Centrale nucléaire, Centrale thermique à flamme (fossile),Centrale hydraulique, Centrale éolienne, Energie solaire photovoltaïque, Centrale géothermique, Cogénération, Energie solaire thermique à concentration

I.1.2.3 Energie finale

L'énergie qui doit disposer le consommateur final est appelée énergie finale (électricité domestique, essence à la pompe ou bien le gaz de réseau ou en bouteille).Donne lieu à une transformation en énergie utile sur le lieu de son utilisation (ex : conversion de l'énergie électrique reçue du réseau en énergie cinétique du fluide caloporteur du lave-vaisselle, en énergie lumineuse pour l'éclairage ou en énergie thermique pour le chauffage).

I.1.2.4 Energie utile :

Est celle qui procure le service énergétique recherché c'est celle qui est la recherchée par l'utilisateur final (énergie cinétique de l'eau dans le lave-vaisselle, chaleur diffusée dans les pièces d'un bâtiment, intensité lumineuse d'une lampe.

En général, l'énergie utile pour celle qui rend réellement service à l'utilisateur (la lumière issue d'une lampe, etc.)

I.2 Classification des sources de production de l'énergie

La production d'énergie provient de différentes sources. Les formes d'énergie que nous utilisons, chaque une caractéristique chimique physique, électrique, concentration, dégradation, transport, stockage, réserves, nuisances.et l'étendue de l'effet cet énergie sur environnement. Dans ces différentes sources d'énergies, deux sortes ce distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes. Elles peuvent être liquides ou gazeuse. Cependant, les énergies les plus utilisées reste non renouvelables à l'image du pétrole ou même du charbon.

I.2.1 Energies non renouvelables

Une source d'énergie est dite non renouvelable en raison d'un très long processus de formation s'étalant souvent sur des millions d'années. Ces combustibles fossiles sont issus de la décomposition de matière organique (plantes et animaux) dans le sol en milieu anaérobie, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène [4]. Sont en deux grandes familles :

I.2.1.1 Les énergies de fossiles

On appelle combustible fossile tous les combustibles riches en carbone essentiellement des hydrocarbures issus de la méthanisation d'êtres vivants morts et enfouis dans le sol depuis plusieurs millions d'années, jusqu'à parfois 650 millions d'années. Il s'agit du pétrole, du charbon, de la tourbe et du gaz naturel [5].

A. Le charbon

Le charbon est une roche sédimentaire noire très riche en carbone et avec des quantités variables d'autres éléments, principalement de l'hydrogène, du soufre, de l'oxygène et de l'azote. La majeure partie de cette source de charbon non renouvelable s'est formée pendant la période carbonifère (de 359 à 299 millions d'années). Suite à une accumulation en masse énorme végétale qui sera par la suite des réserves de charbon.

Il existe de nombreuses variétés de charbon [5], que l'on distingue selon plusieurs critères dont les principaux sont :

- l'humidité,
- la teneur en matières minérales non combustibles (cendres),
- le pouvoir calorifique,
- l'inflammabilité, liée à la teneur en matières volatiles.

B. Gaz naturel

Le gaz naturel est une source d'énergie fossile, tout comme le charbon ou le pétrole. Il est constitué d'un mélange d'hydrocarbures, de molécules formées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Sa valeur calorifique varie grandement en fonction de sa composition, mais les valeurs les plus élevées varient entre 8 500 et 10 200 kilocalories par mètre cube, de gaz[5]

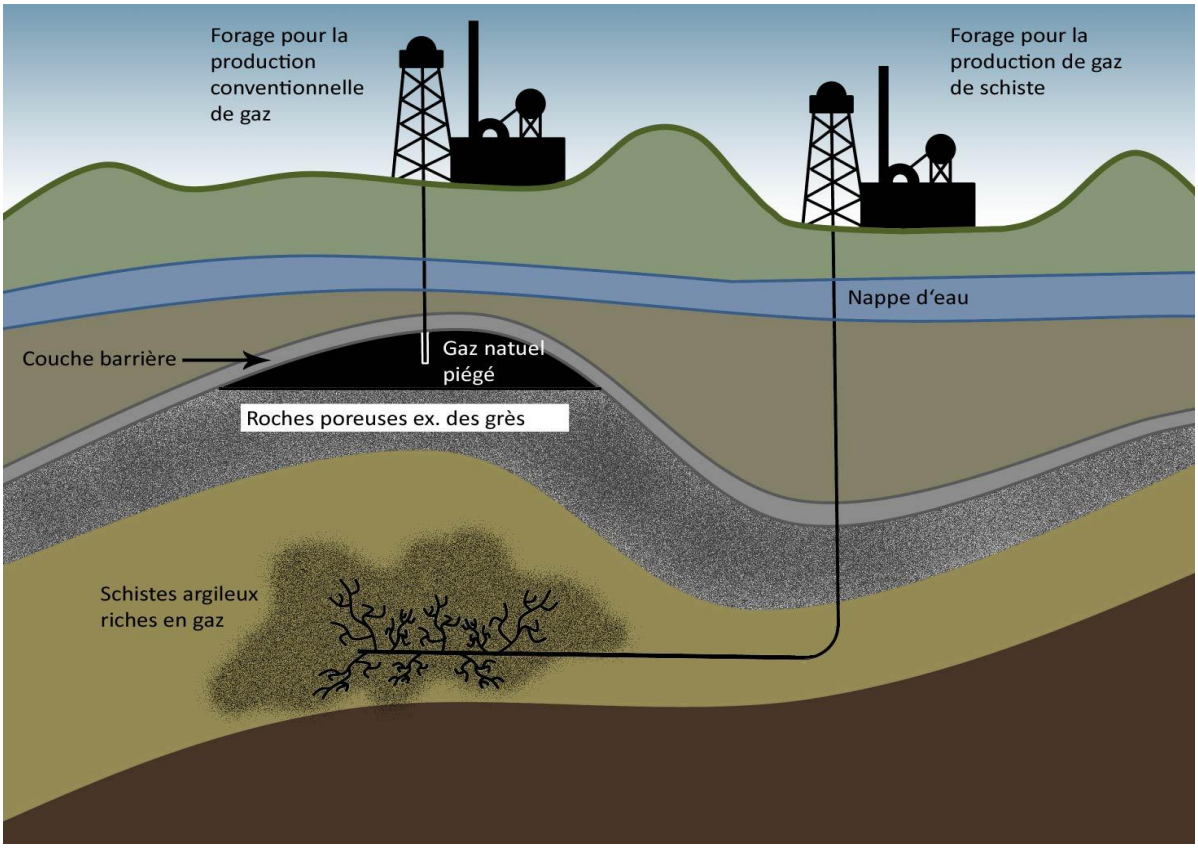

Figure I.1 : Schéma de source géologique du gaz naturel[6]

Contrairement au gaz naturel conventionnel, qui est enfermé dans de grandes cavités ou (pièges) , le gaz de schiste est stocké dans les petites porosités de roches imperméables. Les couches terrestres imperméables sont par exemple des schistes ou des roches

argileuses, ou encore de la houille. Pour te faire une idée de la différence entre le gaz naturel et le gaz de schiste qui est devenir les modernes technologies et excites très grand gisement dans le monde.

C. pétrole

Est une roche liquide d'origine naturelle, une huile minérale composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures, piégée dans des formations géologiques particulières. L'exploitation de cette source d'énergie fossile et d'hydrocarbures est l'un des piliers de l'économie industrielle contemporaine, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides (fioul, gazole, kérosène, essence, GPL). On classe les pétroles selon leur provenance (golfe Persique, mer du Nord, Venezuela, Nigeria), car le pétrole issu de gisements voisins a souvent des propriétés proches. [5]

Avantage [7]

- Le charbon à l'avantage d'être assez bien réparti sur la planète et se trouve en très grande quantité.
- Le charbon permet de produire du gaz de houille et un grand nombre de produits chimiques carbonés ou hydrogénés.
- Le pétrole, à l'instar du charbon, est disponible presque partout sur le globe, son rendement énergétique est très important, il permet de produire un grand nombre de produits dérivés (plastique, engrais, gaz méthane et propane, essence, etc.) dont l'humanité ne peut pas encore se passer.
- Le gaz naturel, lui, est très facilement exploitable; il est disponible en grande quantité, ne nécessite aucune transformation pour être utilisé et ne pollue pas énormément par rapport aux autres sources d'énergies fossiles

Inconvénients

- Ces énergies ont son coût d'exploitation très élevé.

- on peut citer le fait qu'il soit très polluant (pour l'exploitation et l'utilisation), que son prix ne cesse d'augmenter et qu'il soit à l'origine de nombreux conflits à travers le monde

- le gaz son principal défaut est sa dangerosité (les explosions sont fréquentes aussi bien au niveau industriel que domestique).

- Pour le gaz de schiste, Des forages profonds de 1.000 à 3.000 m, puis l'injection d'un fluide composé d'eau, de sable et de détergents sous pression (600 bars), sont requis pour fracturer la roche et libérer le gaz. Ces opérations auraient déjà causé des contaminations de nappes phréatiques.

- 2 et 8 % du combustible extrait seraient relâchés dans l'atmosphère au niveau des puits .Or, il se compose majoritairement de méthane (CH_4), un gaz à effet de serre considérablement plus puissant que le CO_2.

I.2.1.2 Source nucléaire

En physique des particules, l'énergie nucléaire est l'énergie associée à la force de cohésion des nucléons, la force nucléaire forte (protons et neutrons) au sein du noyau des atomes. Les transformations du noyau libérant cette énergie sont appelées réactions nucléaires. La force nucléaire faible régit les réactions entre particules et neutrinos. Cette énergie provient de la fission de l'uranium en plutonium dans les réacteurs des centrales nucléaires [8].

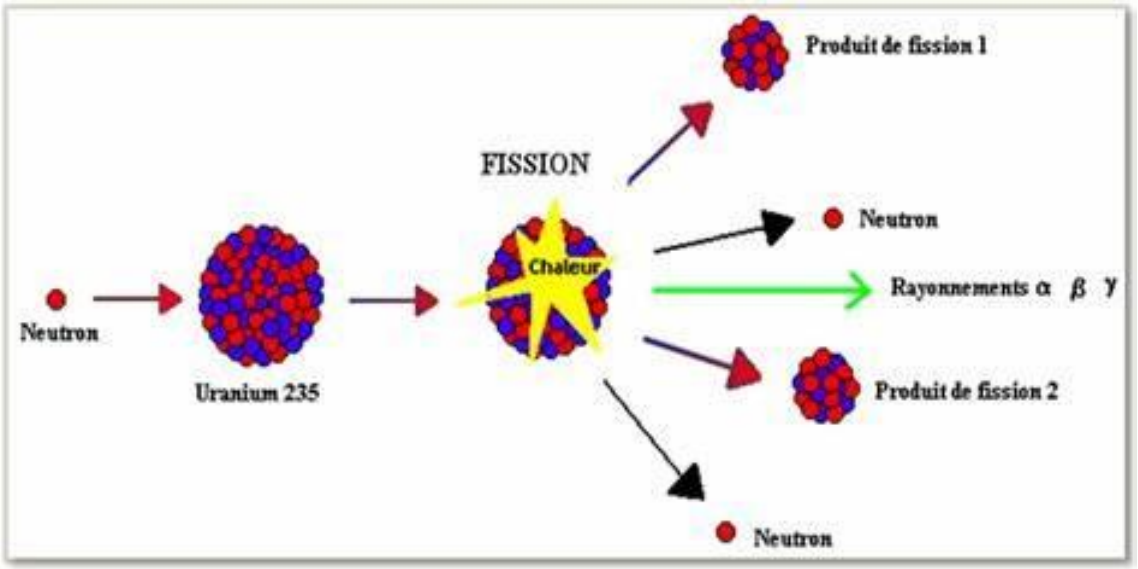

Figure I.2 : fission nucléaire[9]

Une centrale nucléaire est une centrale électrique, utilisant la fission nucléaire pour produire de la chaleur, chaleur convertie ensuite en électricité. C'est l'outil principal de la mise en œuvre civile de l'énergie nucléaire dans l'état actuel des techniques.

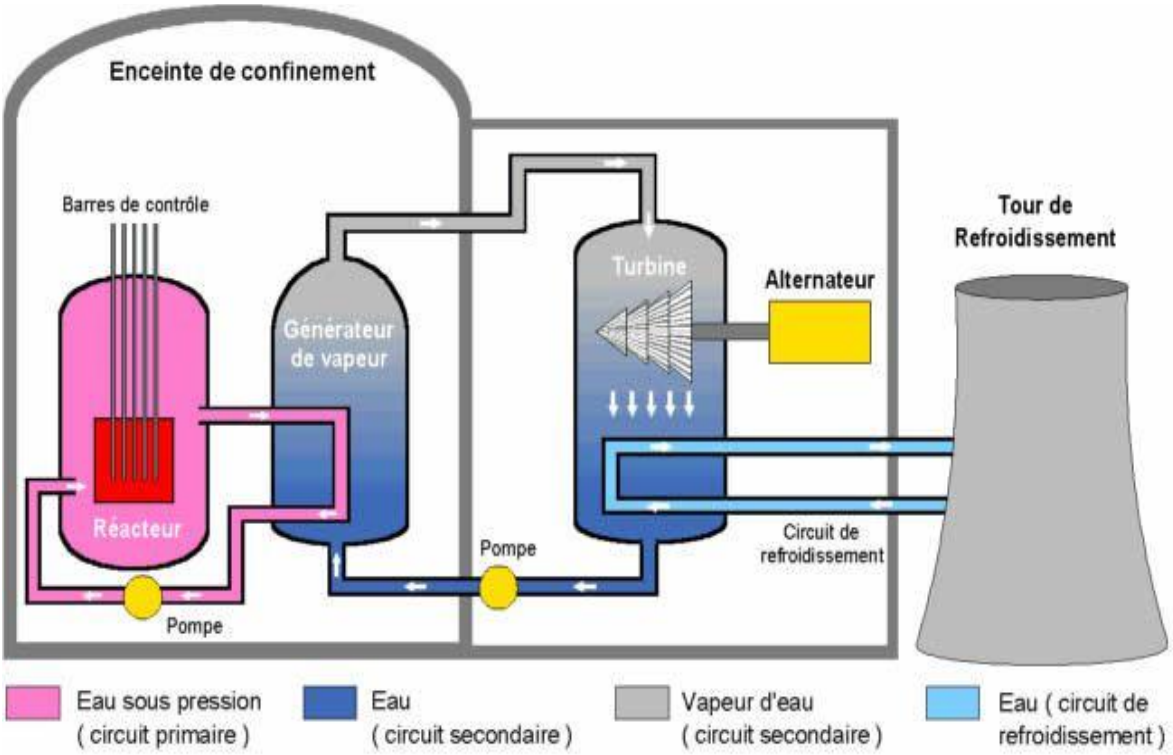

Figure I.3 : fonctionnement d'une centrale nucléaire[8]

Avantage [10]

- L'utilisation de l'énergie nucléaire pour la production d'électricité permet de réduire les matières premières, le transport, l'extraction et la manipulation du combustible nucléaire.
- Le coût du combustible nécessaire représente seulement 20 % du coût de l'énergie produite
- L'énergie nucléaire, le problème de réchauffement global implique une grande influence sur le changement climatique planétaire grâce à la réduction de la consommation des combustibles fossiles.

Inconvenant

- Si l'énergie nucléaire est capable de fournir une grande quantité d'électricité, utiliser à mauvais escient cette technologie peut produire une puissance nucléaire phénoménale.
- La production de bombes nucléaires telles que la bombe H a permis à mettre terme à la Seconde Guerre mondiale.
- Parmi les problèmes suscités par l'énergie nucléaire figurent les déchets nucléaires, notamment le transport et le stockage des combustibles usés. Les déchets radioactifs sont très nocifs pour l'environnement et la santé de la population.

I.2.2 Sources renouvelables

Source renouvelables sont des énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres : le Soleil essentiellement pour la chaleur et la lumière qu'il génère, mais aussi l'attraction de la Lune (marées) et la chaleur générée par la Terre (géothermie). Leur caractère renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se renouvelle.

Les énergies renouvelables les plus importantes en terme de production sont classées par ordre décroissant : L'hydraulique - L'éolienne - La biomasse - Le solaire [11]

On distingue 5 types d'énergie renouvelable sont :

I.2.2.1 Energie solaire

L'énergie solaire est la fraction de l'énergie électromagnétique provenant du Soleil, traversant l'atmosphère qui en absorbe une partie, et parvenant à la surface de la Terre . Il faut dire que les techniques d'exploitation de l'énergie solaire n'ont cessé de s'améliorer au fil des années [12]. Aujourd'hui, on compte deux types d'énergie solaire catégorisés selon leurs méthodes de production :

A. L'énergie solaire thermique

Ce type d'énergie est produit à partir de panneaux solaires thermiques posés sur le toit de la maison pour capter la chaleur du soleil. les panneaux solaires thermiques contiennent des fluides caloporteurs. Une fois chauffés par le soleil, ces derniers chauffent à leur tour le

ballon d'eau chaude. L'énergie thermique solaire ainsi obtenue peut être employée de différentes façons : chauffage solaire, chauffe-eau, cuisinières [12].

