

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

بلحاج بوشعيب جامعة عين تموشنت

Université-Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Electrotechnique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**Conception d'un condensateur de gaz méthane issu d'un méthaniseur**

**Présenté par :**

1-ABDELOUAHAB Billal

2-KHIAR Mohamed said

**Devant le jury composé de :**

Dr. AISSOU

Dr. TOUHAMI

Dr. BELGHERASS Nadir

Mr. MECIRDI

UAT.B.B (Ain Temouchent) Président

UAT.B.B (Ain Temouchent) Examineur

UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant

UAT.B.B (Ain Temouchent) Co-encadrant

**Année universitaire 2022/2023**

---

# REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos remerciements et nôtres profondes gratitudees Avant tout à ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé, le courage et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre Encadrant Mr. BELGHERRAS Nadir pour suivi continuel tout le long de la Réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre Travail.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidés à Élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près Ou de loin à accomplir ce travail.

*Enfin, un grand remerciement à nos très chers parents et nos frères et nos sœurs qui nous ont motivés durant notre cursus universitaire.*

# DEDICACE

Je dédie cet humble travail à ma mère et mon père pour la tendresse, l'amour, la patience, le soutien, et l'encouragement qu'ils ont su me donner et qui m'a permis avec l'aide de DIEU d'arriver là où je suis.

Ce modeste travail est dédié à eux qui ont cru en moi, aidé et soutenu tout au long de mon cursus universitaire :

Ma chère maman et mon père.

Mes frères

Mes sœurs

A mes amis, collègues et à toute la famille.

# Table des matières

**Chapitre I : Généralité sur la méthanisation.**

<b>I.1. Introduction .....</b>	<b>(3)</b>
<b>I.2. Définition de la méthanisation.....</b>	<b>(3)</b>
<b>I.3. Types de la méthanisation .....</b>	<b>(4)</b>
<b>I.4. Les intrants .....</b>	<b>(4)</b>
<b>I.5. Le cycle de méthanisation.....</b>	<b>(5)</b>
<b>I.6. Le principe de la méthanisation.....</b>	<b>(5)</b>
<b>I.7. Les filières de méthanisation.....</b>	<b>(5)</b>
<b>I.7.1. La méthanisation par voie sèche.....</b>	<b>(5)</b>
<b>I.7.2. La voie humide .....</b>	<b>(6)</b>
<b>I.8. Les différentes étapes de la méthanisation.....</b>	<b>(7)</b>
<b>I.9. Les intérêts de la méthanisation.....</b>	<b>(9)</b>
<b>I.10. Les principaux intérêts de la méthanisation.....</b>	<b>(9)</b>
<b>I.11. Différents paramètres influençant la méthanisation .....</b>	<b>(10)</b>
<b>I.11.1. La température .....</b>	<b>(10)</b>
<b>I.11.2. Potentiel hydrogène pH.....</b>	<b>(10)</b>
<b>I.11.3. Le rapport Carbone / Azote .....</b>	<b>(11)</b>
<b>I.11.4. Absence de l'oxygène .....</b>	<b>(11)</b>
<b>I.11.5. Brassage.....</b>	<b>(11)</b>
<b>I.11.6. Pression partielle en hydrogène.....</b>	<b>(11)</b>
<b>I.11.7. Humidité.....</b>	<b>(11)</b>
<b>I.11.8. Temps de rétention hydraulique (TRH) .....</b>	<b>(12)</b>
<b>I.12. Définition du biogaz.....</b>	<b>(12)</b>
<b>I.13. Composition de biogaz .....</b>	<b>(12)</b>
<b>I.14. Valeur énergétique .....</b>	<b>(12)</b>

<b>I.15. La valorisation du biogaz.....</b>	<b>(12)</b>
<b>I.16. La cogénération.....</b>	<b>(13)</b>
<b>I.17. L'épuration.....</b>	<b>(13)</b>
<b>I.18. Produits de la méthanisation .....</b>	<b>(14)</b>
<b>I.18.1. Le digestat .....</b>	<b>(14)</b>
<b>I.19. Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie .....</b>	<b>(15)</b>
<b>I.19.1. Les avantages de la méthanisation .....</b>	<b>(15)</b>
<b>I.19.2. Les inconvénients de la méthanisation .....</b>	<b>(15)</b>
<b>I.20. Digesteur.....</b>	<b>(15)</b>
<b>I.21. Constitution et paramètres techniques du digesteur.....</b>	<b>(16)</b>
<b>I.22. Technologie et fonctionnement des méthaniseurs.....</b>	<b>(17)</b>
<b>I.23. Les différents types de digesteur .....</b>	<b>(18)</b>
<b>I.23.1. Les digesteurs discontinus (ou batch) .....</b>	<b>(18)</b>
<b>I.23.2. Les digesteurs continus .....</b>	<b>(19)</b>
<b>I.23.3. Les digesteurs semi-continus ou non conventionnels.....</b>	<b>(19)</b>
<b>I.24. Paramètres de dimensionnement d'un digesteur .....</b>	<b>(19)</b>
<b>I.25. Partie expérimentale.....</b>	<b>(20)</b>
<b>I.25. 1 Origine et caractérisation du substrat utilisé .....</b>	<b>(20)</b>
<b>Résultat.....</b>	<b>(22)</b>
<b>Mode opératoire : .....</b>	<b>(23)</b>
<b>Collecte et prétraitement des déchets .....</b>	<b>(23)</b>
<b>Digestion anaérobie. ....</b>	<b>(24)</b>
<b>Résultat et discussion: .....</b>	<b>(24)</b>
<b>Conclusion : .....</b>	<b>(24)</b>
<b>Chapitre II : Étude de compresseur.</b>	
<b>II.1. Le compresseur.....</b>	<b>(26)</b>
<b>II.2. But de la compression.....</b>	<b>(26)</b>
<b>II.3. Classification et types de compresseurs.....</b>	<b>(26)</b>

<b>II.4. Compresseurs volumétriques.....</b>	<b>(27)</b>
<b>II.4.1. Les Compresseurs alternatifs.....</b>	<b>(27)</b>
<b>II.4.2. Principe de fonctionnement .....</b>	<b>(28)</b>
<b>II.5. Compresseur alternatif à piston .....</b>	<b>(28)</b>
<b>II.6. Les étages.....</b>	<b>(29)</b>
<b>II.6.1. Mono étagé.....</b>	<b>(29)</b>
<b>II.6.2. Multi étagé.....</b>	<b>(29)</b>
<b>II.7. Cylindres.....</b>	<b>(30)</b>
<b>II.7.1. Simple effet.....</b>	<b>(30)</b>
<b>II.7.2. Double effet .....</b>	<b>(30)</b>
<b>II.7.3. Piston différentiel .....</b>	<b>(30)</b>
<b>II.8. Les paliers de compresseur à piston.....</b>	<b>(31)</b>
<b>II.9. Caractéristique de compresseur à piston.....</b>	<b>(31)</b>
<b>II.10. Avantages et inconvénients.....</b>	<b>(32)</b>
<b>II.11. Étude de compresseur frigorifique.....</b>	<b>(32)</b>
<b>II.11.1. Compresseur.....</b>	<b>(32)</b>
<b>II.11.2. Principe de fonctionnement .....</b>	<b>(33)</b>
<b>II.11.3. Étape 1: L'aspiration.....</b>	<b>(33)</b>
<b>II.11.4. Étape 2 : Le refoulement.....</b>	<b>(33)</b>
<b>II.11.5. Vue éclatée d'un compresseur .....</b>	<b>(34)</b>
<b>II.12. Les paliers du compresseur d'un réfrigérateur.....</b>	<b>(35)</b>
<b>II.13. Technologie des compresseurs à piston.....</b>	<b>(35)</b>
<b>II.13.1. Le carter.....</b>	<b>(35)</b>
<b>II.13.2. Vilebrequin.....</b>	<b>(36)</b>
<b>II.13.3. Les bielles.....</b>	<b>(36)</b>
<b>II.13.4. Les pistons.....</b>	<b>(36)</b>
<b>II.13.5. Les soupapes ou clapets.....</b>	<b>(37)</b>
<b>II.14. Dimensionnement d'un compresseur volumétrique.....</b>	<b>( 37)</b>

<b>II.15. Fiche technique de compresseur frigo.....</b>	<b>(39)</b>
<b>II.16. Les calculs.....</b>	<b>(39)</b>

**Chapitre III : Alimentation d'un compresseur avec énergie solaire.**

<b>III.1. Définition.....</b>	<b>(41)</b>
<b>III.2. Les type d'exploitations de l'énergie solaire.....</b>	<b>(41)</b>
<b>III.2.1. L'énergie solaire thermique.....</b>	<b>(41)</b>
<b>III.2.2. Les capteurs solaires thermiques.....</b>	<b>(42)</b>
<b>III.3. Types de capteurs.....</b>	<b>(42)</b>
<b>III.4. Stockage thermique.....</b>	<b>(43)</b>
<b>III.5. L'énergie solaire photovoltaïque.....</b>	<b>(43)</b>
<b>III.6. Le système de production (Le champ PV) .....</b>	<b>(44)</b>
<b>III.7. L'effet photovoltaïque.....</b>	<b>(44)</b>
<b>III.8. Cellule photovoltaïque.....</b>	<b>(45)</b>
<b>III.9. Le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....</b>	<b>(46)</b>
<b>III.10. Les différents types de panneaux photovoltaïques.....</b>	<b>(46)</b>
<b>III.11. Les éléments d'un système photovoltaïque autonome.....</b>	<b>(47)</b>
<b>III.12. Générateur PV.....</b>	<b>(47)</b>
<b>III.13. Le régulateur.....</b>	<b>(48)</b>
<b>III.14. Les Types de régulateurs.....</b>	<b>(48)</b>
<b>III.14.1. Régulateur solaire MPPT.....</b>	<b>(48)</b>
<b>III.14.2. Type de régulateur PWM.....</b>	<b>(49)</b>
<b>III.15. Les batteries.....</b>	<b>(49)</b>
<b>III.16. Principe de fonctionnement.....</b>	<b>(49)</b>
<b>III.17. Les types de batteries.....</b>	<b>(50)</b>
<b>III.18. L'onduleur.. .....</b>	<b>(51)</b>
<b>III.19. Protection d'un système photovoltaïque.....</b>	<b>(52)</b>

<b>III.19.1. Le GPV.....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.19.2. Les batteries .....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.19.3. Le régulateur de charge.....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.19.4. L'onduleur.....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.19.5. Le câblage dans les deux cas (DC et AC) .....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.20. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire.....</b>	<b>(52)</b>
<b>III.21. Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....</b>	<b>(53)</b>
<b>III.21.1. Puissance crête d'un générateur photovoltaïque .....</b>	<b>(53)</b>
<b>III.21.2. Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque.....</b>	<b>(54)</b>
<b>III.21.3. Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser.....</b>	<b>(55)</b>
<b>III.22. Nombre de panneaux photovoltaïques en série.....</b>	<b>(55)</b>
<b>III.23. Nombre de panneaux photovoltaïques en parallèles.....</b>	<b>(56)</b>
<b>III.24. Dimensionnement du parc de batteries.....</b>	<b>(56)</b>
<b>III.25 Dimensionnement du régulateur de charge.....</b>	<b>(58)</b>
<b>III.26. Régulateur MPPT.....</b>	<b>(58)</b>
<b>III.27. Dimensionnement de l'onduleur.....</b>	<b>(59)</b>
<b>III.28. Le dimensionnement des câbles électriques solaires.....</b>	<b>(59)</b>
<b>III.29. Alimentation d'un compresseur par l'énergie solaire.....</b>	<b>(60)</b>
<b>III.30. Les calcule.....</b>	<b>(60)</b>
<b>III.31. Conclusion.....</b>	<b>(63)</b>
<b>Conclusion général .....</b>	<b>(64)</b>