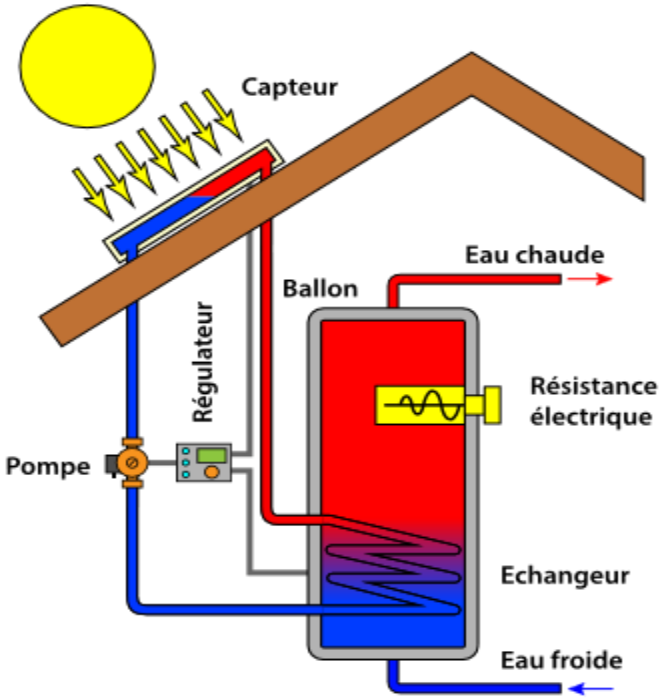

Figure I.4 : Exemple de l'énergie solaire thermique dans une maison[13]

B. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire par une cellule photovoltaïque.

Plusieurs cellules sont reliées entre elles dans un module photovoltaïque, puis les modules sont regroupés pour former des panneaux solaires, installés chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque. Après transformation en courant alternatif grâce à un onduleur, l'installation solaire peut satisfaire un besoin local (en association avec un moyen de stockage) ou être injectée dans un réseau de distribution électrique (le stockage n'étant alors pas nécessaire)[12]

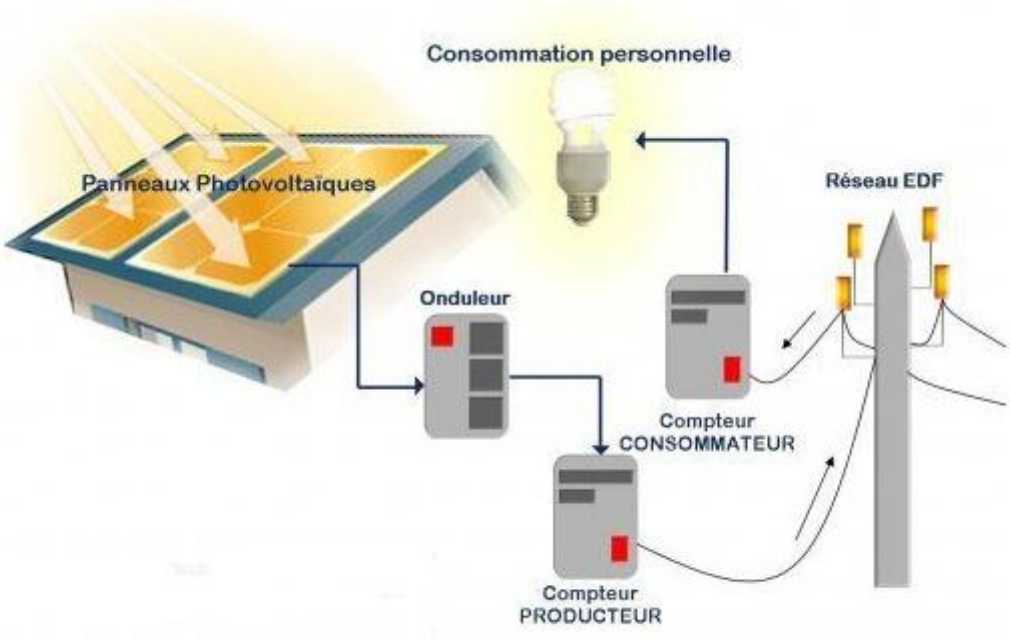

Figure I.5: panneaux photovoltaïques (captage de la lumière du soleil) pour production d'électricité

Avantage [13]

- Energie propre et silencieuse.
- Energie gratuite.
- Energie disponible toujours et partout.
- Grande longévité des modules photovoltaïques (30 ans).
- Peu d'entretien de l'installation.
- Energie rentable pour les sites isolés.
- Autonomie possible avec des batteries.
- Possibilité de revendre l'électricité produite.
- Le générateur équipant une habitation peut être financé en partie par des fonds publics.

Inconvénients

- Installation à prévoir au plus près de la maison.
- Energie disponible surtout l'été et devant être complétée.

- Limites de charge et de décharge pour des batteries : de 30% à 80% pour une durée de vie de 7 à 10 ans.
- Recyclage des batteries
- Intégration des panneaux solaires dans le paysage.

I.2.2.2 Aérogénérateur (éoliennes)

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en énergie électrique qui sont appelées aérogénérateurs, [14]

La technologie actuellement la plus utilisée pour capter l'énergie éolienne utilise une hélice sur un axe horizontal. Ils comprennent un mât et une nacelle supportant la turbine, généralement à 3 pales, qui entraîne une génératrice débitant sur le réseau.

La plupart des systèmes intègrent un multiplicateur de vitesse entre la turbine (lente) et la génératrice (rapide).

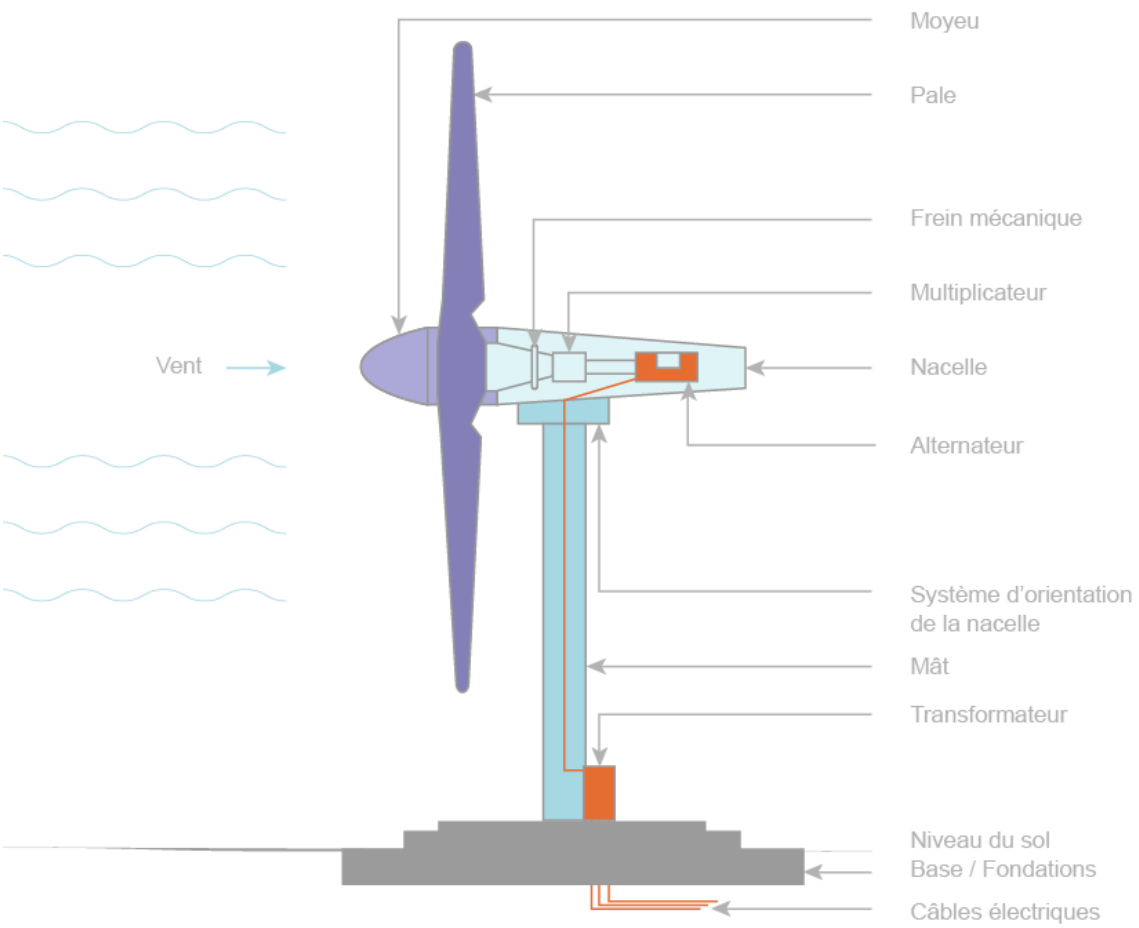

Figure I.6 : Composition d'une éolienne horizontale [15]

Avantages [13]

- Les grandes éoliennes (offshore) peuvent concurrencer à moindre coût l'énergie produite par le nucléaire.
- Energie renouvelable et gratuite
- Energie modulable, adapté au capital disponible et aux besoins en énergie (des aérogénérateurs de toutes puissances existent.)
- Grande fiabilité et frais de fonctionnement limités
- Installation (et donc démontage aussi) très rapide et relativement simple
- La période de haute productivité se situe en hiver (vents plus forts), ce qui correspond à la période de l'année où la demande est plus forte.
- Projets subventionnés par la commission Européenne ainsi que par l'ADEME.

Inconvénients

- L'énergie éolienne est plus chère que notre électricité. Une petite éolienne n'est pas rentable dans les pays développé.
- Lorsque la production dépasse la consommation le stockage est encore onéreux. Mais en cas de raccordement au réseau électrique, 100% de l'énergie éolienne est utilisée et le stockage n'est pas nécessaire.
- Effets sur le paysage : les turbines sont une présence verticale frappante dans le paysage. Il convient donc de prendre soigneusement en compte l'emplacement, la couleur et la forme des aérogénérateurs (d'où l'intérêt du offshore).
- Le bruit est considéré comme négligeable (comme le vent dans les feuilles d'un arbre) si les habitations sont situées à plus de 300m.
- Les démarches administratives sont très lourdes pour l'installation des grandes éoliennes.

I.2.2.3 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues[14], en peut être convertie directement en mécanique, et en fin en énergie électrique dans les centrales hydrauliques .Ce dernier cas, est issu de la conversion L'énergie cinétique du courant d'eau, naturel ou généré par la différence de niveau, est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, puis en énergie électrique par une génératrice électrique synchrone.

On peut utiliser cette énergie en autres termes pour produit une énergie utile et faciles a renouvelables :

A. centrale hydroélectrique à énergie potentielle ou cinétique

Il s'agit de l'utilisation de l'énergie de la hauteur de chute comme énergie potentielle et de l'énergie du débit d'un cours d'eau comme énergie cinétique [13] .Les centrales de hautes chutes sont caractérisées par une forte hauteur de chute h>200m. L'usine est toujours située à une distance importante de la prise d'eau parfois plusieurs kilomètres. Elles se trouvent en altitude, les usines de lacs disposent de plus de 400 heures de réserves. Leur rapidité de démarrage permet de répondre de consommation, notamment en hiver.

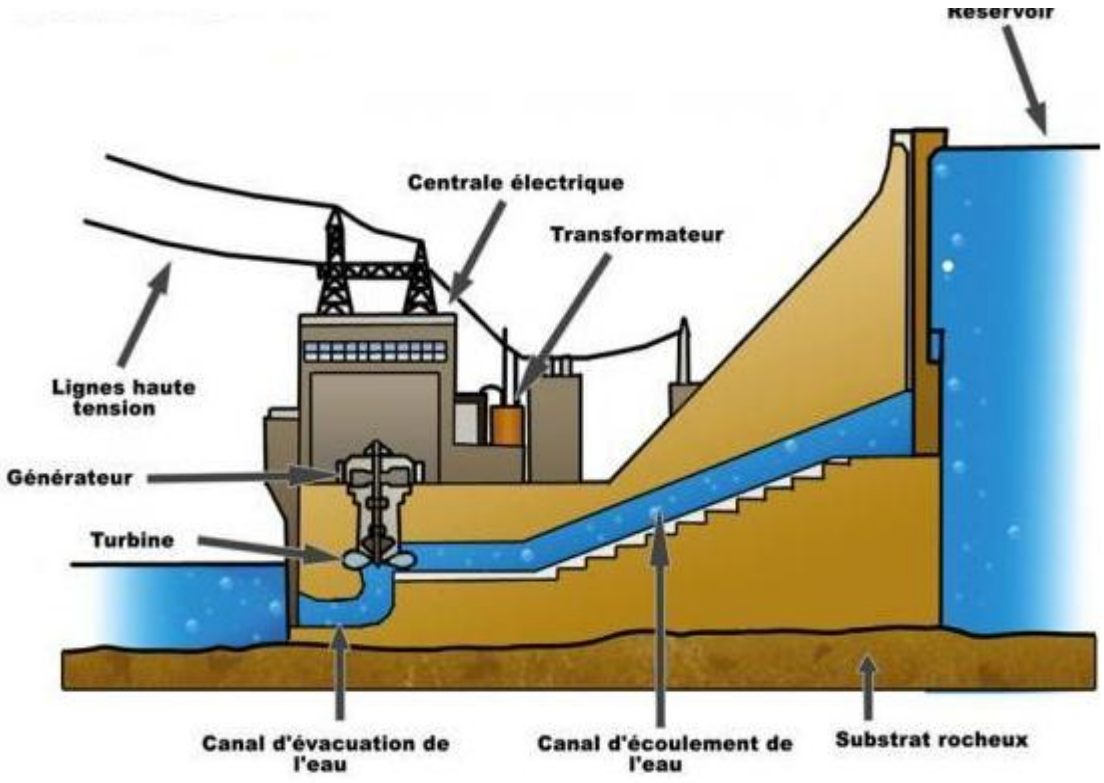

Figure I.7 : schéma explicatif de fonctionnement d'une centrale hydraulique [16]

B. une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées

Les phénomènes de marée sont à l'origine de courants marins mais ils ne sont pas les seuls , la rotation de la terre, les écarts de températures jouent également un rôle important. Il existe des Courants très puissants dans de nombreux endroits, notamment dans des estuaires, dans des fiords ou encore dans des étroits bras de mer qui pincent les flux maritimes [13].

Une hydrolienne reprend le principe de fonctionnement d'une éolienne mais la force exploitée n'est pas la force du vent, mais celle des marées ou des courants sous-marins. Les hydroliennes sont installées au fond de la mer ou au fond de l'embouchure d'un fleuve. C'est un nouveau type d'installation qui a vu le jour récemment. Plusieurs modèles sont existants néanmoins, l'essentiel de leur fonctionnement est similaire [13].

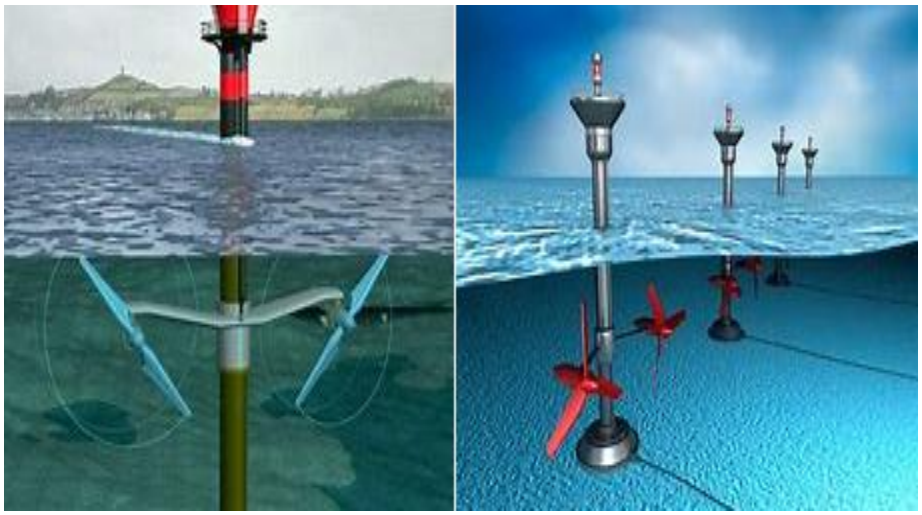

Figure I.8 : l'Hydrolienne dite à axe horizontale marémotrice [17]

C. l'énergie des vagues peut aussi être exploitée

Est une énergie marine utilisant l'énergie contenue dans le mouvement de la houle, soit les oscillations de la surface de l'eau. Cette énergie ne doit pas être confondue avec l'énergie marémotrice, laquelle utilise l'énergie des marées [18].

Avantage

- Production d'énergie active durant les heures de fortes consommations d'électricité.
- Pompage durant les heures creuses afin de reconstituer la réserve d'eau dans le bassin de retenu.
- Démarrage et arrêt des centrales très rapides.
- Production d'électricité décentralisée (pas de pertes liées aux transports).
- Facilitée d'entretien et la faible usure du matériel qui travaille à vitesse et à température modéré.
- Haut niveau de rendement des machines, capable de transformer 90% de l'énergie de l'eau en énergie mécanique.

Inconvénients

- Modification du débit et du niveau de l'eau.
- Perturbation de la faune et de la flore.
- Surcoût lié à la nécessité d'installer des passes à poissons.

- Risque pour les personnes en aval lié au barrage.