# Liste des figures

Figure.I.1 : Schéma complet de fonctionnement en réseau d'un méthaniseur .....	(4)
Figure.I.2 : digesteur voie sèche.....	(6)
Figure.I.3 : digesteur voie humide.....	(7)
Figure.I.4 : Les principales bactéries de méthanisation.. ..	(8)
Figure.I.5 : trois zones de températures de méthanisation.....	(10)
Figure.I.6: un moteur de cogénération.....	(13)
Figure.I.7 : épurateur membranaire de biogaz.....	(14)
Figure.I.8 : digesteur.....	(16)
Figure.I.9 : les formes de digesteur.....	(16)
Figure.I.10 : vue en coupe d'un digesteur fonctionnant en infiniment mélangé.....	(17)
Figure.I.11 : schéma de principe général d'une méthanisation.....	(18)
Figure.I.12 : schéma de principe d'un digesteur à alimentation discontinue.....	(19)
Figure.I.13 : schéma de principe d'un digesteur à alimentation continue.....	(19)
Figure.I.14 : production de biogaz.....	(21)
Figure.I.15 : filtre de gaz.....	(21)
Figure.I.16 : compresseur.....	(22)
Figure.I.17 : gonflement de chambre à air après 24 heure.....	(22)
Figure.I.18 : gonflement de chambre à air après 5 jours.....	(23)
Figure.I.19 : Courbe représente quantité gaz pendant 5 jour.....	(23)
Figure.II.1 : schéma types de compresseurs.....	(27)
Figure.II.2 : types de compresseur alternatif.....	(28)
Figure.II.3 : Compresseurs volumétriques alternatifs.....	(28)
Figure.II.4 : Compresseur alternatif à piston.....	(29)
Figure.II.5 : compresseur à simple effet.....	(30)
Figure.II.6 : compresseur à double effet.....	(30)

<b>Figure.II.7 : cylindre à piston différentiel.....</b>	<b>(31)</b>
<b>Figure.II.8 : compresseur frigo. ....</b>	<b>(32)</b>
<b>Figure.II.9 : compresseur- étape1 : aspiration. ....</b>	<b>(33)</b>
<b>Figure.II.10 : compresseur étape2 : refoulement. ....</b>	<b>(34)</b>
<b>Figure.II.11 : vue éclatée d'un compresseur.....</b>	<b>(34)</b>
<b>Figure.II.12 : le carter.....</b>	<b>(36)</b>
<b>Figure.II.13 : Vilebrequin.....</b>	<b>(36)</b>
<b>Figure.II.14 : compresseur frigo. ....</b>	<b>(39)</b>
<b>Figure.III.1 : énergie solaire.....</b>	<b>(41)</b>
<b>Figure.III.2 : Principe de fonctionnement des capteurs non vitrés. ....</b>	<b>(42)</b>
<b>Figure.III.3 : Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés.....</b>	<b>(42)</b>
<b>Figure.III.4 : Principe de fonctionnement des capteurs à tube sous vide. ....</b>	<b>(43)</b>
<b>Figure.III.5 : Principe de fonctionnement des capteurs à concentration.....</b>	<b>(43)</b>
<b>Figure.III.6 : schéma d'un champ photovoltaïque.....</b>	<b>(44)</b>
<b>Figure.III.7 : panneaux photovoltaïques.....</b>	<b>(45)</b>
<b>Figure.III.8 : Cellule photovoltaïque. ....</b>	<b>(45)</b>
<b>Figure.III.9 : schéma équivalent de cellule PV.....</b>	<b>(46)</b>
<b>Figure.III.10 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. ....</b>	<b>(46)</b>
<b>Figure.III.11 : types de panneaux photovoltaïques.....</b>	<b>(47)</b>
<b>Figure.III.12 : représentation d'un système photovoltaïque autonome. ....</b>	<b>(47)</b>
<b>Figure.III.13 : composants d'un générateur PV.....</b>	<b>(48)</b>
<b>Figure.III.14 : types de régulateur MPPT. ....</b>	<b>(49)</b>
<b>Figure.III.15 : type de régulateur PWM. ....</b>	<b>(49)</b>
<b>Figure.III.16 : principe de fonctionnement de batterie. ....</b>	<b>(50)</b>
<b>Figure.III.17 : classification des onduleurs PV connectés au réseau. ....</b>	<b>(51)</b>
<b>Figure.III.18 : câble solaire. ....</b>	<b>(59)</b>
<b>Figure.III.19 : Compresseur frigorifique alternatif AE1420Z-FZ1B.....</b>	<b>(60)</b>
<b>Figure.III.20 : alimentation de compresseur par l'énergie solaire. ....</b>	<b>(62)</b>

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau.I.1: Condition de culture optimale pour les micro-organismes présentés dans la chaîne de la gestion anaérobie.....</b>	<b>(9)</b>
<b>Tableau.II.1: Caractéristique de compresseur à piston.....</b>	<b>(31)</b>
<b>Tableau III.1: Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de Batterie.....</b>	<b>(48)</b>

# Nomenclature

Nm	Nombre de panneaux solaire nécessaires à l'installation	/
Ns	Le nombre de modules connectés en série	/
Vch	Tension totale du champ	V
Vn	La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque	V
Np	Le nombre de modules connectés en parallèles	/
Cch	Capacité du champ de batterie	Ah
N	Nombre de jour d'autonomie	/
D	Décharge maximale admissible	/
U	Tension de la batterie	V
C <sub>batterie</sub>	Capacité d'une batterie	V
Ie	Courant d'entrée	A
Is	Courant de sortie	A
R	La résistance	$\Omega$
P	La résistivité	$\Omega$
L	La longueur du câble	m

# Abréviation

**MO** : Matières organique g/l

**MS** : Matière sèche g/l

**PH** : Potentiel Hydrogène

**AGV** : Acides gras volatils (mg DCO/l)

**CH<sub>4</sub>**: Méthane **CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**H<sub>2</sub>S** : Sulfure dihydrogène

**H<sub>2</sub>O** : Eau

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de carbone

**SO<sub>2</sub>**: Dioxyde de soufre

**C<sub>m</sub>** : Charge massique.

**PV**: Photovoltaïque

**Si** : Silicium

**GPV**: Générateur photovoltaïque

**FF**: Facteur de forme

**CA**: Courant alternatif

**DC/DC** : Un convertisseur statique continu / continu

**DC/AC** : Un convertisseur statique continu / alternatif

**N**: Dopage de type négatif

**P**: Dopage de type positive

**PN**: Une jonction PN est l'accolement d'une région dopé positive et d'une région dopée négative.

**G**: Le rayonnement global

**D**: Compte seulement du rayonnement direct

**SI**: Système International d'unité

**SPA** : Système photovoltaïque autonome

**MPPT** : Maximum power point tracking

**BJ** : Boite de jonction

**INTRODUCTION  
GÉNÉRALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Méthanisation est un processus biologique qui est réalisé naturellement, dans les marais et les intestins des animaux et des insectes, en absence d'oxygène qui transforme la matière organique en méthane et gaz carbonique.

Volta identifie le méthane comme un gaz à fort potentiel combustible et valorisable sous forme d'énergie. Des applications exploitant la digestion anaérobie, apparaissent par la suite en France, en 1881, avec le procédé Mouras, où une chambre hermétique permettait le traitement des eaux domestiques. Le même procédé sera appliqué en fosse septique, quatre années plus tard en Angleterre. Bombay, en Inde, verra, en 1897, l'installation du premier procédé de méthanisation collectant des excréments humains afin de fournir de l'électricité aux lampadaires de la ville.

Méthanisation se développent en 1940 pour fournir de l'énergie à partir des déchets agricoles et des lisiers produit par l'élevage, mais la montée de la pétrochimie et l'utilisation des énergies fossiles freinent le développement de ce type de valorisation. Dans les années 70, la première crise pétrolière relance l'intérêt pour cette solution alternative aux énergies fossiles et de plus en plus de méthaniseurs sont construits dans les fermes et les campagnes. En Europe, l'essor de la digestion anaérobie va être concentré sur le Danemark, la Suisse et l'Allemagne. Cette dernière va compter plus de 1500 unités de méthanisation installées en moins de 30 ans .La pollution de l'eau, de l'air et des sols par les déchets municipaux, industriels et agricoles est en évolution. La digestion anaérobie (bio méthanisation) permet de réduire les volumes de déchets et de Producer biogaz, une source d'énergie renouvelable.

L'énergie est disponible en grande quantité et est relativement bon marché .Elle permet à de nombreuses populations de jouir de très hauts niveaux de confort, de, productivité et de mobilité. Mais l'accès et l'exploitation sont inégalement réparti entre régions et pays.

En Algérie, malgré les richesses en hydrocarbures, L'approvisionnement en combustibles fossiles est un problème majeur pour les régions enclavées, entraînant une consommation accrue et une dégradation des forêts, ce qui a engendré une consommation accrue en bois, une dégradation poussée des forêts, une érosion des sols et une détérioration du climat et de l'environnement.

Pour répondre aux besoins en énergie de notre pays, La production d'énergie à partir de la matière organique de diverses origines : matière végétale, déjections animales, sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, boues des stations d'épurations, ordures ménagères,..., au moyen de procédés de fermentation anaérobie dans des digesteurs appropriés (bio méthanisation), permettra une meilleure gestion des déchets, une préservation de l'environnement et un développement ainsi qu'une diversification des ressources énergétiques (énergies alternatives) pour compléter l'énergie fossile non renouvelable .

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



**Chapitre I : Généralité  
Sur La Méthanisation**

## I.1. Introduction :

La méthanisation est un processus biologique naturel qui permet la dégradation de la matière organique en conditions anaérobies, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène. Ce processus produit du biogaz, principalement du méthane ( $CH_4$ ), ainsi qu'un résidu appelé digestat.

La méthanisation est largement utilisée comme une forme de valorisation énergétique des déchets organiques, tels que les déchets agricoles, les résidus de l'industrie agroalimentaire, les boues d'épuration ou encore les déchets de la biomasse. Elle est considérée comme une solution durable pour la gestion des déchets, la production d'énergie renouvelable et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le biogaz produit lors de la méthanisation peut être utilisé de différentes manières. Il peut être brûlé pour produire de la chaleur et de l'électricité, utilisé comme carburant pour les véhicules ou injecté dans le réseau de gaz naturel. Cette flexibilité d'utilisation en fait une source d'énergie polyvalente et renouvelable.

La méthanisation présente également d'autres avantages environnementaux. Elle permet la réduction des émissions de gaz à effet de serre, car le méthane produit lors de la décomposition de la matière organique est capturé et utilisé comme source d'énergie. De plus, le digestat issu du processus de méthanisation peut être utilisé comme engrais organique, contribuant ainsi à la fertilité des sols.

## I.2. Définition de la méthanisation :

La méthanisation (ou appelée " digestion anaérobie ") est la transformation de la matière organique en un biogaz composé principalement de méthane et de gaz carbonique.

C'est une transformation naturelle qui se réalise dans tous les milieux où l'on trouve la matière organique en absence d'oxygène et où les conditions physico- chimiques sont compatibles avec celles du vivant.

Cette technologies permettant efficacement le traitement de la matière organique des déchets et de transformer les polluants de l'environnement en sources de richesse Grâce à ce procédé, il est possible de stabiliser les déchets, de réduire leurs volumes et enfin de produire un combustible de haute valeur énergétique.

Cette transformation des déchets organiques en biogaz n'est pas simple, il s'agit en fait d'une séries des réactions successives qui sont dues à diverses catégories de bactéries.

Ces bactéries ont des conditions bien définies et des exigences particulières pour se développer à savoir l'absence d'oxygène, un pH proche de la neutralité, et une gamme de température bien. [1]

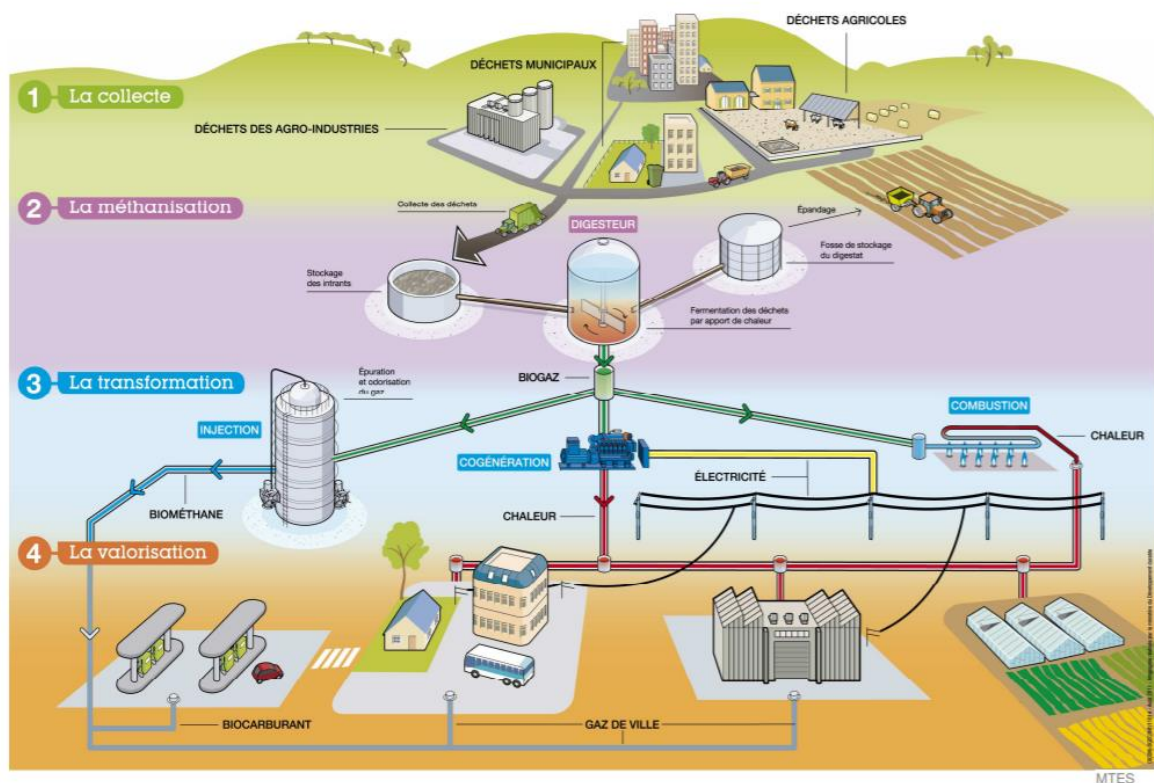


Figure.I.1: Schéma complet de fonctionnement en réseau d'un méthaniseur.

### I.3. Types de la méthanisation :

Étant donné la diversité des déchets organiques pouvant être valorisés par méthanisation, on peut distinguer plusieurs types de projets :

- méthanisation agricole territoriale,
- méthanisation des boues sur les stations d'épuration,
- méthanisation d'effluents industriels,
- méthanisation de la fraction fermentescible des ordures ménagères.

### I.4. Les intrants :

Ce sont les matières organiques que l'on valorise dans le méthaniseur et qui fournissent le méthane pendant la digestion. [2]

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.

**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.

**Les résidus de culture (paille, céréales) :** ils présentent un fort taux de matières sèches et ont également une teneur en carbone haute. Ils servent de supports bactériens et favorisent le procédé de méthanisation.

**Les co-substrats :** ils sont utilisés comme complément aux substrats car le pouvoir méthanogène d'un substrat agricole n'est généralement pas assez élevé pour assurer seul la rentabilité du projet. Ces produits proviennent d'industries agroalimentaires pour les graisses ou les huiles, ou bien de collectivités pour les matières plus sèches comme les tontes de pelouses. D'économie circulaire, apte à développer et dynamiser des territoires ruraux.

### **I.5. Le cycle de méthanisation :**

Le procédé de méthanisation 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.

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. Selon la technique retenue, elles sont broyées en fines particules afin de faciliter la réaction biologique (filère liquide) ou malaxées pour obtenir un intrant homogène (filère sèche). Ces intrants sont ensuite envoyés dans des silos, digesteurs et post-digesteurs, fermés, chauffés, isolés de l'air et de la lumière. La température du milieu est de l'ordre de 37°C, comme chez l'homme. [2]

### **I.6. Le principe de la méthanisation :**

Le processus de méthanisation est une transformation de la matière organique en biogaz (contenant du méthane) et en digestat (matière digérée restante), grâce à des microorganismes. La réaction a lieu en absence d'oxygène, à une température d'environ 37°C (chaleur autoproduite), dans une cuve fermée et agitée appelée digesteur. Les matières organiques (par exemple des déjections animales telles que le lisier et le fumier) sont décomposées en molécules simples par les micro-organismes pendant environ 40 jours. Cette dégradation donne lieu au biogaz qui est une énergie renouvelable et à un digestat qui a des propriétés fertilisantes. Le biogaz peut être valorisé dans une chaudière pour produire de la chaleur, dans un moteur de cogénération pour produire de l'électricité et de la chaleur, en injection dans le réseau de gaz naturel, en biométhane carburant pour les véhicules fonctionnant au gaz naturel. Le digestat est épandu pour fertiliser les terres agricoles. La méthanisation est un phénomène qui se déroule naturellement dans l'appareil digestif des bovins ou dans les marais. [3]

### **I.7. Les filières de méthanisation :**

La méthanisation offre deux filières différentes, qui dépendent du type de substrats utilisés étudie leurs taux en matières sèches : [4]

#### **I.7.1. La méthanisation par voie sèche :**

Concerne les effluents et ressources ayant un taux de matières sèches relativement élevé, supérieur à 20% (fumier, herbes, feuillages, paille). Elle nécessite des installations moins

sophistiquées et est utile pour des exploitations individuelles ou des petites puissances. En général, la voie sèche à un rendement électrique supérieur du fait qu'elle ne nécessite pas de motorisation de forte puissance (pompe, agitateur).

Les avantages de ce type de production sont que les effluents peuvent être très variés, la production de gaz peut être continue avec plusieurs digesteurs fonctionnant en décalage, en alternant la charge et la décharge des silos par engins (voir photo ci-dessous). Ces installations utilisent très peu d'équipements électriques, mais des équipements de manutention spécifiques. Leur gestion et de maintenance nécessite peu d'intervention humaine en dehors de la manutention des intrants. Ces ouvrages acceptent de grands volumes d'effluents. L'utilisation de plusieurs cellules de méthanisation permet d'avoir une sécurité en cas de pollution d'une partie des intrants (isolation de la cellule défectueuse).



**Figure.I.2:** Digesteur voie sèche.

### **I.7.2. La voie humide :**

La voie humide est principalement réservée aux effluents avec des taux de matières sèches inférieurs à 20% (boues, lisiers, graisses). Elle est plus répandue que la voie sèche au niveau industriel et agricole. Les effluents sont généralement amenés dans les silos par des pompes ou des trémies agricoles puis brassés afin d'homogénéiser le mélange et éviter la formation de blocs. Le digesteur est constitué d'une grande cuve contenant l'ensemble des intrants et qui agit sur eux comme un estomac. Il possède au minimum un mélangeur et également un bloc de chauffage qui sert à maintenir le mélange à la température optimale de digestion. Quant à la partie supérieure, elle est en forme de dôme pour stocker le gaz.



**Figure.I.3:** Digesteur voie humide.

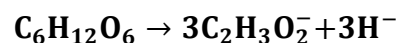
### I.8. Les différentes étapes de la méthanisation :

La digestion anaérobie est un procédé biologique, qui sert au traitement et valorisation des déchets organiques. Elle contient généralement quatre étapes selon les auteurs, qui sont l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogène et la méthanogène. Dans le cas de la co-digestion, des déchets solides biodégradables sont ajoutés en tête du procédé.

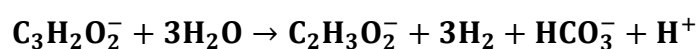
Les bactéries de la méthanisation se distinguent en quatre groupe selon la réaction qu'elles entraînent .ces réactions se succèdent dans le temps pour une molécule, mais à l'échelle d'un méthaniseur, elles ont lieu au même moment. [5]

**Hydrolyse :** L'hydrolyse consiste en la dégradation des molécules organiques complexes (polysaccharides, lipides, etc.) en sucres simples( monoscharides ,acides gras, acides aminés).