I.2.2.4 la géothermique

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et la production de chaleur. En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C)[19]

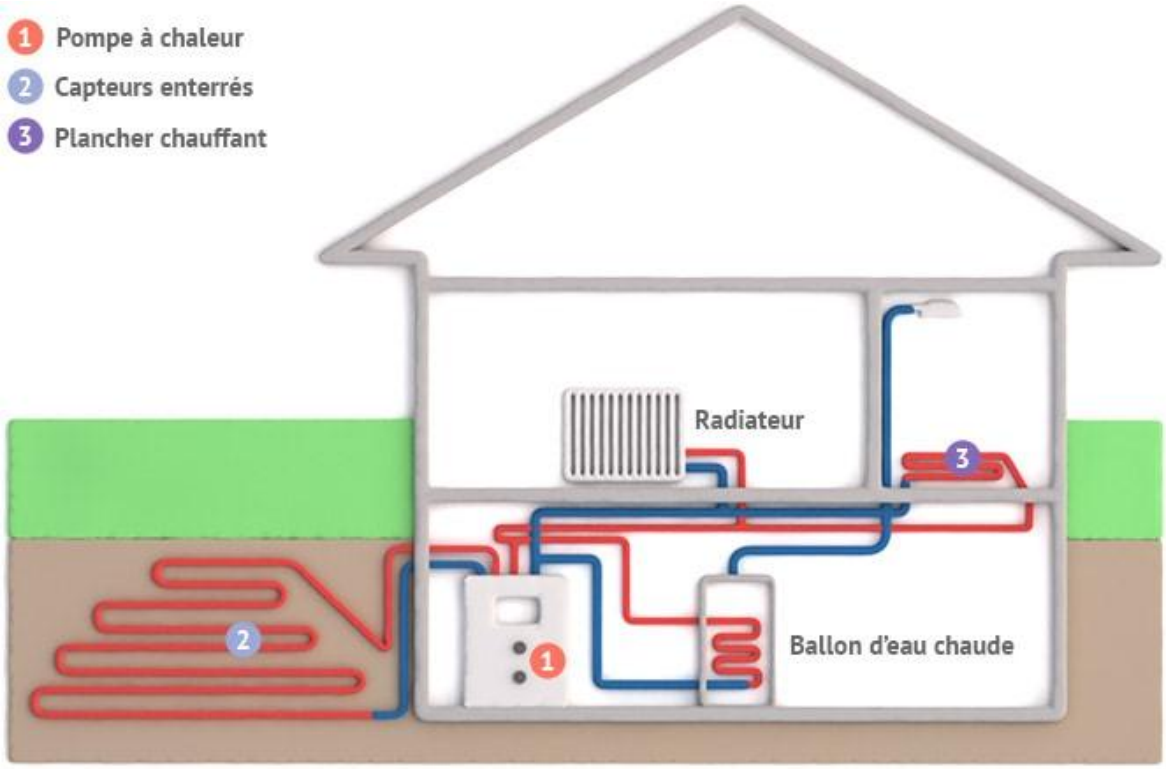

Figure I.9 : Système en boucle ouverte de géothermie a basse température[20]

Avantage :

- Utilisation de la chaleur dégagée par le sous-sol dans certaines zones à forts potentiels (Islande, région parisienne...).

- Les nappes aquifères géothermales sont généralement de l'eau de mer et donc impropre à la consommation (il n'y a pas de gâchis d'eau potable).

- Retour sur investissement rapide (4 à 5ans) pour une maison individuelle. En effet, pour 1KW d'électricité consommée, on capte dans le sol 3 à 4 KW (rendement de 400%) alors qu'il n'est que de 75% au mieux pour une chaudière fioul.
- Le plancher chauffant basse température de la maison peut être utilisé avec une autre énergie (bois, solaire, gaz, fioul...)

Inconvénients :

- Au bout de 20/30 ans, le captage n'est plus possible car l'eau réinjectée a trop refroidi la nappe aquifère.

- Il semble aberrant d'utiliser de l'électricité (énergie noble qui permet de nombreux usages) pour produire de la chaleur (forme d'énergie qui ne sert qu'à chauffer).
- Il subsiste un doute sur la longévité des matériaux.
- La production d'eau chaude sanitaire est problématique (température d'eau plus élevée, épuisement du sol) et impose un autre système (souvent un chauffe-eau électrique).
- L'emplacement des tubes dans le sol impose des contraintes (ensoleillement du sol, absence de passage d'engins lourds, absence de grands arbres...)Le sol peut à terme être moins efficace, subir des gelées précoces

I.2.2.5 La biomasse

On peut définis La biomasse comme un l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. La biomasse considérée à des fins énergétiques englobe des végétaux provenant de cultures et des déchets. Les cultures énergétiques recouvrent des plantes très diverses telles que les oléagineux, les graminées comme le maïs et la canne à sucre (plantes riches en carbone), le bois… Les déchets peuvent être soit solides (industries agro-alimentaires, papetières, de transformation du bois, agricoles déchets verts ou ménagers), soit liquides (les boues de stations d'épuration, déjections animales) [8].

Cette terminologie s'applique aux produits organiques végétaux ou animaux utilisés à des fins Énergétiques ou agronomiques, que l'on classe couramment, selon leur taux d'humidité, La biomasse peut être disponible ou volontairement produit, on peut donc aussi la classer suivant :

A. La biomasse végétale

On distingue principalement trois types de biomasse végétale, auxquels correspondent des procédés de valorisation spécifiques.

- **La biomasse lignocellulosiques** : (ou lignine) comprenant principalement le bois, les résidus verts, ainsi que la paille. Leurs utilisation est faite à partir d'une combustion, ou conversions thermochimiques.
- **La biomasse à glucide** : utilisant la canne à sucre, les céréales et les betteraves sucrières. On favorise ces constituants par une méthanisation (C'est un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène), ou encore par distillation, conversions biologiques.
- **Biomasse oléagineuse** : qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appeler « Biocarburants ». Ces carburants sont récoltés suite à de nouvelles transformations chimiques, et en ressort sous deux formes : Les esters d'huile végétale, et sous la forme de l'éthanol.

b - Biomasse animale

La biomasse animale, quant à elle, peut être constituée par :

- Les déjections de bovins, de porcins et de volailles.
- Les effluents de fromagerie.
- Les sous-produits de boucherie et de charcuterie.
- La laine d'ovins.
- Le zooplancton…

Les avantages de l'énergie de la biomasse [13]

- C'est une matière première qui est renouvelable. Elle peut être produite indéfiniment en l'utilisant raisonnablement et de façon durable.

- Biodégradable rapidement
- Produits issus de la biomasse sont souvent non-toxiques.
- Elle dégage autant de CO_2 qu'elle n'en absorbe (les plantes absorbent du CO_2 lors de la photosynthèse)
- La biomasse est l'une des énergies renouvelables les plus rentables
- La biomasse est disponible partout
- La biomasse peut être transformée en différentes sources d'énergie.

Les inconvénients

- Leur rendement énergétique est assez faible.
- Pour produire de l'énergie biomasse il faut occuper des terres arables et donc baisser la production agricole.
- Dégage du CO_2
- Une surexploitation de la biomasse peut entrainer une déforestation importante et donc un danger pour l'environnement.
- Provoque la pollution des eaux et des sols
- Les coûts et les impacts du transport pour amener le bois là où la ressource manque.

I.3 situation et développements des sources d'énergies

I.3.1 Production d'énergies Dans le monde [21]

Dans un contexte de prise de conscience accrue des enjeux environnementaux, les conclusions du dernier rapport mondial annuel de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE) devraient susciter encore avec plus d'attention que d'habitude. L'édition 2019 du World Energy Outlook insiste sur le rôle crucial des décisions prises par les gouvernements pour l'avenir des systèmes énergétiques et donc de la planète. Et ce, à une époque où les mesures adoptées se montrent incapables de freiner la progression des émissions de gaz à effet, responsables du réchauffement climatique

- La production mondiale d'énergie était de 14 421 Mtep (Méga tonne de pétrole moyen, ce qui représente environ 11 600 Méga kWh.) en 2018, soit une augmentation de 3,2% par rapport à 2017. Elle était principalement tirée par les énergies fossiles: gaz naturel, charbon et pétrole, augmentant ensemble de plus de

370 Mtep en 2018. L'ensemble des énergies renouvelables et du nucléaire a également augmenté, de 60 Mtep et 19 Mtep respectivement. Les combustibles fossiles représentaient à terme plus de 81% de la production en 2018, comme ce fut le cas en 2017.

- D'après les chiffres de l'Agence Internationale des Energies Renouvelables (IRENA), sur les 24 800 TWh de demande en électricité, 73,5% proviennent d'énergies non renouvelables et 26,5% d'énergies renouvelables

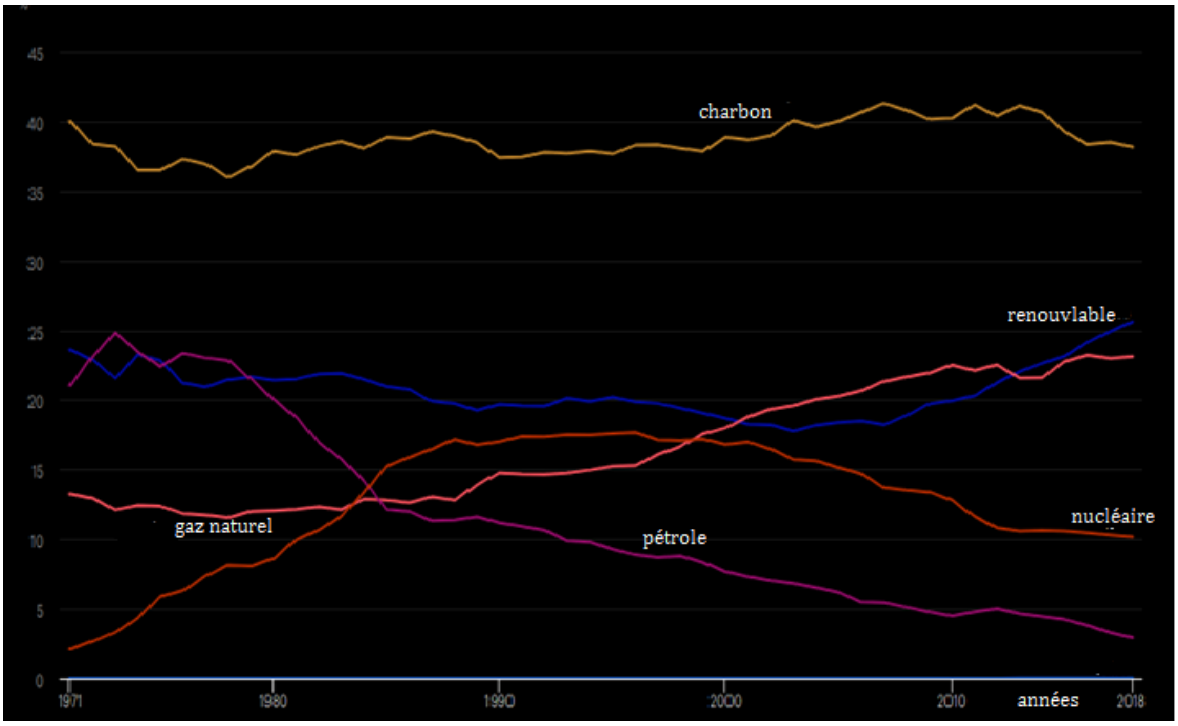

Figure I.10 : Mix mondial de production d'électricité par combustible, 1971-2018[21]

La plan attendu ,70% de la croissance de la demande mondiale d'électricité sera fourni par des énergies renouvelables d'ici 2023, croissance dominée par les photovoltaïques (solaire). Elle permettrait d'atteindre une part de 30% des énergies renouvelables dans la demande d'électricité.

	Production mondial	Consommation final d'énergie	Potentiel d'électricité produit	En 2024
Hydraulique	2.5	3.1%	16.4%	70%
éolien,	0.8%	0.7%	5.6%	
Solaire		0.8%	1.9%	
Biomasse	9.5%	11.6%	2.2%	
Reste	0.2%	0.2%	0.4%	
Total	13%	16.4%	26.5%	

Tableau I.1: Chiffres clés de l'édition 2019 des « Key World Energy Statistics » de l'AIE sur les énergies [21]

I.3.2 situation d'énergies en Algérie

Agité par un mouvement de contestation sans précédent en vue de l'élection présidentielle (qui est censée avoir lieu le 12 décembre 2019), l'État algérien se trouve désormais dans une impasse politique. Son économie ne cesse de se dégrader à la suite de l'effondrement des cours du pétrole en juin 2014. Faute d'une diversification économique structurée, la rente pétrolière et gazière demeure la principale source de revenus pour le gouvernement depuis l'indépendance : les hydrocarbures constituent 97% des exportations algériennes et près de 60% des recettes budgétaires du pays [22]

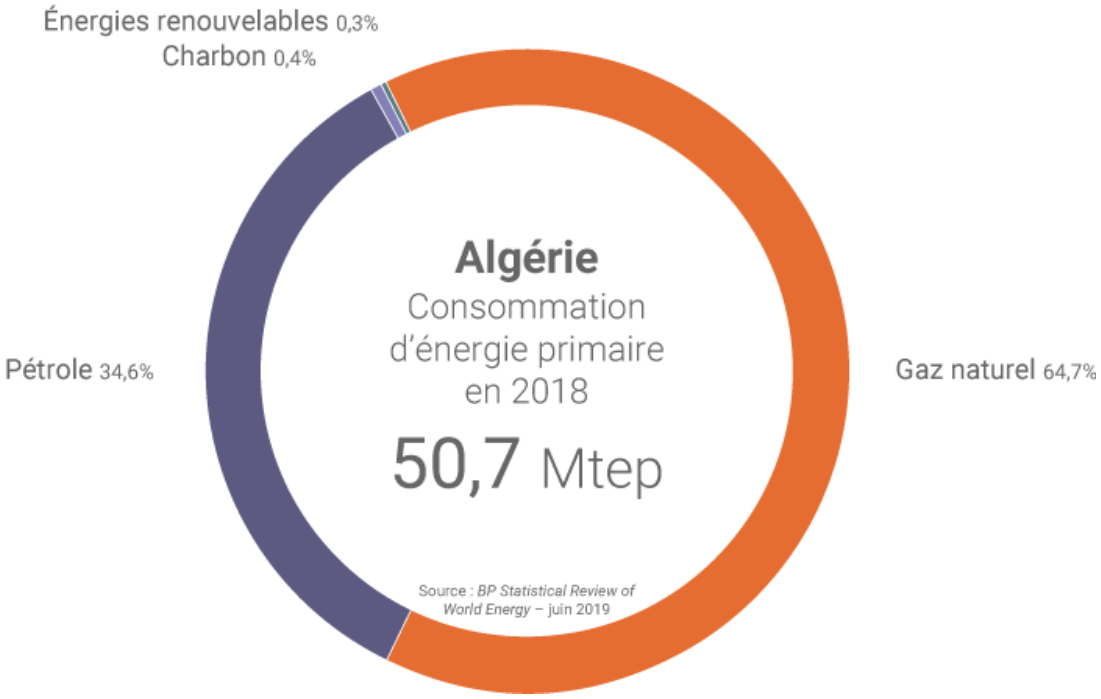

Figure I.11 : Consommation de gaz naturel en Algérie a augmenté de 75% entre 2008 et 2018[22]

I.3.2.1 Programme de développement des énergies renouvelables en Algérie [23]

A travers ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir des filières photovoltaïque et éolienne en intégrant la biomasse, la cogénération, la géothermie et au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces filières énergétiques seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance économique. 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable.

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020.

La répartition de ce programme par filières technologiques, se présente comme suit :

- Solaire Photovoltaïque : 13 575 MW
- Eolien : 5010 MW
- Solaire thermique : 2000 MW

- Biomasse : 1 000 MW
- Cogénération : 400 MW
- Géothermie : 15 MW

- La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité.

- Conformément à la règlementation en vigueur, la réalisation du programme est ouverte aux investisseurs du secteur public et privé nationaux et étrangers.

- La mise en œuvre de ce programme bénéficie de l'apport substantiel et multiforme de l'Etat qui intervient notamment à travers le Fonds National des Energies Renouvelables et Cogénération (FNERC).

- En Soutien à la mise en œuvre de ce programme, le gouvernement algérien a créé « l'institut algérien des énergies renouvelables I.A.E.R » ainsi qu'un réseau de centres de recherche et développement, tels le CREDEG, l'APRUE, le CDER, l'UDES, etc.

I.3.2.2 Le plan de développement des investissements dans les énergies renouvelables [24]

Les capacités en énergie renouvelables seront installées selon les spécificités de chaque région :

- Région du Sud, pour l'hybridation des centrales existantes et l'alimentation des sites éparses compte tenu de la disponibilité des espaces et de l'important potentiel solaire et éolien ;

- Région des Hauts Plateaux pour leur potentiel d'ensoleillement et de vent avec possibilité d'acquisition des terrains ;

- Région du littoral selon la disponibilité des assiettes de terrain avec l'exploitation de tous les espaces tels que les toitures et terrasses des bâtiments et autres espaces non utilisés.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons projeté la lumière sur l'ensemble des sources d'énergies renouvelables destinées à la production de l'électricité. Nous avons commencé par définir les différentes formes d'énergies et leurs classifications. les avantages et les inconvénients de chaque sources ont étaient récapitulés.

A la fin de ce chapitre nous avons récapitulé quelques données statistiques sur la consommation d'énergie dans le monde ainsi que sa situation en Algérie. Enfin nous avons conclu ce chapitre par les horizons de développement en termes des énergies renouvelables en Algérie.

Chapitre II : production des certaines énergies à partir de biomasse

I.1 Introduction

Le développement en valorisation de la biomasse comme source d'énergie électrique constitue l'une des voies les plus importantes pour quelle soit facile à exploité soit toute seule ou conjointement avec d'autre sources d'énergies. L'exploitation de la biomasse contribue efficacement aux actions ayant pour but de réduire les émissions afin de lutter contre les changements climatiques.

Cette stratégie permet de tirer parti de l'exceptionnel potentiel agricole et forestier et d'offrir de nouveaux débouchés à ces filières essentielles tout en créant des activités et des emplois durables dans les territoires avoisinants.

Dans ce chapitre nous présentons une vue approfondie sur l'énergie renouvelable de la biomasse. On détaillera son concept, ses caractéristiques qui ont rendu cette source très utile sur tous les plans.

Nous citons comment on peut extraire différents types d'énergie (électrique, thermique et coproduit), à partir de la biomasse.