**Acidogénèse :** L'acidogénèse transforme les sucres simples en molécules tels que les AGV(acide acétique, proprionique ,butyrique, valérique), alcools et acides organiques.  $H_2$  et  $CO_2$  sont également formés à cette étape.[5]



**Acétogénèse :** L'acétogénèse transforme les composés formés pendant la phase précédente en précurseurs directs du méthane: $H_2$ ,  $CO_2$  et acétate. [5]



**Méthanogénèse :** La méthanogénèse est ensuite divisée en 2 grandes voies: La voie des hydrogéntrophes qui consomme  $H_2$  et  $CO_2$  pour former du  $CH_4$ ; et la voie des acétotrophes qui

transforme l'acétate en méthane et CO<sub>2</sub>. D'autres voies sont envisageables telles que celle des méthylothropes. Parmi un ensemble de réactions possibles, on trouve les 3 suivantes:

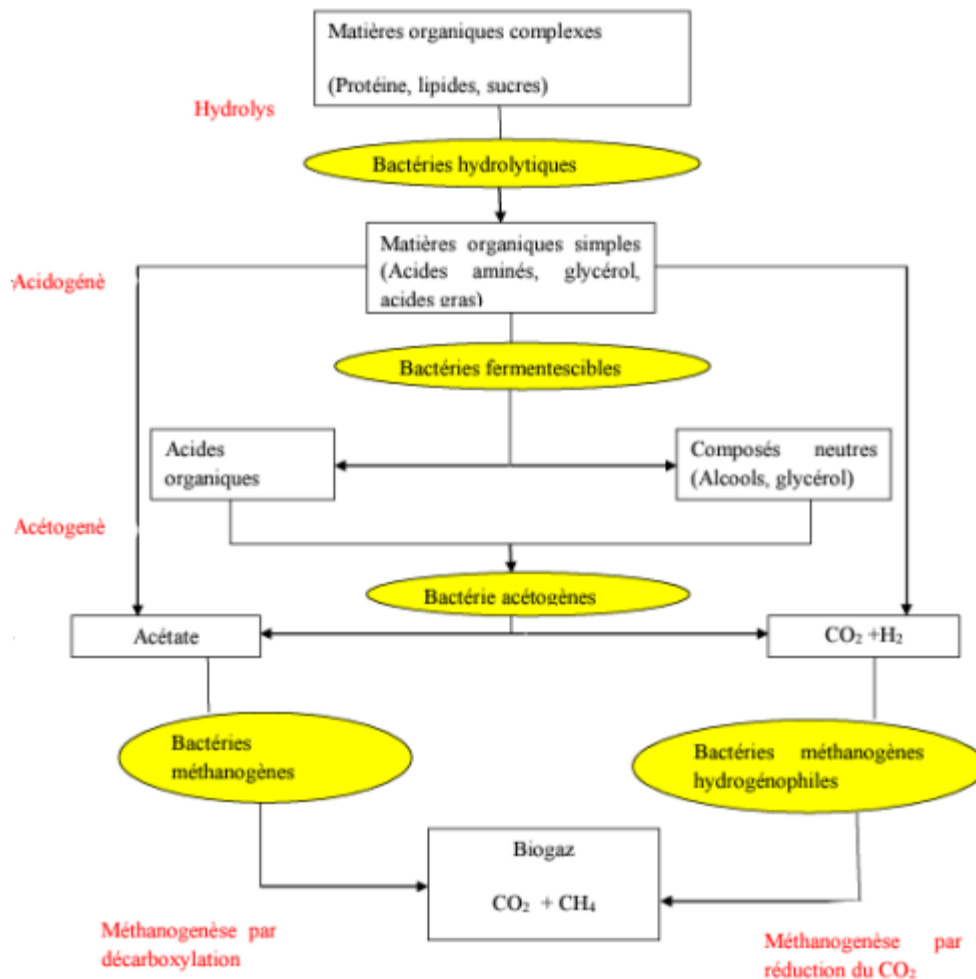
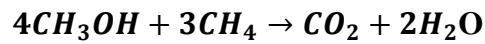
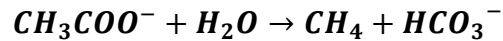
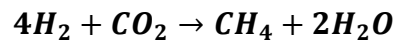


Figure.I.4: Les principales bactéries de méthanisation.

Chaque étape est réalisée par un type de microorganismes dont les conditions optimales de croissance diffèrent légèrement les unes des autres (Tableau I.1). Les conditions optimales de croissance des bactéries hydrolytiques et acidogènes sont relativement proches (gamme de pH commune, reproduction rapide).

Population micro-bienne	Caractéristiques	Gamme de pH optimale	Temps de division	Sensibilité
Bactéries Hydrolytiques	Bactéries relativement résistantes, tolérantes à l'O <sub>2</sub> , production d'exo-enzymes	4,5-6,3	quelques heures (reproduction rapide)	lignine (pas dégradable, ralentit la réaction)
Bactéries Acidogènes	Bactéries sensibles à l'O <sub>2</sub> , participent en général également à l'hydrolyse	4,5-6,3	quelques heures (reproduction rapide)	H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , antibiotiques
Bactéries Acétogènes	Bactéries relativement fragiles, sensibles à l'O <sub>2</sub> , production d'H <sub>2</sub>	6,8-7,5	quelques jours (1-4 jours ; reproduction lente)	H <sub>2</sub> en excès, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , antibiotiques, variations de température
Archae Méthanogènes	Archaeobactéries très fragiles, très sensibles à l'O <sub>2</sub> , besoin de Ni, plusieurs substrats possibles	6,8-7,5	quelques jours (5-15 jours ; reproduction lente)	O <sub>2</sub> , variations de pH et température, Cu

**Tableau.I.1:** Condition de culture optimale pour les micro-organismes présentés dans la chaîne de la gestion anaérobie.

### I.9. Les intérêts de la méthanisation :

Le biogaz produit par la méthanisation représente une énergie renouvelable grâce à sa valorisation qui permet de substituer des énergies fossiles (injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel, production d'électricité et de chaleur par l'intermédiaire d'un moteur de cogénération). La méthanisation permet ainsi de réduire les émissions de gaz à effet de serre, par diminution de la consommation d'énergie fossile et par une réduction des émissions de gaz à effet de serre lors du stockage des effluents d'élevage. Le traitement des matières organiques par méthanisation offre une solution de valorisation à nos déchets. Les effluents d'élevage peuvent ainsi être valorisés, ce qui génère un revenu complémentaire aux agriculteurs et une facilité de gestion de leurs effluents. Le digestat produit est un fertilisant de qualité qui apportent aux agriculteurs une maîtrise de la fertilisation des sols et la réduction de la dépendance aux engrais minéraux. [6]

### I.10. Les principaux intérêts de la méthanisation :

- \_Les avantages de ce procédé ont multiples :
- \_ Double valorisation de la matière organique et de l'énergie.
- \_Diminution de la quantité de déchet organique s a traiter par les autres filières.
- \_diminution des émissions de gaz à effet de serre par substitution à l'usage d'énergies fossiles ou d'engrais chimiques.
- \_Traitement possible des déchets organiques gras ou très humides, non composables en l'état.



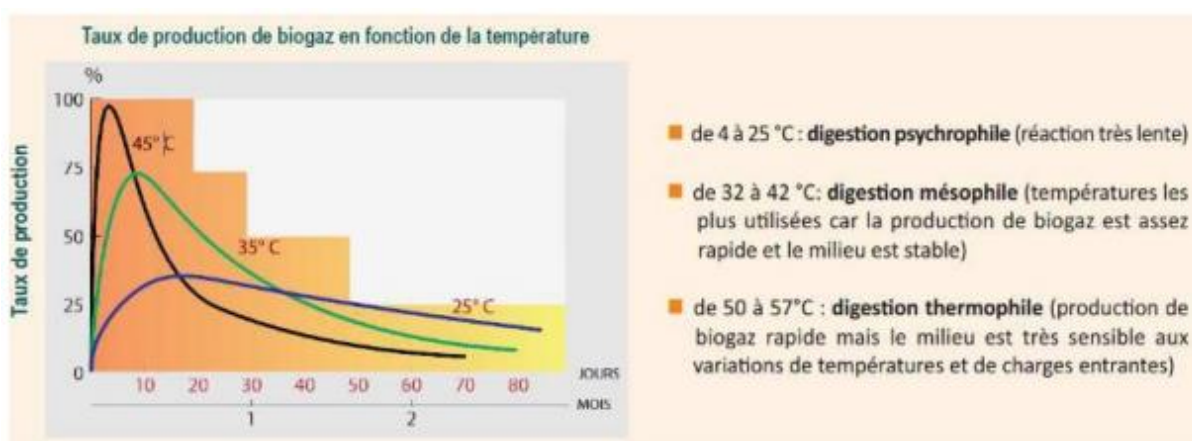
—Limitation des émissions d'odeurs grâce à l'utilisation de systèmes hermétiques.

## I.11. Différents paramètres influençant la méthanisation :

La digestion anaérobie est l'un des processus qui doit se dérouler dans des conditions environnementales maîtrisées. Un certain paramètre doit respecter pour assurer un bon fonctionnement du procédé.

### I.11.1. La température :

La réaction de méthanisation est globalement accélérée par la chaleur mais, dans le détail, ce mécanisme est plus complexe. Chaque groupe de bactéries a une température de confort différente et, en dehors de ces domaines de températures, il peut avoir une inhibition des réactions. [7]



**Figure.I.5:** Trois zones de températures de méthanisation.

Des variations journalières de 1°C peuvent perturber la digestion thermophile alors que la digestion mésophile résiste à des variations de 2 à 3°C. Dans tous les cas, les changements de température sont à éviter car les bactéries hydrolytiques et acidogènes résistent mieux aux variations que les autres groupes de bactéries, il y a donc un risque d'accumulation d'acides dans le digesteur, donc un arrêt de la réaction .

### I.11.2. 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 volatiles ou d'hydrogène peut produire une acidification dans le méthaniseur 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 soude diluée (Hydroxyde de Sodium) normalement sous forme liquide pour baisser l'acidité du milieu dans le digesteur. [8]

### I.11.3. Le rapport Carbone / Azote :

Le rapport C/N est important pour la stabilité du processus. Si ce rapport est trop important, le carbone a du mal à être complètement dégradé. À l'inverse, un rapport trop faible peut entraîner une production importante d'ammoniac qui inhibe les bactéries. Pour avoir une bonne stabilité, le rapport C/N doit être compris entre 10 et 30 environ. [9]

#### **I.11.4. Absence de l'oxygène :**

L'oxygène est évidemment un inhibant (réaction anaérobie), cependant une petite quantité d'oxygène n'inhibe pas totalement et immédiatement la production de biogaz. En effet, certains groupes de bactéries, appelées anaérobies facultatives, peuvent tolérer et absorber une petite quantité d'oxygène évitant ainsi d'inhiber les autres groupes de bactéries ne tolérant pas du tout l'oxygène (bactéries anaérobies strictes). L'absence de l'oxygène est une condition pour le développement des bactéries méthanogènes, qui sont anaérobies strictes. [10]

#### **I.11.5. Brassage :**

Le brassage du digesteur n'est pas essentiel pour que la digestion anaérobie se déroule. Cependant, il permet l'obtention d'un milieu homogène, c'est un moyen de favoriser les transferts thermiques, ioniques et métaboliques. Il permet aussi une augmentation des contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée et évite les courts circuits dans le réacteur, un court-circuit correspond à la sortie prématurée d'une partie du substrat de la cuve car celle-ci ne suit pas le parcours habituel, l'effluent ne subit pas donc la méthanisation totale. Le brassage se fait à l'aide d'un agitateur mécanique, ou d'un système hydraulique par la recirculation de la boue ou réinjection du gaz produit. [11]

#### **I.11.6. Pression partielle en hydrogène :**

L'hydrolyse est une étape clé dans le processus de la digestion anaérobie, c'est un substrat indispensable et énergétique pour les bactéries méthanogènes. Il est produit lors de l'acétogénèse à partir des produits de l'acidogénèse (AGV), cette faible pression partielle est assurée par les bactéries homoacétogènes et hydrogénophiles qui consomment  $H_2$  au fur et à mesure de sa production .

#### **I.11.7. Humidité :**

Pour toute activité biologique, la présence d'eau est indispensable surtout à la multiplication des microorganismes, d'après Marache, une humidité minimale de 60 à 70% est nécessaire à la méthanisation. De sa part Laskriet a pu montrer que le taux de dilution est un facteur favorisant ; une augmentation du taux de dilution mène à une augmentation importante du volume du biogaz produit.

#### **I.11.8. Temps de rétention hydraulique (TRH) :**

C'est le temps de séjour moyen du substrat dans le réacteur. C'est-à-dire le rapport du volume utile du fermenteur sur le débit volumique du substrat. Ce paramètre opératoire a un impact direct sur les différentes étapes réactionnelles de la digestion anaérobie. En effet, un temps de séjour

inférieur à 5 jours est insuffisant pour avoir une digestion stable en raison du lessivage des microorganismes méthanogènes.[11]

### **I.12. Définition du biogaz :**

Le biogaz est un gaz combustible renouvelable issu de la dégradation des matières organiques biodégradables de différentes catégories (déchets verts, déchets ménagers fermentescibles, des boues de stations, des effluents d'élevage et de coproduits agricoles, des cultures énergétiques agricoles, etc. Il est composé majoritairement de méthane et de dioxyde de carbone et pourrait être valorisé, après son épuration, pour la production de biocarburant, d'électricité et/ou de chaleur. La méthanisation ou bien La production de biogaz est un processus de digestion en anaérobie pouvant répondre à un double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane et de stabilisation des déchets organiques. Le biogaz est utilisé comme combustible et digestat, produit solide de la digestion anaérobie, est utilisable comme fertilisant sur les terres agricoles. [12]

### **I.13. Composition de biogaz :**

La composition des biogaz dépend de l'origine des substrats utilisés et des conditions de traitement. De façon globale, les biogaz contiennent comme composant principal du méthane, du dioxyde et du monoxyde de carbone, de l'hydrogène sulfuré et de l'eau. Selon leur provenance, ils peuvent aussi contenir des quantités variables d'azote, d'oxygène, de composés aromatiques, de composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds (ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces). [13]

### **I.14. Valeur énergétique :**

Le méthane brûle avec une flamme bleue, lorsque sa combustion est complète. Celle-ci s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur. Dans ces conditions, 1 m<sup>3</sup> de méthane peut atteindre en brûlant une température de 1400 °C et dégage une quantité de chaleur de 8500 à 9500 kcal, à titre indicatif, 1 m<sup>3</sup> de biogaz, contenant 70% de méthane et de 30% de gaz carbonique, libère par combustion environ 6000 Kcal. Le pouvoir calorifique de biogaz peut être comparé à celui d'autres combustibles ou d'autres sources énergétiques. Pour utiliser le biogaz comme carburant ou injecté dans le réseau de gaz de ville, le biogaz doit contenir plus de 96% de méthane. Pour cela plusieurs composés contenus dans le biogaz devront être éliminés. [14]

### **I.15. La valorisation du biogaz :**

La valorisation de biogaz peut prendre plusieurs formes :

- La production de la chaleur : le biogaz est brûlé dans une chaudière classique..
- La production séparée de chaleur et d'électricité : le biogaz est brûlé pour une part dans une chaudière et pour une autre part dans un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité.

- La production combinée de chaleur et d'électricité ou la cogénération : le biogaz alimente un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité et de la chaleur est récupérée dans le gaz d'échappement et au niveau du moteur.
- l'injection de biogaz dans le réseau de gaz de ville après épuration.
- Un carburant pour automobile : un kg de déchets correspond à la consommation de carburant pour un parcours d'un kilomètre en voiture.

### I.16. La cogénération :

**Principe de la cogénération :** la cogénération est un principe de production simultanée d'électricité et de chaleur, cette chaleur étant issue de la production électrique. En effet, la production d'électricité engendre la production de chaleur qui est habituellement dissipée dans l'atmosphère. [15]



**Figure.I.6:** Un moteur de cogénération.

Il existe plusieurs types de cogénération :

- \_ Cogénération par moteur.
- \_ La cogénération par turbine à combustion.
- \_ La cogénération par turbine à vapeur.
- \_ Tri-génération.

### I.17. L'épuration :

Le biogaz est épuré pour atteindre un taux de méthane de 97% ou plus et devenir du bio méthane. Il est alors injecté dans les réseaux de gaz naturels classiques. Il est ensuite utilisé comme gaz naturel dans des process industriels, pour le chauffage des habitations ou pour servir de carburant aux véhicules roulant au Gaz Naturel Véhicule (GNV). [15]



Figure.I.7: Epurateur membranaire de biogaz.

## I.18. Produits de la méthanisation :

### I.18. Le digestat :

Le digestat est la matière résiduelle humide et riche en matière organique partiellement stabilisée obtenue après la digestion anaérobie. Ce digestat peut servir comme un amendement agricole à cause de ses qualités fertilisantes vu sa teneur en Azote, Phosphore, Potassium, Calcium...[16]

Une part importante de cet azote est directement disponible et rapidement valorisée par la culture en place.

Les voies de valorisation de digestat Sa valorisation est soumise à certaines contraintes relatives à sa composition en nutriments et les caractéristiques des sites qu'il va fertiliser. On distingue 2 voies :

**Voie liquide** : Le digestat brut peut subir une séparation de phase, par presse à vis ou centrifugation afin de produire du digestat solide et du digestat liquide.

- Le digestat liquide issu de la technologie en voie liquide répond plus au profil d'engrais organo-minéral qu'au profil d'engrais organique. Il est donc assimilable plus facilement et plus rapidement par les plantes si on le compare avec l'épandage de fumier ou de lisier (notamment l'azote). La voie de valorisation la plus fréquente est l'épandage.

**Voie sèche discontinue** : Le digestat solide produit par cette technologie est considéré comme un amendement de fond. Il peut être épandu à l'aide d'un épandeur à fumier sur un périmètre d'épandage ou bien subir un post traitement tels que le séchage ou le compostage.

**I.19. Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie :****I.19.1. Les avantages de la méthanisation :**

- Sur le plan énergétique, production nette d'énergie, génération d'un combustible renouvelable de haute qualité valorisable une demande en énergie plus faible que les procédés aérobies et pas d'apport en oxygène.

- Sur le plan environnemental, réduction significative de la pollution atmosphérique liée aux émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>, élimination des odeurs, production d'un compost propre et d'un fertilisant liquide riche en matières nutritives utilisables en agriculture.

- Sur le plan économique, le biogaz permettrait une économie de l'énergie d'origine fossile et Une production d'un Biogaz valorisable sous forme d'énergie (chauffage, cogénération d'électricité).

- Une production de boue très faible, ce qui limite la taille des installations de traitement des boues: entre 20 et 150 kg de biomasse produit par tonne de matière organique dégradée, contre 400 à 600 kg pour les traitements aérobies. - Une production de biogaz, potentiellement utilisable comme énergie alternative.

- Le biogaz est une énergie renouvelable qui peut sensiblement diminuer les besoins en énergies fossiles.

**I.19.2. Les inconvénients de la méthanisation :**

- Le biogaz est explosif, corrosif et toxique, ces risques d'intoxication se rapportent surtout à la présence d'hydrogène sulfuré qui peut exister en quantité importante.

- Le traitement par digestion anaérobie est souvent insuffisant pour rejeter directement les effluents dans le milieu naturel.

- Il existe aussi un inconvénient de l'argent : des coûts d'investissement importants.

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

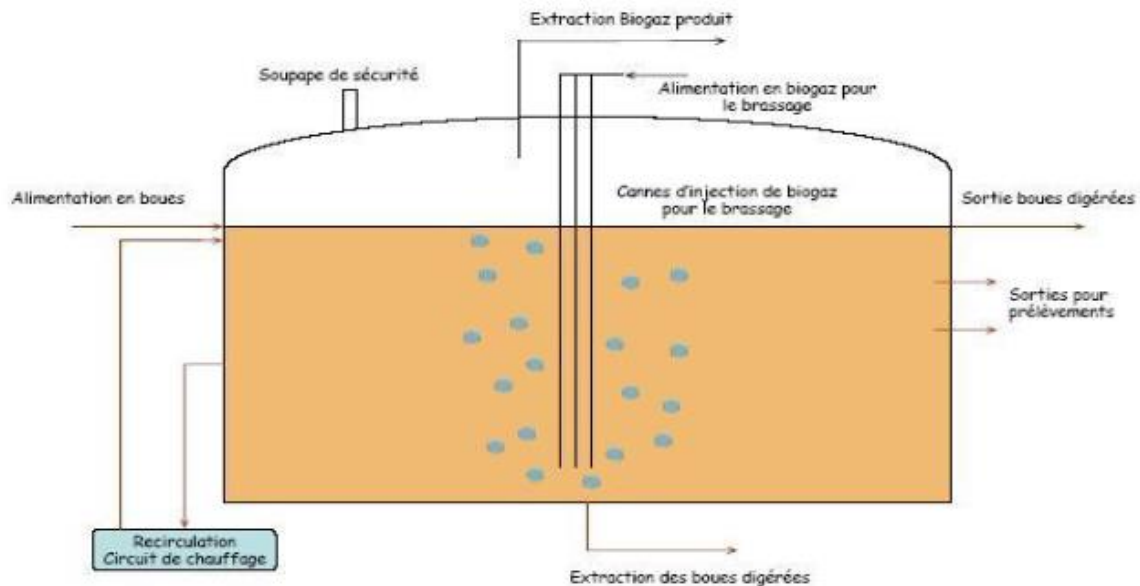
- Une vitesse de croissance des microorganismes très faible, ce qui nécessite de fixer des temps de séjour de boues élevés et surtout qui rend le procédé très vulnérable dans le cas de perte des microorganismes pendant les chocs hydraulique.

**I.20. Digesteur :**

Le digesteur cœur ou se réalise la méthanisation, appelé aussi méthaniseur ou bioréacteur anaérobie. Nom donné au réacteur chimique où se déroule la fermentation des déchets à forte teneur en matière organique.

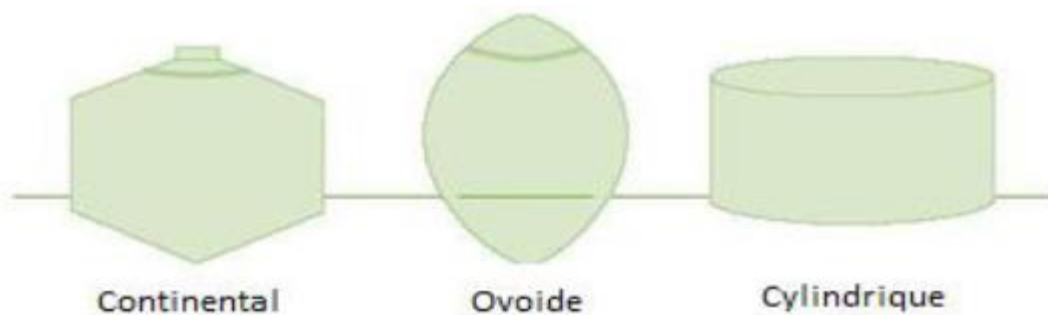
Ce réacteur est composé d'une cuve fermé cylindrique étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans laquelle les microorganismes se côtoyant pour dégrader chimiquement et biologiquement les effluents organiques. Il peut être équipé d'un système de

chauffage, d'un système d'agitation, d'un système de prélèvement et d'un système de mesure de teneur en gaz de dispositifs permettant le contrôle de différents paramètres tels que le pH, la température, la pression... [17]



**Figure.I.8:** Digesteur.

Il existe plusieurs formes de digesteur (ovoïde, cylindrique, ou bien continental), généralement construit en béton avec une protection interne en résine époxy mais pour les digesteurs de grande taille, l'acier vitrifié s'avère souvent plus compétitif.