Nous donnerons une vue sur la situation de la biomasse dans le monde et en Algérie

II.1.1 concept de biomasse

La biomasse, représente l'ensemble des produits bio résultants des plantes, des animaux, ou d'autre. Elle a pour caractéristique fondamentale d'être constituée de matière organique, végétale ou animale, ou tout au moins d'origine végétale ou animale et qui constituent des milieu vivants d'un ensemble de micro-organismes actifs, ce qui caractérise les résidus, déchets, et autres matières fermentescibles qui, sous l'action de certaines bactéries, sont alors dénommées biodégradables[25].

II.1.2 Composition chimique de la biomasse

La biomasse est constituée majoritairement de carbone, d'hydrogène et D'oxygène Comparativement aux principaux combustibles d'origine fossile, les teneurs importantes en oxygène des biomasses ont la particularité d'avoir un faible pouvoir calorifique

La biomasse inclue aussi la cellulose, l'hémicellulose, la lignine, les lipides, les protéines, les sucres simples, l'amidon, l'eau, les hydrocarbures, les cendres et d'autres

composés. Dans la biomasse, la cellulose constitue la fraction la plus large, suivie de l'hémicellulose, la lignine,....)[26]

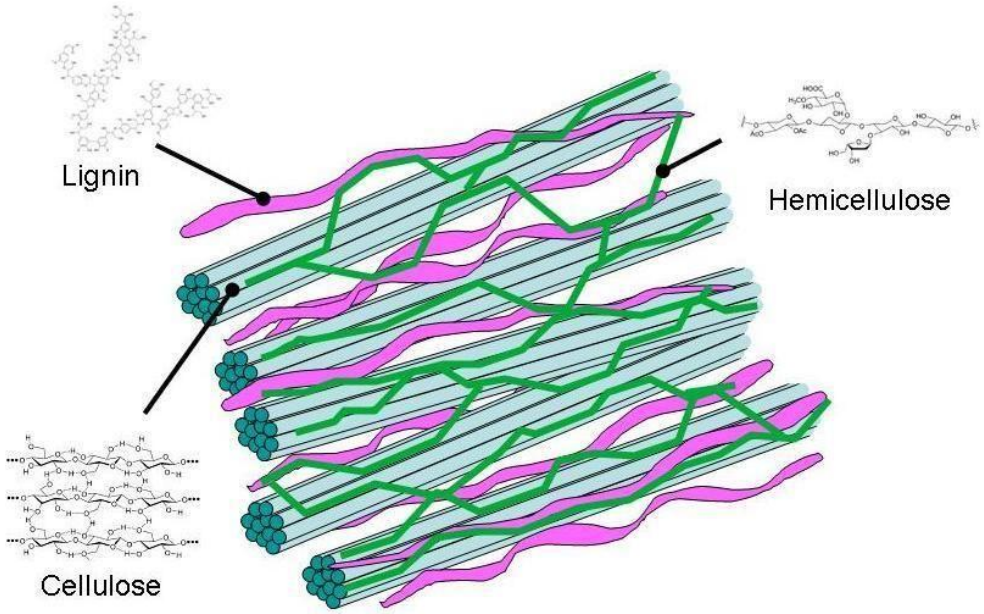

Figure II.1 : composition de la biomasse, cellulose, hémicellulose et lignine [26]

II.1.3 propriétés de la biomasse [27]

Les combustibles biomasses possèdent des propriétés physico-chimiques relativement Différentes selon leur origine ou leur provenance).On peut les caractériser par:

1- un taux de matière volatile élevé, typiquement entre 65 à 70% et 80%.
2- une humidité variable selon les types de produits:
   - Faible (15-30%) pour des combustibles comme la paille de céréales, des cultures énergétiques se récoltant en sec (miscanthus, panic érigé (Panicum virgatum) et le bois de recyclage (broyat de palettes),
   - Elevé (40 à 60%) pour du bois issu de l'expiation forestière (plaquettes), de l'industrie de transformation (écorces, coproduits de scieries).
3- un taux de cendres également variables selon les types de biomasses:
   - faible pour des plaquettes ou copeaux (1 à 2%) et certaines cultures énergétiques comme le miscanthus (2 à 3%),

- un peu plus élevé (6 à 8%) pour des écorces (qui concentrent une bonne partie des minéraux du bois) et des coproduits agricoles type paille de céréales (5 à 8%).

4- un pouvoir calorifique PC sur sec autour de 500KWh/t, à 5% près (le PCI: est le pouvoir calorifique inférieur qui est la quantité de chaleur maximale fournie par une unité de masse de combustible sec lorsque l'eau formée par la combustion demeure à l'état de vapeur);
5- une densité relativement faible (0.1 à 0.3) pour les combustibles les plus répandus. La densité est plus élevée si la biomasse se trouve sous forme de pellets ou de granulés;
6- une teneur massique en carbone comprise entre 36 et 51%;
7- une teneur massique en azote généralement faible pour du bois (0.1à 0.4%) mais qui peut augmenter pour de la biomasse agricole (jusqu'à 1 à 1.5% d'azote avec de la paille);
8- une teneur en soufre très faible (bois) à faible (paille de céréales) en vue de limiter les émissions de SO_2 et la corrosion de l'installation;

II.1.4 la matière organique :

La matière organique désigne la matière décomposée d'origine animale, végétale et bactérienne, des composés organiques issus de déchets et débris de l'environnement trouvé dans un sol. La matière organique fraîche est composée de litière avec des feuilles, brindilles, résidus de cultures, racines mortes, micro-organismes morts, etc.[27].

Elle est présente dans, les sols terrestres ou aquatiques, à raison de 0,5 à 10% et dans de biomasse en général.

II.1.4.1 Composition chimique de la matière organique :

En général, les molécules organiques contiennent les éléments carbones (C) et Hydrogène (H) liés par des liaisons covalentes. Le carbone est le constituant le plus abondant de la matière organique, représentant environ 45-55% de sa masse. D'autres constituants pertinents de la matière organique incluent l'oxygène (O) et l'azote (N). le phosphore (P), le soufre (S), le potassium (K) et d'autres éléments moins courants

représentent moins de 1% de la masse totale de la matière organique vivante [27]

II.1.4.2 les Caractéristique chimique de la matière organique

La caractérisation chimique de la matière organique repose sur sa capacité de dégradation en quantité en qualité et en temps.

a- La volatilité : La matière volatile (MV) est un paramètre global intéressant car il est relativement simple à mesurer, Une matière volatile est une fraction organique des matière pouvant être obtenue par différence massique entre un échantillon de M et les résidus obtenus suivant un passage au four à 550 °C..[28]

b- la matière organique oxydable : la matière organique oxydable (MOO) ne fait pas spécifiquement l'objet de références normatives. Il s'agit de l'ensemble des matières organiques carbonées et azotées (substances d'origine biologique). En excès dans le milieu naturel, elles provoquent un appauvrissement en oxygène qui a des conséquences sur la survie de la faune.[29]

c- La demande chimique en oxygène : La demande chimique en oxygène (DCO) est l'un des paramètres de la qualité d'une eau. Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique contenue dans une eau.[30]

d- Composition élémentaires : Carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre et phosphore, de ce fait, l'analyse élémentaire des déchets permet une caractérisation fine.

II.2 Les transformations de la biomasse [31]

Les technologies disponibles pour produire de l'énergie à partir de la biomasse sont multiples. Schématiquement, elles peuvent être subdivisées comme suit :

- les techniques de production agricole
- les techniques de préparation ou conditionnement de la biomasse;
- les techniques de conversion primaire comprenant toutes les opérations transformant la biomasse en gaz, en liquide ou en vapeur;
- les techniques de conversion secondaire transformant les combustibles obtenus en énergie électrique ou en chaleur.

II.2.1Compactage et séchage de la biomasse

Généralement, la matière première cultivée ou issue de résidus présente un taux d'humidité très élevé et un volume important. Ces caractéristiques rendent difficile et coûteux son transport, son stockage et son traitement, en particulier pour les transformations thermochimiques.

Des opérations de compactage et de séchage sont donc nécessaires. Bien que maîtrisées, ces techniques nécessitent des adaptations particulières pour chaque source d'énergie.

La réduction de cette biomasse en fins copeaux ou en poudre, utile pour les procédés biochimiques de conversion des matières lignocellulosiques, rend, par contre, leurs transformations thermochimiques fortes difficiles à contrôler. L'une des approches les plus attrayantes consiste à densifier les matières finement divisées, pour. Les transformer en produits compacts, d'usage polyvalent. La densification peut s'effectuer, soit à l'aide de liants, soit sans, cette dernière voie étant généralement préférée, car elle est d'un moindre coût et évite la dépendance par rapport au liant. On a alors recours à des presses de différents types, annuaires, à piston, à vis conique ou à vis et à manteau chauffant**.**

II.2.2 les techniques de conversion primaire

Le domaine des techniques de conversion de la biomasse est très vaste: il comprend toutes les opérations transformant la biomasse en fuels liquides, gazeux ou solides, en vapeur ou en gaz de combustion chaud.

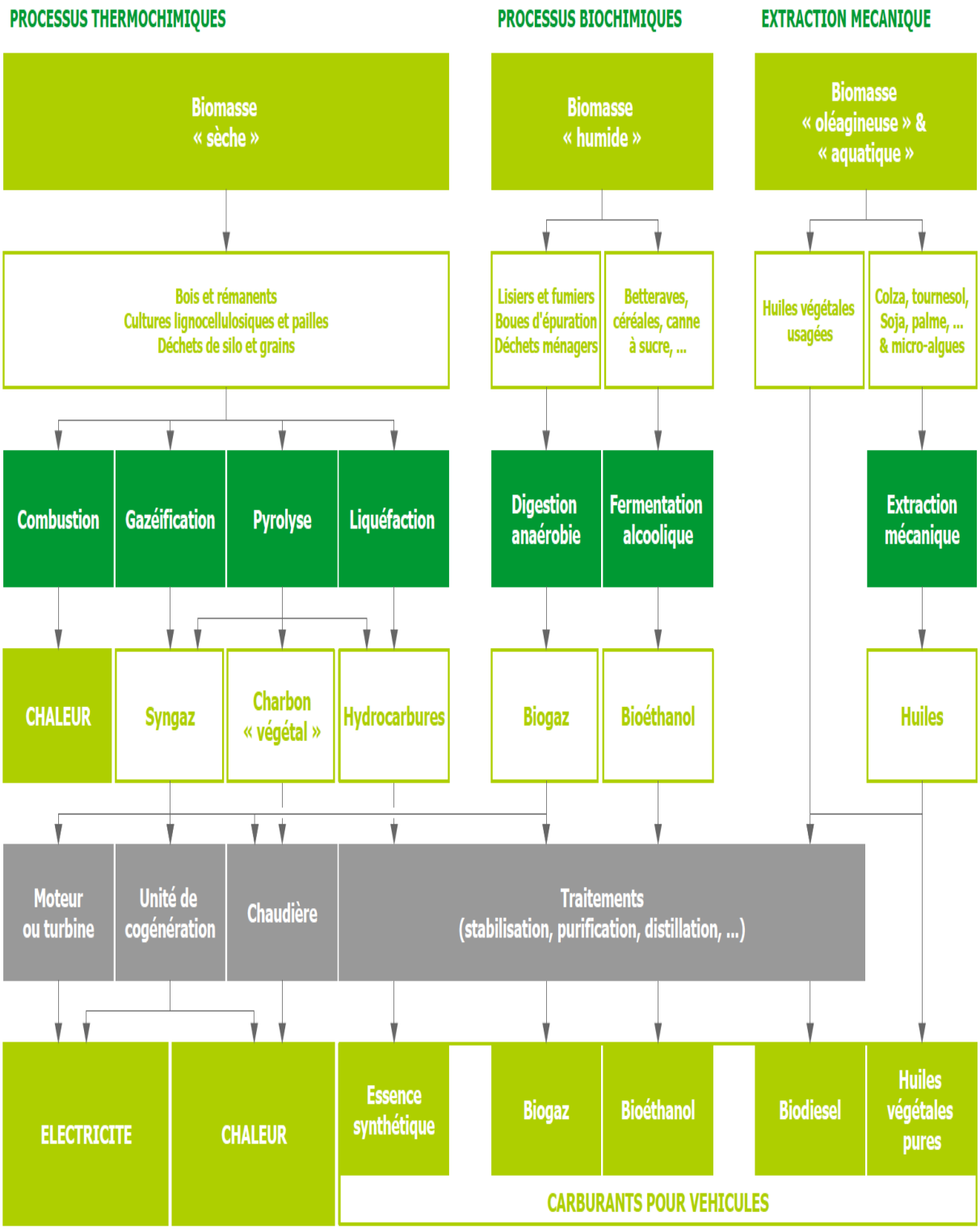

Figure II.2 : Principales filières de conversion énergétique[31]

- on peut présenter ces techniques schématiquement, comme suit:

II.2.2.1 processus thermochimique (voix sèche)

A. la combustion : La combustion est une suite complexe de réactions chimiques exothermiques entre un carburant et un oxydant accompagnée par la production de chaleur. L'eau chaude ou la vapeur ainsi obtenues sont utilisées dans les procédés industriels ou dans les réseaux de chauffage urbain. La vapeur peut également être envoyée dans une turbine ou un moteur à vapeur pour la production d'énergie mécanique ou, surtout, d'électricité. La production combinée de chaleur et d'électricité est appelée cogénération.

B. la gazéification : Ce processus thermique fait intervenir un agent oxydant (air ou oxygène), qui réagit à très haute température avec la biomasse. Cette réaction libère de la chaleur et transforme le quasi totalité du contenu carboné de cette biomasse en un fuel gazeux synthétisé en méthanol ou en ammoniaque .La gazéification permet d'obtenir un gaz porteur d'énergie thermique (gaz chaud) et d'énergie chimique (gaz combustible) toutes les deux exploitables pour : [32]

1. la cogénération : chaleur + électricité (turbine à gaz)
2. la production de biocarburants : syngas H_2/CO → synthèse Fischer-Tropsch
3. les applications pile à combustible : syngas riche en H_2 → électricité

C. La pyrolyse : La pyrolyse (du grec pyro "feu" et lyse "coupure") est un processus primaire de décomposition thermique de la biomasse. Cette réaction produit des gaz permanents, des vapeurs condensables et un solide carboné en proportion variable selon les conditions opératoires et qui peuvent être valorisés à différents niveaux. Par extension, elle recouvre les procédés de valorisation thermique de la biomasse en l'absence d'oxygène. Dans un réacteur de pyrolyse, la biomasse est chauffée à environ 500 °C en l'absence d'oxygène. La technologie de pyrolyse génère [32]:

- une fraction gazeuse (de 15 à 20 % de la biomasse initiale) ;
- une fraction solide carbonée (biocharbon, biochar), sans soufre (de 15 à 20 % de la biomasse initiale) ;

- un liquide appelé huile de pyrolyse, huile pyrolytique ou biohuile (de 60 à 70 % de la biomasse initiale).

Figure II.3 : Photographie d'une bouteille remplie d'huile de pyrolyse [32]

Ces produits sont valorisables pour produire notamment de la chaleur ou de l'électricité.

D. La liquéfaction : Ce procédé fait réagir la biomasse avec un gaz «réducteur», généralement de l'hydrogène à des températures de 250 à 400°C et haute pression (jusqu'à 150 bars) et aboutit à la production de fuels liquides oxygénés à haute valeur de chauffe (35-40 MJ/kg). Ce procédé est toujours au stade de la recherche.

II.2.2.2 Processus biochimique (voix humide)

Les conversions biochimiques sont des processus naturels de décomposition par action des bactéries, mais elles peuvent être contrôlées de façon à obtenir un combustible facilement exploitable. Deux filières de conversion biochimique de la biomasse la fermentation alcoolique et la biométhanisation ou digestion anaérobie.

A. Digestion anaérobie (fermentation) : La digestion anaérobie est la conversion de la matière organique directement en un gaz nommé « biogaz » sous l'action des bactéries. . En absence d'oxygène, la MO est biodégradée selon une succession d'étapes métaboliques conduisant à la formation d'éléments simples tels que le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'eau (H_2O), et la formation de matière

recombinée plus stable d'un point de vue biologique et chimique. Ce procédé est largement utilisé pour traiter les déchets organiques à fort taux d'humidité (80-90%) sans apport supplémentaire d'énergie pour le séchage de la biomasse[33].

Équation 1 : Matière Organique → Matière Organique Stable + CO_2 + CH_4 + H_2O

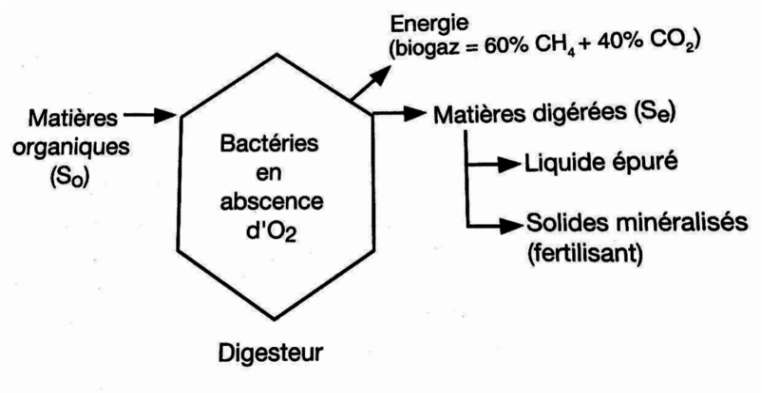

Figure II.4 : processus de la dégradation anaérobie[31]

b. Fermentation alcoolique (bioéthanol) :L'éthanol obtenu par fermentation de sucres, provenant de plantes sucrières (betteraves,…) ou de céréales (blé, mais,…), est appelé bioéthanol. Il peut être utilisé comme carburant pur dans des moteurs adaptés. Il peut aussi être employé en mélange avec les essences, en remplacement du plomb, tel quel ou sous forme d'ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther)[32].