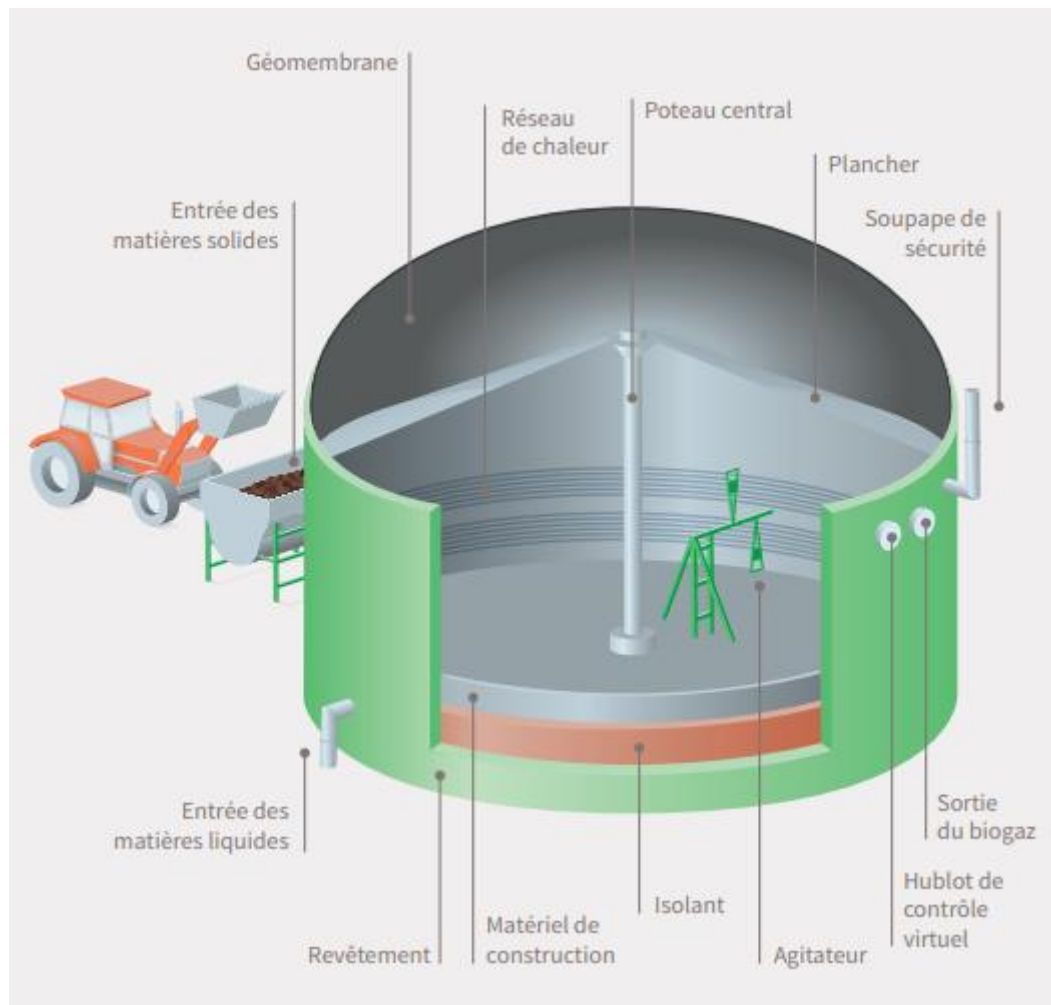
**Figure.I.9:** Les formes de digesteur.

### **I.21. Constitution et paramètres techniques du digesteur :**

Un digesteur se caractérise par plusieurs paramètres techniques. Il comporte principalement les éléments suivants:

- une cuve de fermentation ou réacteur ;
- un système de régulation de température ;
- un système de brassage et de mélange ;

- une sortie et d'une entrée de substrat;
- une sortie de gaz.

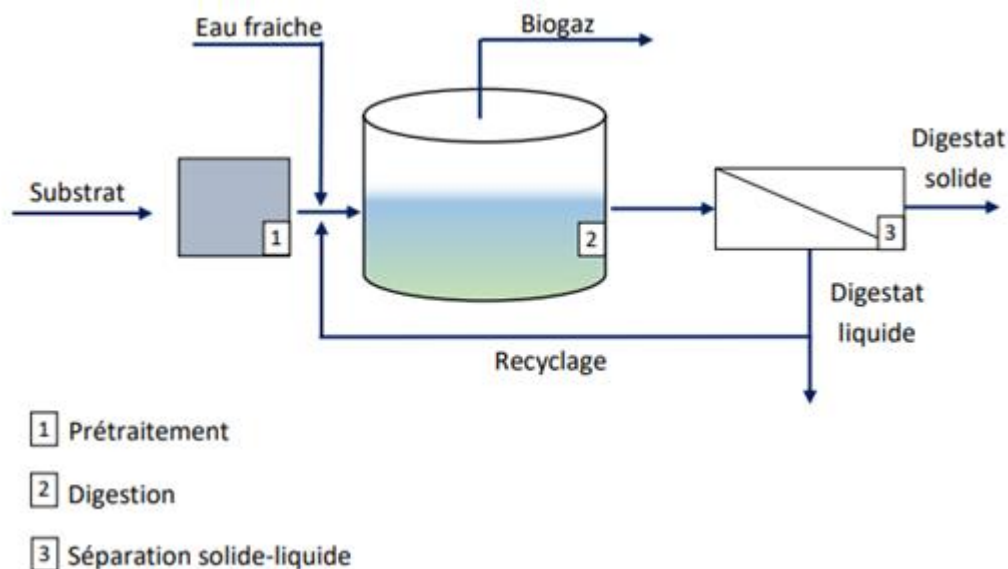


**Figure.I.10:** Vue en coupe d'un digesteur fonctionnant en infiniment mélangé.

## I.22. Technologie et fonctionnement des méthaniseurs :

Malgré les différentes configurations et modes de fonctionnement qu'il est possible de rencontrer parmi les unités de méthanisation, le principe général du procédé est commun à toute installation. La Figure I.11 illustre ce principe. En premier lieu, le substrat brut subit en général une phase de prétraitement qui peut être biologique, mécanique (broyage, mélange) ou encore thermique. Ce substrat, mélangé à de l'eau fraîche et/ou à des digestats liquides, constitue l'intrant qui va être dégradé au sein du méthaniseur. Le biogaz produit au cours de la digestion est traité selon la voie de valorisation choisie.[18]





**Figure.I.11:** Schéma de principe général d'une méthanisation.

Une unité de séparation liquide-solide peut être placée en aval du digesteur afin de recueillir les fractions liquide et solide des digestats bruts. Ces résidus peuvent également subir une phase de post traitement (compostage ou séchage pour les digestats solides ; traitement de l'azote ammoniacal pour les digestats liquides) afin d'être valorisés en tant qu'amendements organiques ou engrais. Au cours de la phase de démarrage de l'installation, le méthaniseur estensemencé par l'introduction d'un inoculum contenant les microorganismes responsables des processus de digestion.

Il est possible de discriminer les procédés de méthanisation par :

- Leur mode de fonctionnement (continu ou discontinu, type d'agitation) ;
- Leur régime de température ;
- La siccité des intrants qui y sont traités ;
- Le séquençage ou non des phases de méthanisation ;

### I.23. Les différents types de digesteur :

Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application projetée, on peut classer les digesteurs selon : Le mode de l'alimentation : batch, semi-continu ou continu ; [19]

**I.23.1. Les digesteurs discontinus (ou batch) :** chargés une seule fois, jusqu'à épuisement du substrat et fin du processus méthanogène ;

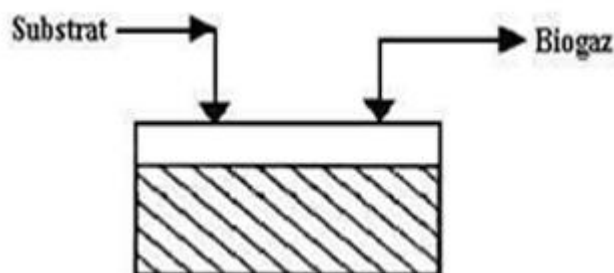


Figure.I.12: Schéma de principe d'un digesteur à alimentation discontinue.

**I.23.2. Les digesteurs continus :** dont le contenu est en partie renouvelé régulièrement ;

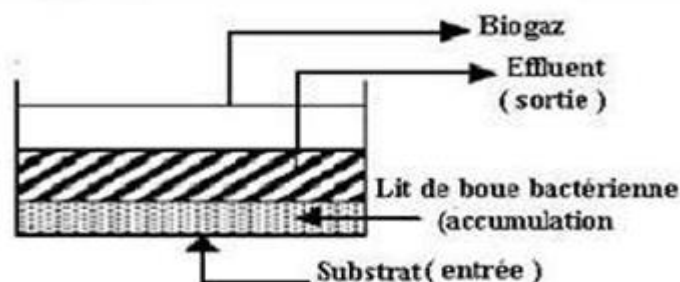


Figure.I.13: Schéma de principe d'un digesteur à alimentation continue.

**I.23.3. Les digesteurs semi-continus ou non conventionnels :** correspondant à des procédés « rustiques ». Cette catégorie regroupe les 2 principaux types de digesteurs dits types chinois et indiens, dont la plupart des procédés plus ou moins innovants ne sont que des variantes technologiques.

#### I.24. Paramètres de dimensionnement d'un digesteur :

L'objectif principal de l'étude du dimensionnement d'un digesteur anaérobie est d'optimiser les coûts, le traitement des déchets organiques et/ou la production de méthane. De nombreux paramètres déterminent le dimensionnement du digesteur.[20]

##### Volume du digesteur

Il est calculé à partir du volume de substrat apporté par jour multiplié par le temps de séjour théorique de celui-ci dans le digesteur.

##### Temps de rétention

Il représente la durée moyenne de séjour du substrat (liquide ou solide) dans le digesteur.

##### Productivité

C'est la production journalière de biogaz par unité de volume de digesteur.

### **I.25. Partie expérimentale :**

Ce chapitre présente une méthode expérimentale utilisée pour obtenir du biogaz à partir du fumier et des déchets alimentaires.

#### **I.25.1. Origine et caractérisation du substrat utilisé :**

Le substrat utilisé dans cette étude pour l'alimentation des digesteurs, est constitué principalement d'un déchet fumier et alimentaire. Origine et caractérisation du substrat utilisé.