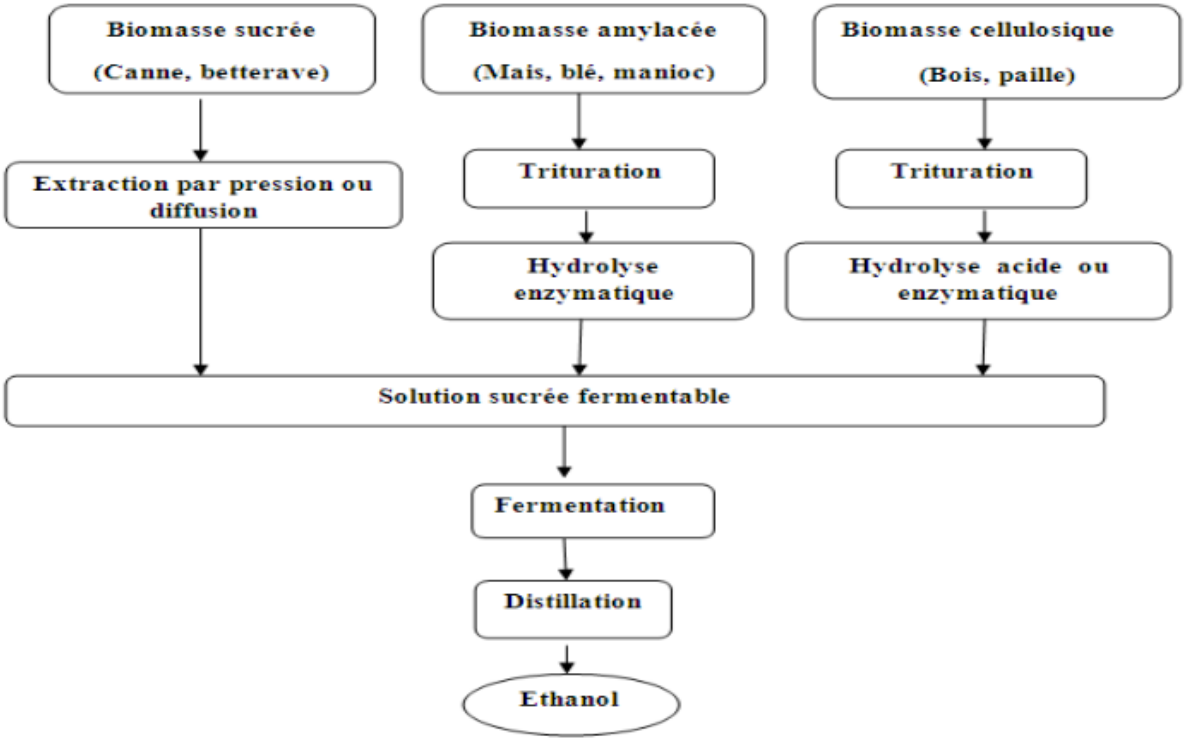

Figure II.5 : Schéma explicatif de production du bioéthanol à partir de plusieurs sources de sucres[32]

La production d'éthanol, nécessite différentes étapes: obtention d'un jus composé de sucres fermentescibles: ceux-ci sont obtenus par simple extraction pour les plantes sucrières et par hydrolyse enzymatique ou acide de l'amidon pour les céréales. Les sucres sont ensuite soumis à l'action de levures qui les transforment en éthanol; ce dernier est enfin extrait par distillation. L'ETBE est formé par réaction de l'éthanol anhydre sur l'isobutène.

II.2.2.3 extraction mécanique (biomasse oléagineuse et aquatique) :

A. extraction (huiles végétales purs) : Des huiles végétales ou des esters d'huile végétale sont produites à partir de plantes oléagineuses (colza, soja, arachide, tournesol). Les huiles végétales sont extraites des graines, des amandes et des fruits. Les oléagineux sont ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but. Parmi les plantes cultivées pour leur huile, les plus connues sont : l'arachide, l'olivier, le colza, le ricin, le soja et le tournesol. En général toutes les graines contiennent de l'huile [33]

B. Le Biodiesel : Le biodiesel est un carburant qui a plus ou moins les mêmes caractéristiques que le petro diesel. Généralement, des huiles végétales sont employées comme l'huile de tournesol, l'huile de soja, l'huile de colza ou l'huile de palmier. Ces huiles sont soumises à une réaction chimique, la transestérification est une réaction chimique catalytique entre l'huile et un alcool (méthanol, éthanol, ...) dont le produit est un mélange d'esters et du glycérol (glycérine). Le mélange d'esters est du biodiesel[34].

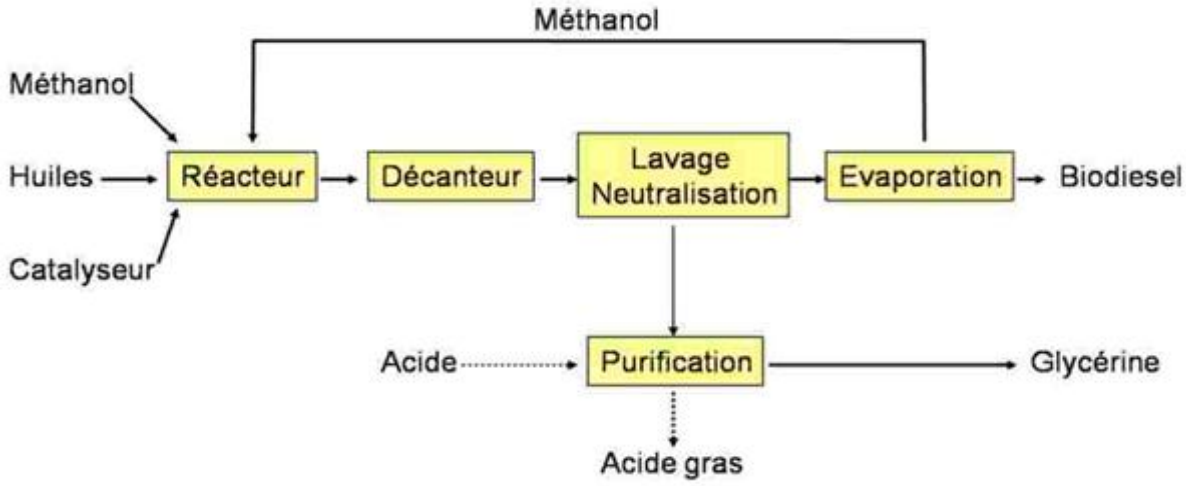

Figure II.6 : le principe de produit de biodiesel[34]

II.2.3 La conversion secondaire

Les combustibles obtenus par les divers procédés décrits ci-dessus sont ensuite convertis en énergie électrique ou en chaleur par l'intermédiaire de chaudières, moteurs ou turbines. L'adaptation des chaudières classiques à un combustible non fossile ne nécessite que des petites modifications. Les technologies conventionnelles de moteurs à vapeur sont bien maîtrisées. La mise au point de turbine à vapeur adaptées à ce processus est en passe d'aboutir. Les moteurs à combustion interne fonctionnant au gaz de décharge sont opérationnels mais leur possibilité d'utilisation à partir de gaz de gazéification ou de pyrolyse n'est pas encore démontrée. Les turbines à gaz et à cycle à gaz combiné sont opérationnelles à partir de gaz de décharge mais elles doivent encore être améliorées pour l'utilisation de fuels provenant de la biomasse gazéifiée. Les turbines à gaz en céramique et les moteurs Stirling (moteurs à combustion externe).

II.3 situation de la source d'énergie de la biomasse

II.3.1 Etat actuel de la production de biomasse à travers le monde

selon l'institut "*Pike Research" (USA)*, 11.4 % > C'est la part de la biomasse dans la production mondiale d'énergie primaire comme 4ème source d'énergie après le charbon, le pétrole et le gaz .Selon l'Agence internationale de l'énergie, en 2017, « biomasse et déchets » ont représenté 1 329 Mtep (millions de tonnes d'équivalent pétrole), soit 9,5 % de la consommation mondiale d'énergie primaire. Sur ce total, 2.2% sont utilisés pour la production d'électricité, 4,8 % pour la production combinée d'électricité et de chaleur (cogénération), 1 % pour les chaufferies des réseaux de chaleur et 6,3 % par les transports (agro carburants)[35]

La Chine est le premier producteur d'électricité à partir de la biomasse, devant les États-Unis (13,1 %), le Brésil (11,0 %) et l'Allemagne (9,7 %). La part de la biomasse dans la production d'électricité reste modeste : 8,7 % au Brésil, 8,0 % au Royaume-Uni, 6,9 % en Allemagne, 5,9 % en Italie, 2,8 % en Inde, 1,4 % au Japon, 1,4 % aux États-Unis, 1,0 % en Chine, 0,9 % en France

La production et la consommation de biocarburants (principalement du bois de feu) étaient plus élevées à travers l'Afrique - 45% de l'approvisionnement énergétique total (TES) en 2018 - que la moyenne mondiale (9% des TES). Cela est dû à la présence de grandes forêts, à une population rurale élevée et à un faible PIB par habitant. Cependant, la part des biocarburants et des déchets dans les TES a considérablement diminué entre 1971 et 2018. Cela s'explique en partie par le développement récent de la production d'électricité à partir de la biomasse

II.3.2 biomasse en Algérie

II.3.2.1 Expérience de valorisation de la biomasse en Algérie

Les premières utilisations des biocombustibles à l'échelle industrielle, en Algérie, remonte à l'époque coloniale [8]. En effet, les colons industriels ont implanté leurs usines en tirant profit de la biomasse locale tels que l'alfa, le bois énergie, le grignon d'olive, etc.

Le grignon était utilisé par les briqueteries et dans les hammams traditionnels pour produire de la vapeur. A titre d'exemple, nous pouvons citer : [36]

- en 1880le biocombustible utilisé était l'alfa :

FigureII.7 : vue d'ensemble de la centrale de Brédeah – Oran[36]

¬ Le véhicule agricole fonctionnant au biogaz issu de la fermentation des déchets de bovins, conçu dans les années 50 par l'Institut National Agronomique.

Figure II. 8: Tracteur fonctionnant au biogaz[36]

- Récupération du biogaz de la station d'épuration de Beraki W.Alger :

La STEP de Beraki a été réalisée dans le cadre du schéma général d'assainissement Grand Alger (élaboré en 1976) qui prévoyait la réalisation des collecteurs principaux longeant de

Oued EL Harrach et ses affluents afin de collecter tous les rejets d'eau urbaines et industrielle pour les acheminées à la STEP, sa première année de service était en 1987 elle traite les rejets de 900 000eq hab. L'unité connait malheureusement un fonctionnement irrégulier en raison de problème d'ordre organisationnel, technique et financier les causes qui ont poussées les responsables de lancer un projet de réhabilitation en 2009, dans le but d'acquérir la technologie et les outils nécessaires pour l'élaboration des différentes technologies de traitement des eaux usées[37].

Figure II.9 : Digesteurs [37]

II.3.2. 2 Ressources de la biomasse en Algérie

La source énergétique renouvelable de la biomasse constitue un gisement en continuelle augmentation en Algérie et présente une très large diversité de composition. Les déchets non traités présentent une source de pollution non négligeable, notamment ceux des décharges, les centres d'enfouissement techniques, les rejets industriels…À cet effet, la valorisation des gaz (gaz à effet de serre) émis par ces déchets à des fins énergétiques (sous forme de biogaz) est à envisager.

Le Nord de l'Algérie représente 10% de la surface du pays, soit 2 500 000 hectares. La forêt y couvre 1 800 000 hectares. Le pin maritime et l'eucalyptus, alliés sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique mais actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne[38].

Le potentiel algérien de la biomasse se compose de la biomasse issue des forets (environ 37 Mtep. Le potentiel récupéré est de l'ordre de 10%), des déchets urbains et agricoles (estimés à 1,33 Mtep/an l'équivalent à 5 millions de tonnes non recyclés) [39]

Algérie compte actuellement plus de 41 millions d'habitants qui génèrent plus des déchets ménagers d'une quantité estimée à plus de 10,3 millions de tonnes de déchets ménagers par an avec un rapport moyen de 0,5 kg/hab./jour et aussi il y'a les déchets agricole cela n'est pas mis à profit.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre Nous avons donné une vue panoramique approfondie sur l'énergie renouvelable de la biomasse. Nous avons commencé par exposer le concept de la biomasse, en particulier ses caractéristiques qui ont rendu ces ressources une d'énergie renouvelable parmi les sources les plus utilisables dans le monde. Nous avons parlé aussi sur la matière organique et sa composition utile..

Enfin nous avons vu la situation de la biomasse dans le monde ainsi que son expérience en Algérie

Chapitre III : approche pratique sur la méthanisation

III.1 Introduction

Ce chapitre présente une introduction pour la partie expérimentale qui va le suivre. Nous évoquons l'aspect pratique de la méthanisation et les étapes nécessaire qu'il faut suivre pour réassure un tel procédé.

Nous présentons tout d'abord le principe de ce procédé, les éléments nécessaires qu'il faut rassemblés pour sa réalisation et sa mis en œuvre. Ce procédé base sur des processus biologiques est chimiques fondamentaux nous allons donc les décrire,. Nous allons bien évidemment présenter les produits d'un tel procédé notamment le biogaz et les déchets solides fertilisants et leurs valorisations gaz ciblé qui est le méthane avec la chute de la production de pétrole, développer les énergies renouvelables semble indispensable. La méthanisation, nous clôturons ce chapitre par une conclusion qui sera utile pour le reste du travail.

III.1.1 Principe de méthanisation

La découverte de la méthanisation remonte à 1776 lorsque l'inventeur de la pile électrique, Alessandro Volta, observa la libération de gaz au-dessus d'un marais. Après avoir étudié ce phénomène, il mit en évidence que le "gaz des marais" était inflammable. Ce n'est qu'en 1892 que le nom de méthane fut admis, tandis que la méthanisation est une digestion anaérobie, ou fermentation méthanique, qui transforme la matière organique en compost méthane et gaz carbonique par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d'oxygène[39] La méthanisation permet d'éliminer la pollution organique tout en consommant peu d'énergie, en produisant peu de boues et en générant une énergie renouvelable : le biogaz.

Il se produit naturellement dans certains sédiments, les marais, les rivières, les décharges, ainsi que dans le tractus digestif de certains animaux : insectes (termites) ou vertébrés (ruminants…). Une partie de la matière organique est dégradée en méthane, et une autre est utilisée par les micro-organismes méthanogènes pour leur croissance et reproduction. La décomposition n'est pas complète et laisse le « digestat » (en partie comparable à un compost).

.

Biomasse ➔ biogaz + digestat

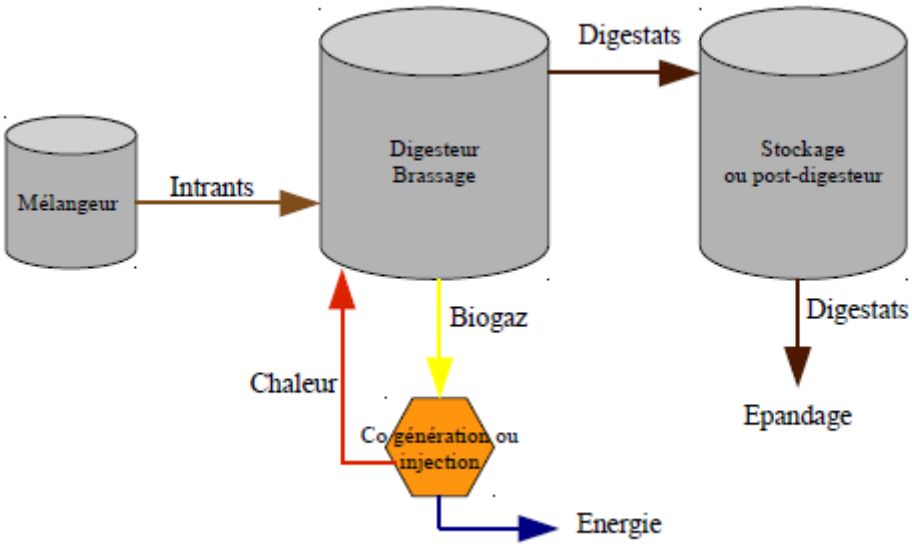

Figure III.1 : Principaux composants de la méthanisation et les sous produits [41] .

Dans le cycle de méthanisation, les intrants sont l'équivalent de la nourriture, ils peuvent être très variés. Ces matières organiques sont généralement prétraitées avant d'être envoyées dans les digesteurs [41]. Selon la technique retenue, elles sont broyées en fines particules afin de faciliter la réaction biologique (filière liquide) ou malaxées pour obtenir un intrant homogène (filière sèche).

La méthanisation est un procédé biologique se déroulant en absence d'oxygène et au cours duquel la matière organique est convertie en biogaz (composé principalement de méthane, CH_4, et de dioxyde de carbone, CO_2). Ce sont principalement des bactéries et des arches (micro-organismes proches des bactéries) qui réalisent ces conversions. Cette transformation est complexe, car il s'agit dans le cas des déchets de passer d'une forme solide (par exemple un morceau de carton) à une forme soluble (par exemple des sucres ou des protéines) qui peut être utilisée par les bactéries.[41]

III 1.2 Les intrants

Ce sont les matières organiques que l'on valorise dans le méthaniseur et qui fournissent le Méthane pendant la digestion.