Les digesteurs utilisés sont alimentés de déchet afin d'obtenir un biogaz. Ce travail comporte :

- \_ Bidon 40L
- \_ Valve
- \_ Tuyaux gaz
- \_ Raccord pour tuyaux ce forme T
- \_ Vanne de gaz
- \_ Filtre de gaz
- \_ Compresseur gaz
- \_ Chambre à air
- \_ 2Kg de déchets fumier
- \_ 1/2 Kg de déchets alimentaire
- \_ 2.5 L de l'eau



**Figure.I.14** : production de gaz.

### **Filtre biogaz :**

Filtre biogaz est d'éliminer ces impuretés pour obtenir un biogaz de qualité utilisable. Voici quelques-unes des fonctions et des processus clés réalisés par un filtre biogaz.



**Figure.I.15** : Filtre de biogaz

### **Compresseur :**

le compresseur de biogaz joue un rôle essentiel dans le processus de valorisation du biogaz en augmentant sa pression pour faciliter son stockage, son transport et son utilisation dans diverses applications énergétiques.



**Figure.I.16** : Compresseur.

**Résultat :**

1Kg déchet=1.6L=1/2h de gaz



**Figure.I.17** : Gonflement de chambre à air près 24h.



Figure.I.18 : Gonflement de chambre à air après 5 jours.

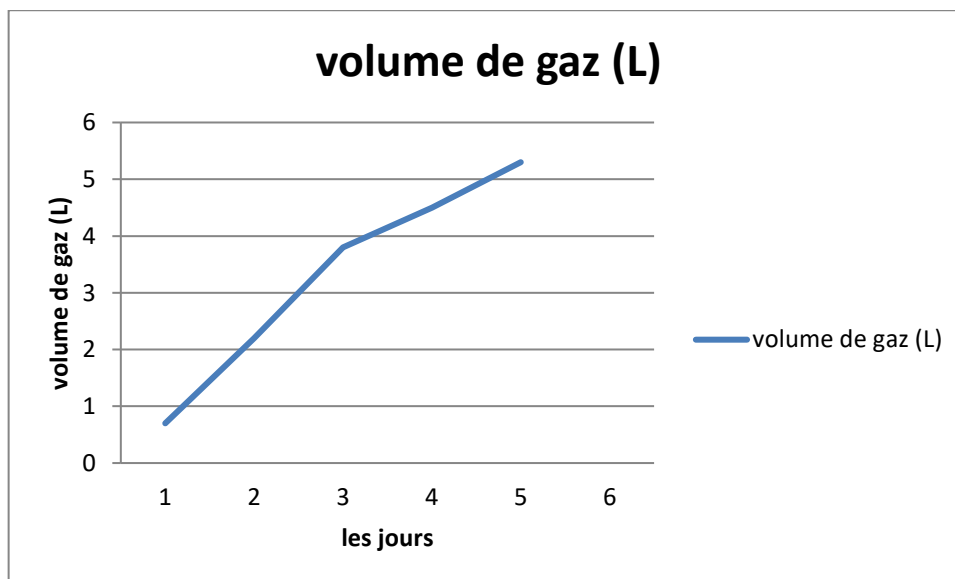


Figure.I.19 : Courbe représente volume de gaz pendant 5 jour.

### Mode opératoire :

La méthanisation des déchets, tels que le fumier et les déchets alimentaires, est un processus biologique qui convertit la matière organique en gaz méthane, également appelé biogaz. Voici les principales étapes du processus de méthanisation :

**Collecte et prétraitement des déchets :** Les déchets organiques, tels que le fumier et les déchets alimentaires. Avant d'être introduits dans le digesteur (bidon), les déchets peuvent subir un

prétraitement pour faciliter le processus de dégradation ultérieur. Cela peut inclure l'eau pour le mélange et faciliter le processus de dégradation ultérieur

**Digestion anaérobie** : Les déchets prétraités sont introduits dans un digesteur, qui est un environnement contrôlé sans oxygène (anaérobie). Dans le digesteur, les déchets sont dégradés par des micro-organismes, tels que des bactéries et des archées méthanogènes, qui travaillent en symbiose pour décomposer la matière organique en gaz méthane. Cette réaction chimique s'appelle la digestion anaérobie.

### Résultat et discussion:

Nous avons ajouté du fumier et des déchets alimentaires dans le tube digestif (boîte) dans les cinq jours, à température ambiante comprise entre 19 °C et 26 °C, et nous avons noté que notre expérience comporte deux étapes :

- **Fermentation et production de biogaz** : la libération de biogaz parce que Pendant la digestion anaérobie, les micro-organismes décomposent les déchets organiques en plusieurs étapes. Tout d'abord, les bactéries dégradent les composés organiques complexes en acides organiques plus simples, tels que les acides gras volatils. Ensuite, les archées méthanogènes convertissent ces acides en gaz méthane (CH<sub>4</sub>) et en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par un processus appelé fermentation ce qui explique le gonflement de chambre à air.
- **Stockage et l'utilisation** : Le biogaz séparé est stocké dans des réservoirs appropriés (chambre à air) pour une utilisation ultérieure. Le biogaz peut être utilisé directement comme source d'énergie pour la production de chaleur, de vapeur ou d'électricité. Il peut également être raffiné pour produire du biométhane, qui a des caractéristiques similaires au gaz naturel et peut être injecté dans le réseau de gaz naturel .

### Conclusion :

La méthanisation peut être une option viable de traitement et de valorisation matière-énergie des déchets organiques fermentescibles. La transformation des déchets organiques en une source d'énergie utile vise principalement à réduire la dépendance des énergies fossiles. Cependant, il convient de noter que la méthanisation ne règle pas tous les problèmes car elle est inefficace contre les nitrates, les produits toxiques et les métaux lourds.

# **Chapitre II :**

## **Étude De Compresseur**



**II.1. Le compresseur :**

Le compresseur est une machine tournante à gaz de type génératrice, qui doit assurer un certain débit de gaz, il est soumis à des contraintes notamment de pressions (ou liées à la nature de gaz) qui influent sur ce débit.

L'objectif peut également comprendre une élévation de température souhaitée pour améliorer la réaction chimique dans le procédé.

Un compresseur est utilisée pour atteindre un niveau de pression déterminé par des processus tels que :

- Les réactions chimiques (pression convenable le catalyseur) ;
- Le stockage dans les cavités ;
- La liquéfaction ou la séparation ;
- Les cycles de réfrigération ;
- L'alimentation des réseaux d'air comprimé...etc.

**II.2. But de la compression :**

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée.[21]

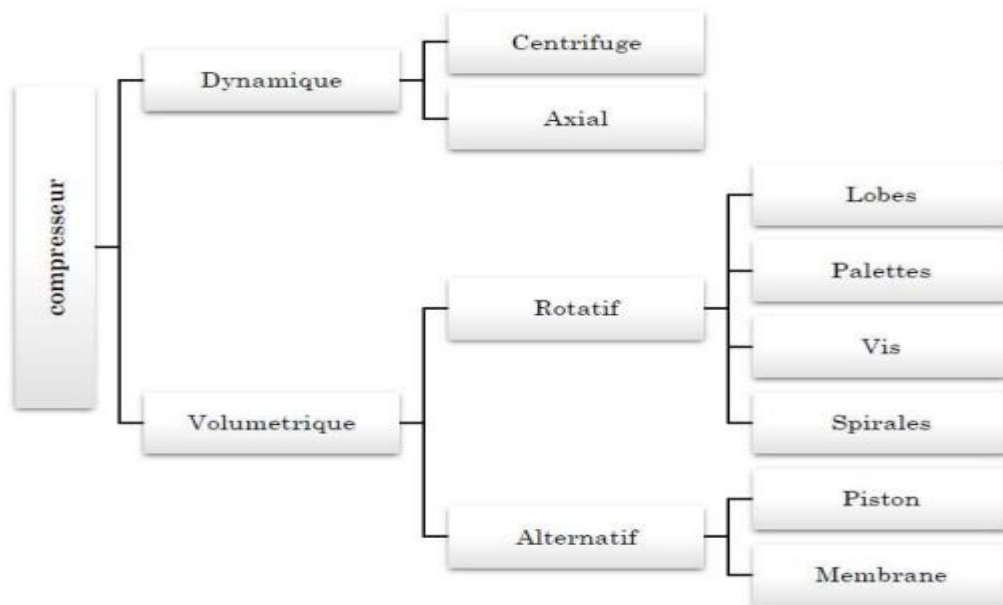
Cette opération a pour but de:

- Faire circuler un gaz dans un circuit fermé.
- Produire des conditions favorables (de pression) pour des réactions chimiques.
- De faire envoyer un gaz dans un pipe-line de la zone de production vers l'utilisateur.
- Obtenir de l'air comprimé pour la combustion.

**II.3. Classification et types de compresseurs :**

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques:[22]

- le mouvement des pièces mobiles (mouvement linéaire, rotatif).
- le principe de fonctionnement (compresseurs volumiques, dynamiques).
- le type de gaz a comprimé. (Compresseur d'air, gaz).



**Figure.II.1:** Schéma types de compresseurs.

On distingue deux familles de compresseurs : les compresseurs volumétriques et dynamiques.

#### **II.4. Compresseurs volumétriques :**

Les compresseurs volumétriques sont l'élévation de pression est obtenue en réduisant un certain volume de gaz par action mécanique. [21]

##### **II.4.1 Les Compresseurs alternatifs :**

Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre et piston). L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est pareille à celle du circuit de haute pression le gaz est refoulé. On distingue deux types. [23]

- Compresseur à piston.
- Compresseur à membrane.

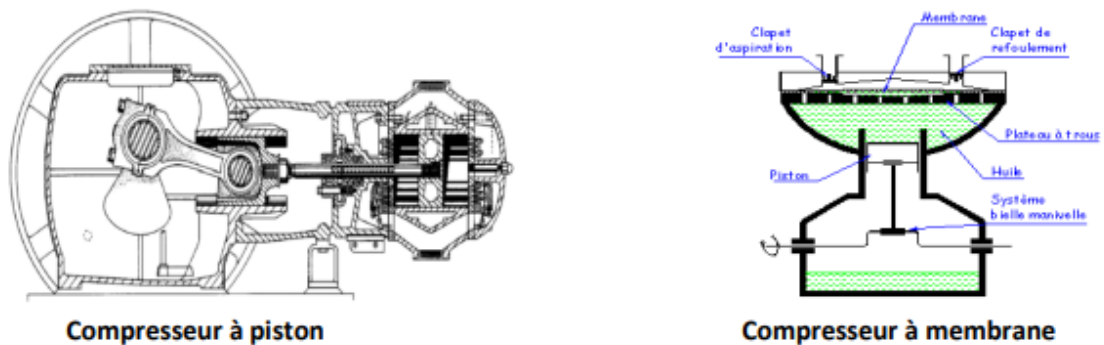


Figure.II.2: Types de compresseur alternatif.