Pour assurer une bonne digestion, le mélange doit être équilibré et doit contenir plusieurs types d'intrants. De nombreux intrants de natures différentes peuvent être utilisés [40] :

- Produits agricoles : fumier et lisier, culture intermédiaire à vocation énergétique (CIVE), paille et menue-paille, et autres résidus de culture.
- Industrie agroalimentaire : graisses végétales ou animales, coproduits et sous-produits d'usines de production/transformation d'amidon, de protéines végétales, d'acide citrique, de poissons, de viandes (abattoirs compris), de lait, de fruits et légumes, coproduits, de sucre/alcool (betteraveries/sucreries, distilleries, brasseries...
- Assainissement : boues organiques, graisses, produits de vidanges.
- Ménages : les fractions fermentescibles des ordures ménagères (FFOM) contenues dans les ordures ménagères résiduelles (OMR), biodéchets collectés en mélange avec les déchets verts, biodéchets collectés sélectivement, déchets verts collectés en porte-à-porte (PAP), déchets verts collectés en déchèterie.
- Collectivités : déchets verts des services techniques des communes, déchets de cuisine et restauration collectives.
- Les déjections animales : leur pouvoir méthanogène est faible mais elles apportent des bactéries essentielles à la réaction biologique. De plus, elles stabilisent le pH du milieu.

III.2 processus de fermentation

Procédé de la fermentation fonctionne exactement comme le système digestif de l'être humain. La nourriture broyée et avalée est digérée dans l'estomac, elle est liquéfiée et brassée. De fait, notre digestion aboutit bien à un résidu et à un gaz [41]. La dégradation de la matière organique est assurée grâce à l'action de certains groupes de microorganismes microbiens en interaction constituant un réseau trophique, ces derniers méthanogènes sont présentes dans de nombreux écosystèmes naturels aussi comme les fosses septiques, les marais et tourbières, en bien encore la toundra arctique, et même les appareils digestifs des ruminants (le rumen) ou des humains.

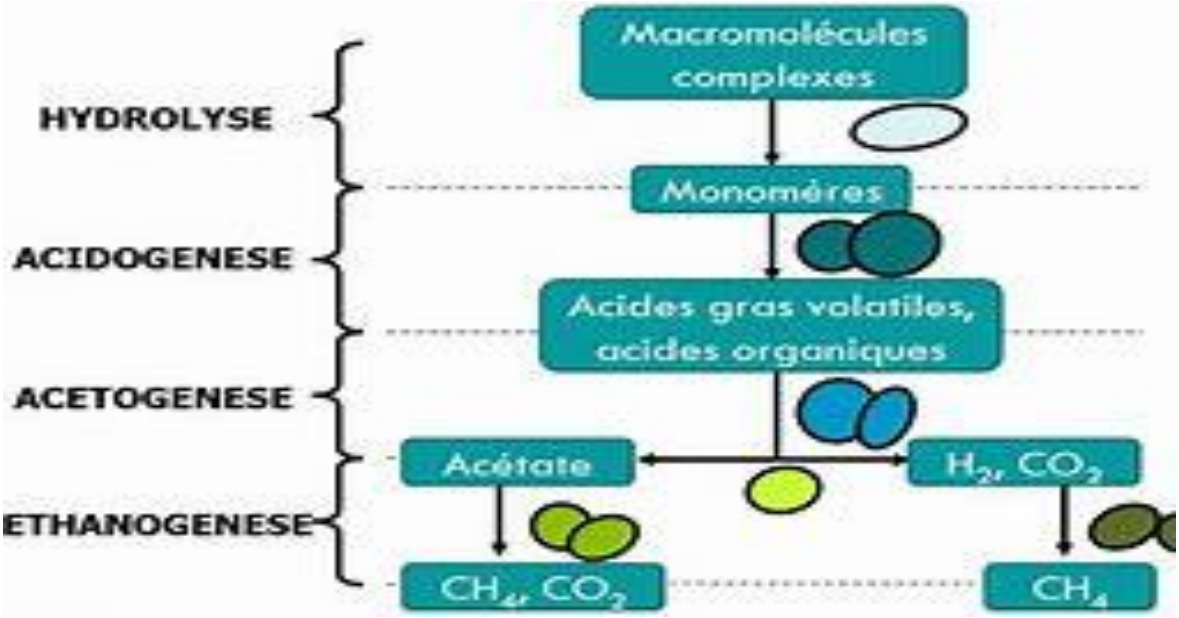

Figure III.2 : Etapes d'un processus biologique [42]

III.2.1 Les phases de dégradation en méthanisation

III.2.1.1 phase aérobie de dégradation

Cette interaction matière-oxygène va initier une phase de dégradation aérobie de la matière qui va durer pendant les premières semaines d'exploitation de l'alvéole. Cette phase est généralement caractérisée par une montée en température du volume d'intrants. La phase de décomposition aérobie, à travers cette augmentation de température, permet la croissance ultérieure des populations microbiennes anaérobies. Elle a une influence positive sur le démarrage de la biodégradation du massif de la biomasse et sur l'installation d'une méthanogènese stable. En métabolisant une partie des substrats facilement biodégradables, elle permet également d'éviter une hydrolyse/abiogenèse trop rapide et intense qui peut entraîner un rélargie important d'AGV et par conséquent bloquer les phases ultérieures de la dégradation anaérobie[43].

III.2.1.2 phases anaérobies de dégradation

Les phases de dégradation anaérobie des matières prennent place dès que le système ne présente plus d'oxygène et conduisent à la production de deux effluents distincts mais interdépendants qui sont : la lixiviation et le biogaz. Concernent pour ce processus on

distingue classiquement quatre phases successives :

1. L'hydrolyse
2. l'acidogène
3. L'acétogénèse
4. La méthanogènese

A. L'hydrolyse : Les macromolécules organiques (polysaccharides, protéines, composés lipidiques) sont hydrolysées en éléments plus simples, tels que sucres simples, acides aminés, acides gras à courtes chaînes, glycérol. Les polysaccharides se dégradent en monosaccharides et disaccharides, la cellulose enfin se transforme en glucose et en saccharose [45] **.**C'est la phase d'hydrolyse qui est souvent considérée comme l'étape limitant de la méthanisation des résidus solides.

$$C_6H_{10}O_5 + \quad H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6$$

b. L'acidogène :Dans une seconde étape, les monomères issus de l'hydrolyse, ainsi que les composés dissous, servent de substrats à des microorganismes fermentaires qui les dégradent principalement en acides de faibles poids moléculaires comme les acides gras volatils [AGV] tels que préopinante, butyrate, Valérie , mais également en pyruvate, lactate, ou en alcools .C'est la phase la plus rapide, mais :

- sensibilité au pH,
- production d'acides organiques inhibiteurs
- beaucoup de compétition entre les différentes espèces

$$3C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 4CH_3CH_2COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 2H_2O$$

C. L'Acétogénèse : Les acides gras volatils (autres que l'acide acétique AGP) sont transformés par les bactéries réductrices Acétogénèse en acétate, hydrogène et gaz carbonique par un groupe hétérogène. C'est une phase très sensible :

- production d'hydrogène
- équilibre avec les espèces consommant H_2
- espèces peu connues (syntrophes)

d. L'méthanogènese : La méthanogènese constitue l'étape de réduction finale du processus de méthanisation. Les substrats issus de la phase de méthanogènes sont réduits par les bactéries en méthane et dioxyde de carbone en deux réactions suivants. Au sein de cette classe on distingue deux familles responsables de la synthèse de méthane :

- les méthanogènes acétoclastes : également appelés acétotrophes, ces organismes peuvent produire du méthane à partir de nombreux substrats comportant un groupement méthyle comme l'acétate, le méthanol mais également des (n)-méthylamines. Le processus de dégradation de l'acétate contribue à lui seul à environ 70% du méthane produit.

$$CH_3COOH + H_2O \longrightarrow CH_4 + H_2CO_3$$

- les méthanogènes hydrogénophiles : Les bactéries hydrogénotrophes contribuent au reste de la production de méthane (environ 30%) en réduisant le couple H2/CO2 ou le formate en méthane.

$$CO_{2+}4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

III.2.2 Aspect physico-chimie de dégradation anaérobie

Il y a beaucoup de facteurs qui influent sur la production du biogaz. La production du méthane dans une décharge dépend de cinq facteurs principaux :

III.2.2.1 Substances nutritives

Les bactéries qui produisent du méthane ont besoin de l'azote, du phosphore, du soufre, du potassium, du sodium et du calcium pour la croissance des cellules. Ces substances nutritives proviennent principalement des déchets [45].

III.2.2.2 Température

La digestion de la matière organique ne produit pas significativement de chaleur, il est nécessaire de chauffer les digesteurs pour maintenir une température compatible avec une bonne activité microbienne. La fermentation méthanique en anaérobie peut se dérouler à l'intérieur des trois gammes différentes de température, selon les préférences d'écologie de température des flores anaérobiques [45].

On distingue trois niveaux de température pour le fonctionnement des méthaniseurs :

- Psychrophile à basse température 5°C-25°C
- Mésophile à moyenne température 25°C-38°C
- Thermophile à haute température au dessus de 50 °C jusqu'à 70 °C

III.2.2.3 Potentiel hydrogène pH

Le pH est un paramètre chimique important puisque la communauté bactérienne méthanogène est sensible aux variations de pH. Cette communauté requiert un milieu neutre avec une valeur de pH comprise entre 6,5 et 8,5 pour son fonctionnement optimal. L'accumulation d'acides gras volatils ou d'hydrogène peut produire une acidification dans les méthaniseurs et inhiber ainsi la méthanisation. Par voie de conséquence, il est très important de suivre la valeur de pH de l'ajuster si nécessaire en injectant de la lessive de soude (Hydroxyde de Sodium) normalement sous forme liquide pour baisser l'acidité du milieu dans le digesteur [45].

III.2.2.4 Le rapport C/N

Les composants du stock nutritionnel sont utilisés sélectivement par différentes bactéries présentes dans le digesteur. Cela est spécialement vrai pour différents rapports entre matière organique et azotée. Les bactéries ont besoin d'un rapport C/N convenable pour leur métabolisme [45].

- le rapport C/N de 30 est fréquemment cité comme optimal.

- Le rapport C/N supérieurs à 23/1 ont été identifiés comme inadaptés pour une digestion optimale

- les rapports inférieurs à 10/1 se sont révélés inhibiteurs.

III.2.2.5 Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique des ordures ménagères, quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids d'ordures brutes, s'exprime en millithermies par kilogramme d'ordures (ou en kJ/kg, 1kj = 0,239 millithermies). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) suppose que la valeur d'eau formée est revenue à son état initial, c'est-à-dire qu'elle a été condensée en restituant la chaleur de vaporisation.

III.2.2.6 Niveau d'humidité

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable. L'humidité minimale doit être de 60 % à 70 %, eau liée ou libre.[44]

III.3 le biogaz produit :

Il s'agit du gaz qui est récupéré en fin de cycle et qui peut être valorisé de différentes manières.

Le biogaz est un gaz combustible, mélange de méthane et de gaz carbonique, additionné de quelques autres composants. Le préfixe bio (vivant) indique sa provenance : les matières organiques, qui libèrent le biogaz lors de leur décomposition selon un processus de fermentation. On l'appelle aussi gaz naturel "renouvelable", par opposition au gaz naturel d'origine fossile. Le biogaz se nomme encore "gaz de marais", au fond duquel se décomposent des matières végétales et animales. C'est également du biogaz qui est à l'origine des feux follets des cimetières ou de l'embrasement spontané des décharges non contrôlées [46].

III.3.1 composition du biogaz

La composition du biogaz et particulièrement la proportion en méthane et en dioxyde de carbone, dépend de la qualité du substrat traité[44].

	Teneur (volume%/volume du gaz sec)	
Constituants	Biogaz formé par la digestion méthanique de la biomasse	Gaz Natural
CH4	50 à70	67 à 90
CO2	25à30	0.2 à 2
H_2S	0.1à5	-
N_2	0.5à3	0,7à 5
H_2	0.1à1	0
CO	>0.1	-

Tableau III.1 : comparaison entre le biogaz et le gaz naturel [44]

On peut trouver d'autre composants comme Mercaptans ($S_x H_y$) que ce sont des composées organiques soufrés qui sont très malodorants et souvent toxiques et le composés organiques volatils (COV : hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, composés halogénés) [44].

III.3.2 Caractéristiques du biogaz

Les biogaz sont des gaz à différents caractères tels que:

- Combustibles, de Pouvoir Calorifique (PCI ou PCS) fonction de la teneur en méthane, le PCI du méthane étant d'environ 9,94 kWh/nm3 dans les conditions normales de température et de pression (0°C, 1atm).
- Humides, saturé en eau, en fonction de la température sortie de la méthanisation,
- Odorants, compte tenu de leur contamination en hydrogène sulfuré et mercaptans,
- Contaminés par des constituants aux propriétés dangereuses pour les personnes (irritants, toxiques) ou les équipements (corrosion, dégradation) selon leurs concentrations :

Et on a d'autre propriété se indique en se tableau :

Caractéristiques	**Méthane (100% CH4)**	**Biogaz (70%)**
PCI (kWh) Densité/air	9,94	6,96 1
Vitesse de déflagration	0,55	0,85
(m/s) Limites	0,38	0,2
d'inflammation (%)	5 – 15	6 – 18
Potentiel de combustion	54,55	24,71

Tableau III.2 : Caractéristiques du biogaz et du méthane déterminées à 0°C et 1 atm [47]

A titre indicatif, le pouvoir calorifique d'1m^3 de biogaz (contenant 70% de méthane et 30% de gaz carbonique), peut être comparé à celui d'autres combustibles ou d'autres sources énergétiques

Figure III.3: Equivalent énergétique d'un mètre cube de biogaz (contenant 70% de méthane et 30 % de gaz carbonique)[47]

III.4 Valorisation du biogaz

Le biogaz est utilisé en tant que combustible ou carburant pour éviter le rejet à l'atmosphère du méthane, gaz participant à l'effet de serre. Il peut servir à la production de la chaleur ou de l'électricité ou les deux à la fois (cogénération).Par ailleurs, il peut aussi être injecté dans les réseaux locaux de gaz naturel. Les quantités de biogaz récupérées lors du traitement des effluents sur les installations anaérobies peuvent être importantes et l'économie énergétique non négligeable

III.4.1 Traitement de biogaz avant valorisation

Quel que soit le mode de valorisation envisagé, la présence d'une très grande variété de constituants dans le biogaz dont certains comme les organo-halogénés, l'hydrogène sulfuré et parfois même les métaux lourds possèdent des propriétés corrosives et/ou toxiques, impose la mise en œuvre d'une épuration plus ou moins poussée du biogaz, pour une valorisation optimisée sans risque pour la santé et la sécurité des utilisateurs [48].
Une ou plusieurs étapes d'épuration sont donc nécessaires. Les techniques les plus courantes sont les suivantes :

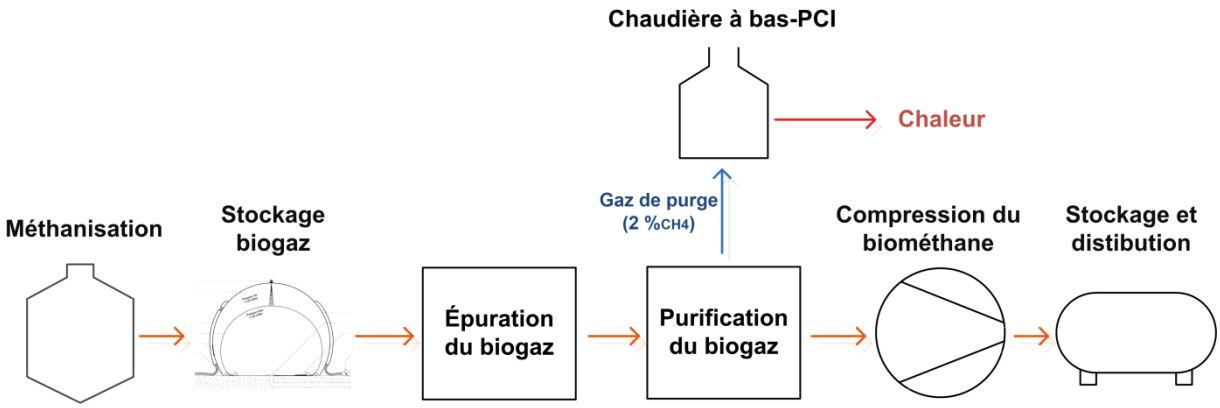

Figure III.4 : Schéma récapitulatif des procédés d'épuration et de purification du biogaz choisis pour notre installation [50]

III.4.1.1 Épuration du biogaz en sortie du digesteur

A la sortie du digesteur, le biogaz renferme, outre le méthane, des quantités appréciables de gaz carbonique et d'hydrogène, des traces d'azote, d'oxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, d'ammoniac ainsi que hydrocarbures et de l'eau. L'épuration du biogaz permet de [49] :

A. Elimination de vapeur d'eau :

L'eau est éliminée par condensation, c'est au niveau du gazomètre de stockage qu'elle peut intervenir, mais on peut faire cette déshydratation par passage du gaz dans une colonne sèche remplie de chlorure de calcium ou de chaux vive.

B. Elimination de H_2S :

Il s'agit d'un composé très odorant, toxique et corrosif. De plus, sa combustion produit du SO2, ce qui est l'une des causes principales du phénomène des pluies acides. Techniques employées sont :

1. Désulfuration biologique: c'est la technique la plus compétitive même lorsque la charge est élevée, grâce à son efficacité élevée et ses faibles coûts d'exploitation.
2. Contre-lavage à l'eau de pression: Absorption dans l'eau basée sur la différence de polarité.
3. Lavage chimique par scrubbers: Il est utilisé en tant qu'alternative biologique. C'est une technique efficace mais moins économique et elle nécessite l'utilisation de produits chimiques.
4. Dosage de sels ferreux dans le digesteur: il permet d'atténuer la formation de ce polluant, par précipitation du sulfure (en réduisant la formation de sulfhydrique)

C. Élimination des Composés Organiques Volatils :

Parmi les COV, on retrouve principalement :

- des composé halogénés (Cl, F) et organo-soufrés (S) : Lors de la combustion du biogaz, ces composés peuvent former des acides corrosifs (HCl, HF, H_2SO_3, H_2SO_4) qui endommagent les pièces du moteur.
- des siloxanes : Ces composés sont présents dans un très grand nombre de produits anthropogéniques (cosmétiques, silicones) et contiennent du silicium. Lors de la combustion, les siloxanes sont oxydés et des dépôts de silice se forment sur les pièces du moteur, diminuant son efficacité et sa longévité.

Les COV sont éliminés par adsorption sur des charbons actifs qui garnissent des colonnes placées en parallèles alternant des cycles d'adsorption/régénération. La

régénération se fait par traitement par la vapeur à haute température (250 °C) qui entraîne les COV et permet la réutilisation de la colonne.

III.4.1.2 purification de biogaz (éliminer de CO_2)

Il ne s'agit pas d'un polluant propre au biogaz, car il est inoffensif pour la plupart des applications. Cependant, celui-ci doit être séparé si l'on souhaite disposer de méthane concentré, soit pour être utilisé en tant que combustible pour automobiles ou bien pour une injection dans le réseau de gaz naturel. les techniques employées dans ce cas sont[56] :

Absorption physique (lavage à l'eau ou aux glycols).ou Adsorption chimique (lavage aux amines),Adsorption (par le procédé Pressure Swing), Adsorption Séparation (par membrane : Cryogénie)

III.4.1.3 stockage et distribution de biogaz

A l'échelle de la ferme, le biogaz peut être stocké dans des gazomètres à basse pression, soit à l'eau (type cloche), soit sec (type ballon gonflable). A l'échelle industrielle, le méthane peut être liquéfié et transporté en l'état (méthanier) ou mis en réserve dans des poches souterraines, tout comme le gaz naturel [50] ou dans le cas de carburant en montre en des petites réservoirs et distribue dans les stations spécifique.

III.4.2 Voies de valorisation de biogaz

Le choix d'une voie de valorisation par rapport à une autre se fera au cas par cas, en fonction de la quantité voire de la qualité du biogaz produit et des possibilités techniques et économiques du moment. Les différents types de valorisation possibles sont présenté sur

schéma symbolique suivants :

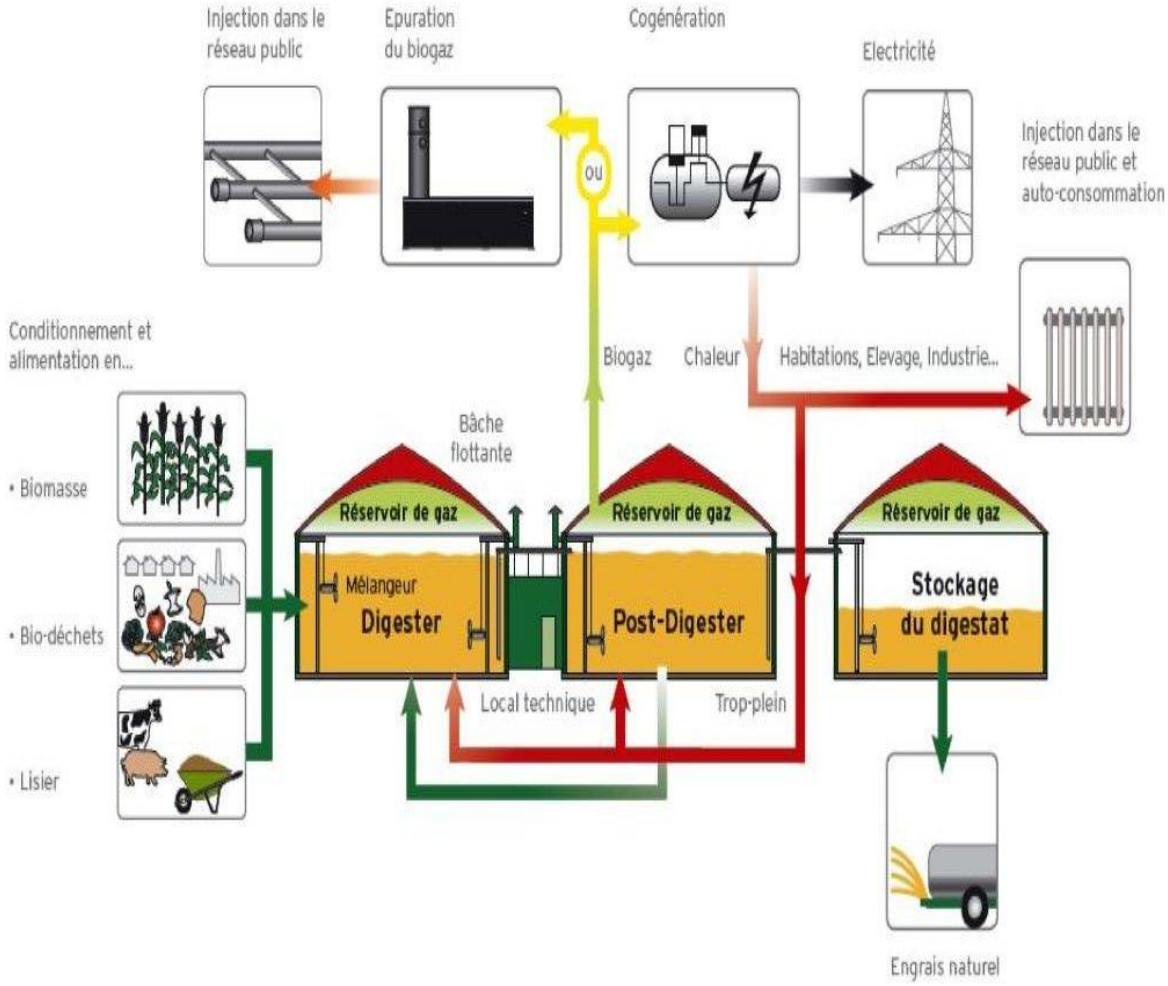

Figure III.5: Schéma symbolique représentant les voies de valorisation du biogaz[51]

III.4.2.1 Voie thermique

La combustion est le moyen de valorisation le mieux adapté au biogaz. Le procédé est simple et n'exige pas un grand investissement. La composition du biogaz importe peu, à condition qu'il comporte au moins 20% de méthane. Ce type d'application s'accommode bien de gaz à haute teneur en H_2S, à condition que les matériaux constituant les équipements soient suffisamment résistants. Les chaudières à gaz modernes atteignent des rendements de 100%, lorsque le rendement est exprimé en fonction du pouvoir calorifique inférieur. Ceci s'explique par la récupération de la chaleur de condensation de la vapeur d'eau formée pendant la combustion [45].

III.4.2.2 Voie électrique

Cette voie nécessite des investissements plus lourds, mais les groupes électrogènes peuvent aussi fournir de la chaleur (cogénération) ce qui permet d'améliorer nettement la rentabilité de l'opération. L'efficacité maximale en électricité des groupes électrogènes fonctionnant au biogaz atteint actuellement 40%. L'électricité ainsi produite peut être revendue. La composition du biogaz nécessite au moins 40% de méthane. Le traitement du biogaz à envisager dépend de la solution retenue (« moteurs à biogaz », « turbine à vapeur », …). En général il est suffisant de le désulfurer et de déshydrater[45]

III.4.2.3 Biométhane carburant

Pour pouvoir être utilisé comme carburant, le biogaz doit contenir au moins 96 % de méthane. Ce qui implique une excellente épuration du biogaz afin de le débarrasser de l'eau, du soufre, des organo-halogénés, du carbone et des métaux qu'il pourrait contenir. Ceci engendre des coûts d'investissement très importants**.**
Des stations de ravitaillement en gaz naturel véhicule (GNV) se sont développées en proximité des agglomérations, en lien avec le changement progressif de motorisation des flottes de poids lourds ou des flottes de véhicules des collectivités (bennes à ordures ménagères, bus…)[52]

Figure III.6 :Voiture à biogaz[45]

III.4.2.4 Injection dans le réseau de gaz naturel

L'injection du biogaz dans le réseau demande une épuration (élimination des composés indésirables tels que H_2S, COV) ainsi qu'un enrichissement du biogaz, c'est-à-

dire l'élimination du CO2, pour donner du biométhane constitué d'au moins 97% de méthane (PCS > 10,7 KWh/m ^{3}). Le biométhane peut être injecté à haute pression (16-80 bars) dans le réseau de transport du gaz naturel, ou à faible pression (4 bars) dans le réseau de distribution. Dans ce dernier cas, l'injection peut dépendre de la capacité du réseau à accepter toute la production de biométhane tout au long de l'année. Les règles génériques de conformité du biométhane sont données par les prescriptions techniques du distributeur [57].

III.4.3 Risques liés au biogaz [58]

Au vu des compositions indiquées ci-dessus, les principaux risques du biogaz sont liés aux risques de ses composants :

- les intrants et les digestat contiennent des microorganisme (virus, bactéries, champignons microscopique….). Ces agents biologiques peuvent être l'origine de maladie plus ou moins graves chez l'homme-infection, allergie, intoxication).
- Le sulfure d'hydrogène à l'odeur caractéristique d'œuf pourri est un gaz mortel
- L'exposition à l'ammoniac provoque immédiatement des irritations de la muqueuse oculaire et respiratoire.
- Le dioxyde de carbone agit sur l'organisme de plus fortes concentrations.
- Le biogaz et en particulier le méthane, son composants principale, son susceptibles de s'enflammer en présence d'une source d'énergie suffisante et ce dans des conditions spécifiques.
- Pollution de l'eau et de sol.

III.5 Les Co- produits

On parle de l'ensemble des produits résultants du processus de méthanisation. Il s'agit de les eaux usées et le digestat appelé aussi le compostage. Les eaux usées représentent un liquide riche en bactéries anaérobiques responsable de processus de fermentation. On peu utiliser une quantité de se produit pour ensemencer notre digesteur en matière d'espèces bactériologique. Il se peut que se produit peut être utilisé comme un liquide de fertilisant en agriculture.

III.5.1 le digestat

Le digestat produit contient des éléments fertilisants, azote (N), phosphore (P) et potassium (K), ainsi que de la matière organique qui n'a pas été totalement transformée. Tous les éléments fertilisants sont conservés lors de la digestion et les vertus agronomiques des intrants sont améliorées : l'azote du digestat est davantage minéralisé et donc mieux assimilable par les plantes.

Par ailleurs, le digestat est désodorisé : son utilisation génère donc moins de nuisances olfactives et les éleveurs rencontrent moins de problèmes de refus par les troupeaux. Le digestat peut être :

- soit épandu directement selon un plan d'épandage avec un matériel adapté pour amender au plus près de la plante.
- soit séparé en deux phases solide et liquide. La phase solide a le même usage qu'un compost. La phase liquide est alors très riche en minéraux et remplace avantageusement les engrais chimiques

III.6 conclusion

Le présent chapitre apporte vue panoramique plus au moins détaillée sur le processus de méthanisation en général. Nous avons commencé par le principe de la méthanisation qui est la base de ce procédé. Nous avons évoqué par la suite l'aspect physico-chimique de la digestion méthanogène et l'ensemble de paramètres influassent cette opération comme température, potentiel hydrogène PH, rapport composants nutritionnel C/N, niveau d'humidité ainsi que le pouvoir calorifique du biogaz produit. Bien que le biogaz se compose majoritairement du méthane il comporte plusieurs composent, ce point ainsi que ces caractéristiques ont étaient très bien détaillé. Nous avons citer l'ensembles des opérations réalisées pour aboutir et valoriser les produits finaux de la méthanisation sans oublier à la fin les risques liés à cette technologie.

Chapitre IV : réalisation et expérimentation d'un dispositif de méthanisation

IV. 1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenté la partie pratique de notre travail commençons par la réalisation du dispositif expérimental destiné à la fermentation des déchets agricoles et finalisons par sa mis en œuvre.

Dans la première partie nous détaillons les différentes étapes que nous avons suivit pour la réalisation de notre digesteur. Il s'agit de la proposition du prototype initial, la préparation de devis estimatif et l'achat des ces composants.

La deuxième partie de ce chapitre est consacrée à la description de la mis en ouvre du dispositif réalisé et à la tache expérimentale suivie pour la fermentation de deux échantillons de déchés agricoles.

IV.1.1 Objectifs du travail expérimental

L'objectif principal de ce travail dans une première phase est de concevoir un premier dispositif expérimental à l'échelle du laboratoire pour munir les premiers essais de la production du biogaz par méthanisation biologique anaérobique. Dans une deuxième étape, nous mettons notre dispositif en phase d'expérimentation. un procédé de méthanisation anaérobique permet de générera partir , de la biomasse qui est une énergie renouvelable, du biogaz qui comporte entre autres notamment du méthane (CH_4, dans des proportions de 50% à 70%, et du dioxyde de carbone (CO_2) ainsi que du compost un « digestat » utilisé comme fertilisant)

Basant sur l'étude bibliographique réalisée et présentée aux chapitres précédant, nous avons élaboré une idée sur l'aspect conventionnel d'un prototype de digestion par lequel nous découvrirons le champ expérimental de ce procédé de méthanisation.. L'expérimentation portera sur le suivi de cette dégradation dans un digesteur à deux enceintes qui vont dégrader un substrat de déchet agricole d'élevage de vaches litières. Cette expérience nous permettra également :

- constatation des rendements de fermentation
- estimation de l'influence des certains facteurs sur le processus tels que ; la température, le type de la matière de digestat, ainsi que la quantité d 'eaux ajoutée Le substrat comporte un lit de bactéries anaérobique obtenu à partir de déchet abattoir des vaches (digestat de poitrine)

Plan des essais N° d'essai	Date d'essai	Type de déchet
1	16-03-2020	les déchets agricoles de l'élevage bovins de vaches litières
2	10-09-2020	Les déchets de 1 er expérience + Une quantité de déchet de la bâtâtes

Tableau IV .1 Essais expérimentaux réalisés

IV.1.2 Montage expérimentale : Essai 1 :16-03-2020

L'élaboration d'un dispositif expérimental a passé par plusieurs étapes qui sont les suivantes :

1. **la proposition du premier modèle via un schéma explicite :**

Cette étape a basé sur la synthèse bibliographique faite sur la partie pratique de notre sujet à partir de la documentation récoltée (articles , power-points, vidéos) qui a conduit à la proposition due premier prototype de notre dispositif expérimental.

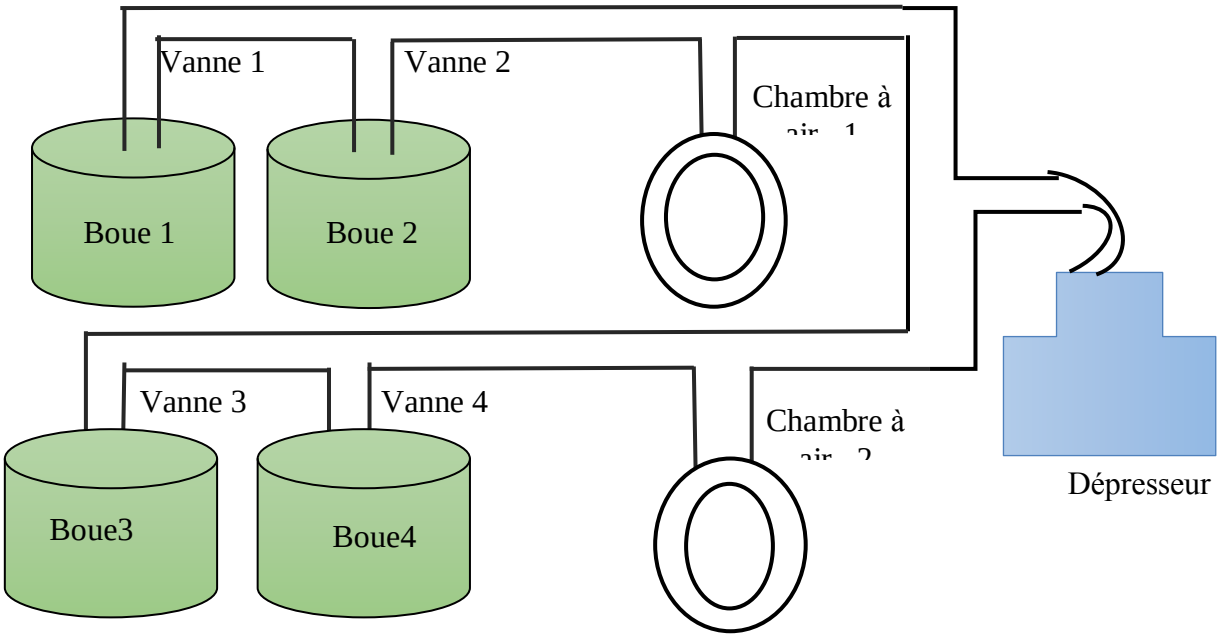

Figure IV.1 : dessin de schéma principal de notre montage expérimental

2. **devis technico-financière :**
3. **La détermination de l'ensemble des éléments et de pièces de conception :**

Cette partie nous a permet d'élaborer un devis technico-financière sur pour préparer et acheter les pièces nécessaires pour la réalisation de notre dispositif.

IV.1.3 La liste du Matériels :

- 4 boues en plastiques
- 2 chambres à air de voiture
- Des raccords en T
- Des raccords simples
- Tuyau de gaz
- Des Collier type serre-joint.
- Fer a soudé

IV.2 Réalisation du dispositif expérimental

Le montage expérimentale a été proposé et réalisée localement avec nos propres efforts nous les étudiants bouzerouata amira et amer kheira sous la direction de notre encadreur Dr, RAOUTI Driss passons par deux étapes ramenant à la conception d'un premier et d'un second prototype :

IV .2.1 premier prototype

L'élément principal dans tel dispositif c'est sont unité de digestion ou ce qu'on appelé le digesteur. Nous avons utilisé quatre (04) sceaux destinés la commercialisation des olives alimentaires. Le volume unitaire est de 11L ce qui fait au total 84L. Les sceaux sont reliés deux à deux avec de tuyaux de gaz Deville (pression 10bar, diamètres 20/21) pour former deux jumelées. Chacune des deux jumelées est reliée à un réservoir qui est une chambre à air dont le tout constitue une demi partie d'expérience qui peut être totalement séparer de la deuxième demi partie si on veut tester de types de déchets différents. Un premier té « T » de déviation placé sur la conduite rassembleuse, permet de faire sortir une branche à immergée dans une bouteille d'eau de 5l et qui sert à l'évacuation de surplus de gaz si le réservoir au bout est complètement remplit. Un deuxième té « T » de déviation placé sur la conduite rassembleuse après la sortie de bouteille, sert à relier la vanne torchère pur permettre d'utiliser et tester le biogaz produit. La figure (2) une photographie réelle du dispositif décrit.

Figure VI.2 : Photographie du dispositif expérimentale

IV.2.2 Mise en œuvre des expériences

Suite à la conception de notre dispositif, nous avons passe à la phase d'expérimentation. Il fallait donc de choisir le déchet à fermenter le ramener et le préparer et finalement le mettre sous l'expérience.

IV.2.2.1 1er expérience

Notre première expérience a commencé le 16/03/2020, par le choix et la préparation du substrat de digest qui sera mis en fermentation basique naturelle sans faire intervenir aucun facteur favorisante accélérateur.

- **Le substrat de digeste**

Sur la base de notre recherche bibliographique nous avons opté sur le choix d'un déchet agricole de l'élevage bovins de vaches litières. Ce choix est justifier par le fait que ce type de déchet comporte une bonne quantité de germes bactériologique anaérobiques qui

ensemence notre substrat à accélère le processus de fermentation. Ces déchet était ramenés auprès d'un éleveur tout prés à une ferme sur la route nationale Saida/de Sidi Bel Abbes. La composition de déchet déponde de la nature de l'aliment donné aux vaches qui comporte dans notre cas de la paille du sandjak de l'amidon de Mais des protéines lactiques et des vitamines.

Les déchets sont mélangés avec de l'eau à un rapport de un tiers. Les sceaux sont remplit à 80% de leurs volume est fermés hermétiquement.

le dispositif est laisser en suite à une température d'environ 28° c.

- **Remarques et constatations**

Une journée plus tard suite au développement du volume de déchet sous l'effet de l'activité de fermentation qui a bloqué les ouvertures des conduits d'évacuation des gaz dégagés dans les seaux, leurs fermetures ont été poussé cela nous a causer une perte de la quantité de gaz déjà produite par fermentation ainsi qu'un dégagement des ordures indésirables associées. Pour remédier à ce problème d'excès de pression, nous avons substitué les quatre seaux par deux sceaux solides plus grands d'un volume de 60 l, chacun.

IV.2.2.2 2^{éme} prototype

Cette expérience est entamée le 17/03/2020. Apres avoir substitué les enceintes de fermentation en gardant l'ensemble de l'installation du premier prototype, nous avons commencé l'expérience en remplissant les déchets de chaque deux premiers sceaux dans chacun des deux nouveaux sceaux. Les substrats ont étaient enrichit d'avantage avec de l'eau jusqu'au atteindre le demi volume de chaque seaux à savoir 30L. Le tout a été bien mélangé et fermé hermétiquement puis laissé à une température de la salle qui varie entre 24 à 34 °c.

Figure IV. 3: schéma simplifie de montage expérimental modifie

IV.3 Résultats et discussion

- **Remarque :**

A cause de la situation sanitaire causée par l'épidémie de corona virus covid19 et l'arrêt de l'activité pédagogique au niveau de l'université, nous n'avons pas pu suivre notre expérience dans les meilleures conditions.

Nous avons décidé de répartie le dispositif en deux parties dont la première est laissée au niveau du laboratoire universitaire de réseaux électrique qu'on va le noté par l'expérience A, alors que la deuxième est déplacée chez nous (à la maison) qu'on va le noté par l'expérience B, pour une suivie de prés en temps réel.

IV.3.1 Constations de développement de processus de fermentation.

- **Expérience A, au niveau de laboratoire**

La première observation était possible lors de la reprise de l'année de 23/08/2020, donc après une période de 5mois environs, nous avons constaté l'état d'avancement de l'activité de fermentation.

Figure IV.4 : Résultat obtenu de produit le gaz méthane a partir de fermentation des déchets agricoles des bovins

Le réservoir était totalement remplit par le biogaz dégagé par fermentation.
Quantitativement le volume de gaz produit est de 0,0645965824 m^3 (64.6 l), donc pour un volume de 30 l de déchets remplit dans un digesteur d'un volume de 60l.

- **Expérience B, l'expérience installée à la maison**

Pour cette partie mise en température ambiante change de 17à 30 °C, nous avons remarqué que durant les deux premières semaines il n'y avait pas un changement visuel significatif sur le développement du volume du réservoir. Cela signifié que le processus de

fermentation n'a pas atteindre la phase des réactions de méthanisation (phase de production du méthane).

Après ce temps le réservoir prend plus de volume avec une vitesse relativement lente. Deux explications peuvent êtres retenues par apport à l'état de l'art, qui explique cette situation à ce niveaux par :

1- Une insuffisance en terme de bactéries anaérobiques contribuant au méthanisation et qui sont en phase de multiplication.
2- La consommation de la grande quantité d'oxygène en présence dans le volume de digesteur par des réactions préliminaires qui précèdent les réactions de méthanisation et qui les favorisent par la suite.

Sur la base de la deuxième explication et vue que notre enceinte était en demi-volume occupé de sa capacité, nous avons décédé de compléter le volume vacant par une quantité supplémentaire de déchet de nature différente que le premier.
Une quantité de déchet de la bâtâtes moise a était ajouté le 10 /09/2020, dont le volume remplit a atteint 95% du volume total de l'enceinte (57/60l).
Le mélange laissé à une température entre 24 à 36 °C a rapidement réagit, où le dégagement des gaz par fermentation arrive à remplit le réservoir à presque 100% de sa capacité le 15/09/2020 dans un temps record de 4 jours.
Cette accélération au processus de fermentation peut être expliquée par la richesse de substrat en bactéries qui a prend suffisamment le temps pour se multiplient comme nous l'avons mentionné.

Figure IV.5 : photographie de résultat de fermentation de la deuxième expérience B.

- **Remarque** : à cause des circonstances sanitaires liées à l'épidémie COVID 19, nous n'avons pas pu accomplir la tache pratique de ce travail. Pour compléter et enrichir notre manuscrit nous avons proposé de le consolider par une synthèse de quelques travaux antérieurs traitant le même sujet.

IV .5 Conclusion

Ce dernier chapitre est consacré à description de la partie pratique du travail expérimental, commençant par la conception du dispositif expérimental, passant par les essais et finalisant par les résultats pratiques obtenus.

Nous avons présenté les objectifs du travail expérimental dont le but principal est de concevoir un dispositif expérimental destiné aux essais de méthanisation des déchets agricoles. Nous avons donc détaillé l'ensemble des étapes de réalisation commençons par la proposition d'un premier prototype et l'établissement de devis matériel et financière de ça conception et finalement sa réalisation au niveau de laboratoire. Par la suite nous avons présenté le premier essai et les difficultés rencontrées au niveau des enceintes de digestion. Ces difficultés nous ont imposé une modification conduisant dons à un nouveau dispositif plus robuste. Les premières expérimentations sont détaillées ainsi que les premiers résultats et leurs constatations. Il s'agit du temps nécessaire de la fermentation les conditions

Requises et facteurs favorisants ce processus.

Nus avons constaté qu'il est nécessaire de préparer le milieu de fermentation par la multiplication des nombres des bactéries anaérobique et l'élimination de l'oxygène de l'enceinte de digestion. Cela détermine le temps nécessaire pour commencer et accélérer le processus de méthanisation. Nous avons constaté que la température est un facteur intéressant favorisant et accélérant ce processus.

Conclusion générale

Nous avons présenté dans ce travail une étude théorique et pratique sur le sujet de méthanisation qui fait partie du domaine des sources des énergies renouvelables en particulier la biomasse. ce travail, représente la première contribution sur ce sujet et ce type d'énergie renouvelable au niveau de notre université. Ce manuscrit présente les différentes étapes franchies pour concrétiser ce travail et qui sont présentées en quatre chapitres comme suit.

Un premier chapitre présente une vue panoramique sur l'ensemble des sources d'énergies renouvelables. Les différentes formes d'énergies et leurs classifications ainsi que les avantages et les inconvénients de ces sources sont données. Ce chapitre est renforcé par des données statistiques sur la situation énergétique mondiale et en Algérie notamment en ce qui concerne la biomasse.

Un deuxième chapitre se reporte sur l'énergie renouvelable extraire de la biomasse qui et au cœur de notre sujet. Plus de détaille donc est présenté concernant le concept de la biomasse, sa composition chimique et ces propriétés. Les processus de transformation notamment la méthanisation ont étaient récapitulé.

Le troisième chapitre est consacré l'aspect pratique de la méthanisation et les étapes nécessaire qu'il faut suivre pour réussir un tel procédé. Le principe de ce procédé, ainsi que sa mis en ouvre sont décrites. Nous avons également présenté la question de valorisations des produits issus de ce processus de méthanisation.

Le quatrième chapitre est dédier à la partie pratique de notre travail qui a commencé par la réalisation du dispositif expérimental destiné à la fermentation des déchets agricoles et sa mis en œuvre. Nous avons détaillé dans une première partie les différentes étapes suivies pour la réalisation de digesteur. Il s'agit de la proposition du prototype initial, la préparation de devis estimatif et l'achat des ces composants.

La deuxième partie de ce chapitre a présenté une description de la mis en œuvre du dispositif réalisé et à la tache expérimentale qui a suivit pour la fermentation de deux échantillons de déchés agricoles.

Ce chapitre a concrétisé ce travail par les résultats et les constations essentielles retenus lors l'élaboration de ce travail. Nous souhaitons de tirer l'attention que la situation de l'épidémie de COVID 19 et le confinement imposé nous a causé un grand problème pour réaliser et suivre la partie pratique de ce travail.

Bibliographies

[1] : Source d'énergie - Définition et Explications https://www.techno-science.net/definition/3439.html

[2] : Jean François Munster « l'énergie :les principales caractéristiques », http://www.planeteenergies.com/fr/medias/decryptages/l-energie-les-principales-caracteristiques » ,10mai 2015

[3] : selecto « Les différentes sources d'énergie »https://www.kelwatt.fr/energie.php2020

[4] : Green waching economy Energie non renouvelablehttps://www.green-economy.fr/energie-non-renouvelable-fossile/2015

[5] : *Oriol* Planas « énergie solaire » https://lenergie-solaire.net/energies-non-renouvelables/combustibles-fossiles2016

[6] : Fracking Diagram_ « WetCakeStudio_Vetta_Getty https »://fthmb.tqn.com/.jpg

[7] : PRÉSENTATION DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PRINCIPAUX SOURCES D'ÉNERGIES FOSSILES https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/Les-sources-d-energies-fossiles -2017-

[8] : http://utilisationdesenergies.blogspot.com/-2011.

[9] :https://th.bing.com/th/id/OIP.0jL4Jg6SOLkvaCPdpbYwpAHaDu?pid=Api&rs=1

[10] : http://www.nucléaire.fr/les-avantages-et-inconvenients-de-energie-nucleaire/

[11] B MOUNIA.CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN DISPOSITIF PRODUISANT DU BIOGAZ-METHANE : http://library.ensh.dz/images/site_lamine/pdf/these_master/2016/6-0

041-16.2015

[12] : https://www.lenergietoutcompris.fr/actualites-et-informations/photovoltaique-solaire/c-est-quoi-l-energie-solaire-48577

[13] : http://enrj.renouvelables.free.fr/energie_constat.html

[14] : merged. https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=588-2016

[15] :http://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/fonctionnement-eolienne_zoom1.png

[16]: http://energiesrenouvelables3eme1.e-monsite.com/medias/album/images/schema-barrage.jpg?fx=r_550_550

[17] :https://th.bing.com/th/id/OIP.eVdvqng0thQXIgp1G9mN5gHaFx?w=232&h=180&c=7&o=5&pid=1.7

[18] : http://tpe-si-2011.e-monsite.com/pages/l-energie-hydraulique/les-hydroliennes/les-hydroliennes.html

Bibliographies

[19] : http://www.energies-renouvelables.org/energie_geothermie.asp

[20] : https://lenergeek.com/wp-content/uploads/2017/06/chaleur-geothermique-maison-min.jpg

[21] : Bilans énergétiques mondiaux: aperçu Bilans énergétiques complets pour plus de 180 pays et régions2019-https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview#world

[22] : https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/leconomie-algerienne-histoire-dun-avenir-hypotheque-par-le-petrole

[23] : BP Statistical Review of World Energy https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/bp-stats-review-2019-full-report.

[24] :http://www.andi.dz/index.php/fr/les-energies-renouvelables

[25] : s. Claude Biomasse et énergie : des ressources primaires aux produits énergétiques finaux https://www.encyclopedie-energie.org/biomasse-et-energie-des-ressources-primaires-aux-produits-energetiques-finaux/-2018-

[26] : b.feddale étude des propriétés thermophysiques des mélanges contenant des composés dérivés de la biomasse page -19-2015http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/8252/1/Etude_des_proprietes_thermophysiques_des_melanges_contenant_des_composes_derives_de_la%20biomasse.pdf

[27] :https://www.aquaportail.com/definition-5420-matiere-organique.html

[28] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_volatile_en_suspension

[29] :http://www.bvoudon.fr/qualit%C3%A9-de-leau/la-qualit%C3%A9-de-l%E2%80%99eau-du-bassin-versant-de-loudon/les-mati%C3%A8res-organiques-et-oxydables

[30] :https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-demande-chimique-oxygene-6372/

[31] :https://www.defi-energie.be/energies-renouvelables-2/biomasse-3/

[32] : http://breuilletnature.blogspot.com/2015/11/les-energies-renouvelables-2-les.html

[33] :A .ASSO .M I C R O B I O L O G I E D E L A D I G E S T I O N A N A E R O BI https://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2013/07/CR_presentation-Phillipe-Delfosse_avec-ppt_2011page 1

Bibliographies

[34] : G .vaitilingom' Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant'2007-researchgate.net/publication/268419017

[35] : MESBAHI Dalila « La transestérification hétérogène de l'huile de tournesol sous alumine : Production du biodiesel EEHV ».-2012- http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/1981/1/MESBAHI-Dalila.pdf page 19

[36] : »Data and statistics - World Balances 2017 [archive], Agence internationale de l'énergie, » 24 septembre 2019.

[37] : RECORD, « Freins et développements de la filière biogaz :les besoins en recherche et développement, » 2009, 134 http://www.credeg.dz/Media/upload/file/1400083621_biomasse1.pdf

[38] :ZEMMOURI Hassiba – « Attachée de Recherche Division Bio-énergie & EnvironnemenDe l'eau usée vers le biogaz » 2011https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_020_03.pdf

[39] :h. stand « la méthanisation 2019https://www.methanisation.info/methanisation.html#

[40] : P. BUFFIERE « Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solides »2007 page -5- https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=Methapi_Guide_Methodo_FR

[41] : guide a l'attention de porteurs de projet-la méthanisation de matière organique p 5

[42] :https://th.bing.com/th/id/OIP.wbzbNoz5VGs4m2kSzGcxogHaE8?w=254&h=180&c=7&o=5&pid=1.7

[43] :GM .khodja « Etude sur la valorisation énergétique par conversion Biomasse de boues résiduaires urbaines – cas de la station d'épuration ONA – Tlemcen »-2014

[44] : Etude sur la biométhanisation des déchets organiques. Contribution expérimentale .2015

[45] : M. Meres « Analyse de la composition du biogaz en vue de l'optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers »2013- https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00793654/document

[46] :ch. Rigaud « BIOGAZ : CE QU'IL FAUT SAVOIr »2007 http://www.energies-renouvelables.org/media/photos/observ-er/biogaz/biogaz.pdf

[47] :b.latifa « Méthanisation des déchets organiques de restaurant de la résidence universitaire de l'université Africaine ADRAR ».2017space.univ-adrar.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/1056/1/Méthanisation

[48] :abderazzek bilal optimisation de l'utilisation de biogaz du méthaniseurs-2011-

[49] : tratement de biogaz :nitoyage, séchage et valorisation de biogazhttps://condorchem.com/fr/blog/traitement-du-biogaz/ -2019-

Bibliographies

[50] :P. AGUETTAZ « énergie renouvelable et envirenement »http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2015/presentation-de-lequipe-0

[51] : https://bien-vivre-au-breuil-sur-couze.fr/wp-content/uploads/2019/04/methanisationschema_generaldoc__053437200_1903_23112016-2-1024x683.jpg

[52] :Schéma régional biomasse de la région Auvergne-Rhône-Alpes 2019-2023 file:///C:/Users/HP/Downloads/Schema-regional-biomasse.pdf

[55] :Retour d'expérience sur la valorisation du biogaz Contraintes techniques et réglementaires2013 https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/45/226168/226168_doc

[56] :majoline « purification du biogaz, épuration du biogaz, raffinage du biogaz, nettoyage du biogaz » 2017 https://www.biogasworld.com/fr/news/production-de-biomethane-par-purification-du-biogaz-decouvrez-nos-clients-et-leurs-produits/

[57] :b.sofia » Méthanisation : du traitement des eaux usées à l'injection de biométhane dans le réseau »30 avril 2017 https://www.encyclopedie-energie.org/methanisation-du-traitement-des-eaux-usees-a-linjection-de-biomethane-dans-le-reseau/

[58] ;F.boutin « méthanisation des déchets issus de l'élevage et agriculture « 2013 http://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6153/ed6153.pdf