**II.4.2. Principe de fonctionnement :**

Une masse fixe de gaz à la pression d'aspiration  $P_1$  est emprisonnée dans une enceinte de volume variable. Pour augmenter la pression jusqu'à la pression de refoulement  $P_2$ , ce volume est progressivement réduit, d'une manière qui diffère selon la technique utilisée généralement, la transformation suit une loi voisine d'un poly tropique. [24]

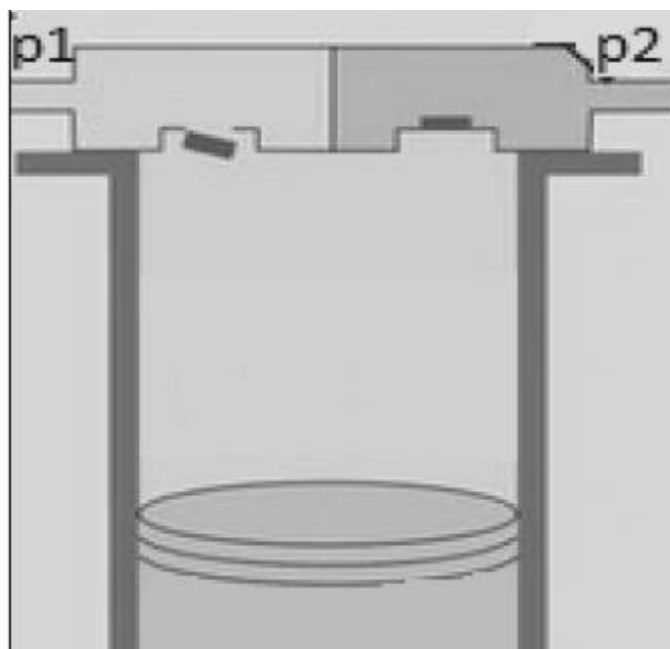


Figure.II.3: Compresseurs volumétriques alternatifs.

**II.5. Compresseur alternatif à piston :**

C'est le type de compresseur le plus répandu, un moteur entraine un système bielle /manivelle qui actionne un piston. Le mouvement alternatif de ce dernier influence le remplissage du cylindre par le gaz que l'on veut comprimer (La descente de piston crée une dépression qui aspire le

mélange par la soupape d'admission qui est ouverte, durant cette phase la soupape d'échappement est fermée, après l'aspiration vient l'étape de compression, dans cette état les deux soupapes sont fermé, le piston remonte au point mort Haut, le gaz est comprimé dans la chambre de combustion ) et le refoulement du cylindre qui à la suite du déplacement progressif du piston entrainant une réduction de volume et par conséquent, l'augmentation de la pression du gaz jusqu'à la valeur désirée...[21]

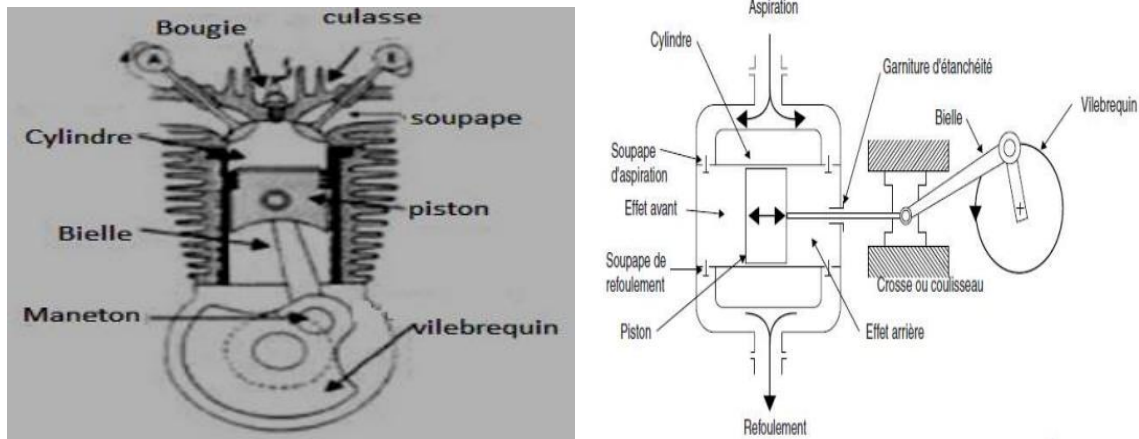


Figure.II.4: Compresseur alternatif à piston.

## II.6. Les étage :

Le compresseur pourra être :[25]

### II.6.1. Mono étage :

Si le taux de compression désiré est faible (2 à 4 selon la nature du gaz). On appelle taux de compression de rapport de la pression absolue de refoulement sur la pression absolue d'aspiration.

### II.6.2. Multi étage :

Pour atteindre des taux de compression supérieurs. Les contraintes limitant le taux de compression sur un seul étage peuvent être :

- La température de refoulement qui dépend de la nature des segments de piston (température souvent limitée à 150°C)
- La contrainte admissible par la tige de piston
- L'efficacité volumique du cylindre qui diminue lorsque le taux de compression augmente

La température de refoulement est souvent le paramètre limitant le taux de compression. Le gaz issu du premier étage de compression est utilisé à l'aspiration de deuxième étage et ainsi de suite. Si le taux de compression de chaque étage est de 2, le taux de compression global sera de 4 avec deux étages, 8 avec trois étages, 16 avec quatre étages, ...

## II.7. Cylindres :

### II.7.1. Simple effet :

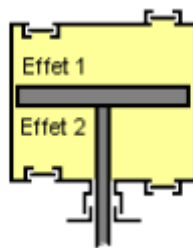
La compression ne s'effectue que d'un seul côté du piston. Les clapets d'aspiration et de refoulement sont disposés dans la tête du cylindre. C'est la version la plus simple du compresseur à piston, réservé aux machines de faible capacité.



**Figure.II.5:** Compresseur à simple effet.

### II.7.2. Double effet :

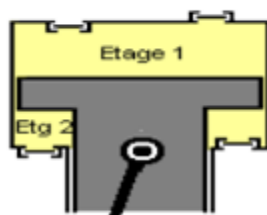
Pour doubler approximativement la capacité volumique du cylindre, la compression s'effectue des deux côtés du piston, alternativement côté tête (effet 1) et côté vilebrequin (effet 2). Chaque chambre est équipée de clapets d'aspiration et de refoulement connectés à des circuits d'aspiration et de refoulement communs. Les capacités d'aspiration des deux effets peuvent être légèrement différentes en raison du volume occupé par la tige du piston côté vilebrequin et des volumes morts qui peuvent être différents.



**Figure.II.6:** Compresseur à double effet.

### II.7.3. Piston différentiel :

Pour avoir deux étages avec un seul piston. L'étage 2 doit nécessairement avoir la section la plus faible. Les efforts sur l'entraînement sont moins intenses qu'avec un piston étagé puisque le début de la détente d'un étage correspond au début de la compression de l'autre.



**Figure.II.7:** Cylindre à piston différentiel.

## II.8. Les paliers de compresseur à piston :

Sont des éléments essentiels dans la conception et le fonctionnement des compresseurs à piston. Ils assurent un soutien et un mouvement fluide des pistons et des bielles, ce qui permet une compression efficace de l'air ou d'un autre fluide.

Il existe généralement deux types de paliers utilisés dans les compresseurs à piston :

**Paliers lisses :** Ils sont également connus sous le nom de paliers à coussinets. Ces paliers utilisent un film d'huile lubrifiante entre les surfaces de contact pour réduire les frottements et les contraintes. Ils offrent une excellente capacité de charge et une bonne résistance à l'usure. Les paliers lisses nécessitent une lubrification constante et doivent être surveillés régulièrement pour s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.

**Paliers à roulements :** Ces paliers utilisent des roulements à billes ou à rouleaux pour soutenir les charges axiales et radiales. Ils offrent une plus grande précision et une meilleure durabilité par rapport aux paliers lisses. Les paliers à roulements nécessitent moins de lubrification et sont généralement scellés pour empêcher l'entrée de contaminants. Cependant, ils peuvent être plus coûteux et nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement.

## II.9. Caractéristique de compresseur à piston :

	Pression (bar)	Rapport de pression	Débit aspiré	Gamme de puissance	Domaine D'utilisation
<b>Compresseur alternatif à piston</b>	<b>Pression refoulé 300_1000 bar</b>	<b>Elevé</b>	<b>Très faible (&lt;10000m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Quelque KW à plus de 1000 Kw</b>	<b>De nombreuses installations chimiques</b>

**Tableau.II.1:** Caractéristique de compresseur à piston.

## II.10. Avantages et inconvénients de compresseur à piston :

### Avantages

- \_Rendement élevé et efficace.
- \_Gamme de puissance étendue.
- \_Tous les modes de raccords sont possibles.
- \_Facile à utiliser, car il ne nécessite pas d'installation compliquées.
- \_Bon marché.

### Inconvénient

- \_Non réversibles.
- \_bruyant à cause de leur mécanisme.
- \_ Performances et longévité réduites.
- \_Réparation encombrantes (la défaillance de chambre interne).

## II.11. Étude de compresseur frigorifique :

### II.11.1. Compresseur :

Le compresseur est une pièce principale d'une machine frigorifique. Il aspire le fluide frigorigène gazeux à basse pression, le comprime à un niveau plus haut de pression.

Le moteur électrique tourne à une vitesse élevée alors il est nécessaire de lubrifier les parties mécaniques, en mouvement, avec l'huile stocké dans le carter.[26]

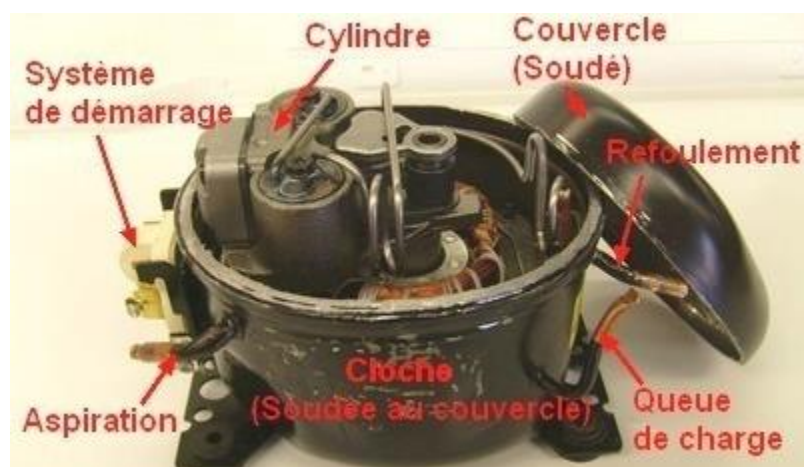


Figure.II.8: Compresseur frigo.

### II.11.2. Principe de fonctionnement :

Un moteur de type asynchrone (voir fiche moteur asynchrone), est accouplé à un compresseur (ensemble piston, vilebrequin, cylindre, clapets et culasse) dans le but d'aspirer le fluide frigorigère afin d'obtenir un changement d'état de celui-ci (liquide → vapeur et vice-versa) et donc de produire du froid.

Ce système est enfermé dans une cloche métallique totalement hermétique. Pour assurer une durée de vie optimum à la mécanique, un système de pompe à huile est intégré au moteur. Le fonctionnement du compresseur se déroule en deux étapes essentielles.

### II.11.3. Étape 1: L'aspiration :

Lorsque le moteur est en fonction, le rotor tourne et entraîne un vilebrequin qui permet au piston de descendre dans le cylindre par l'intermédiaire de la bielle. Pendant cette phase, le clapet 1 est aspiré et colle donc parfaitement, le clapet 2 quand à lui, s'ouvre permettant l'entrée du fluide frigorigère venant du circuit réfrigérant de l'appareil (à l'état gazeux) dans la chambre.

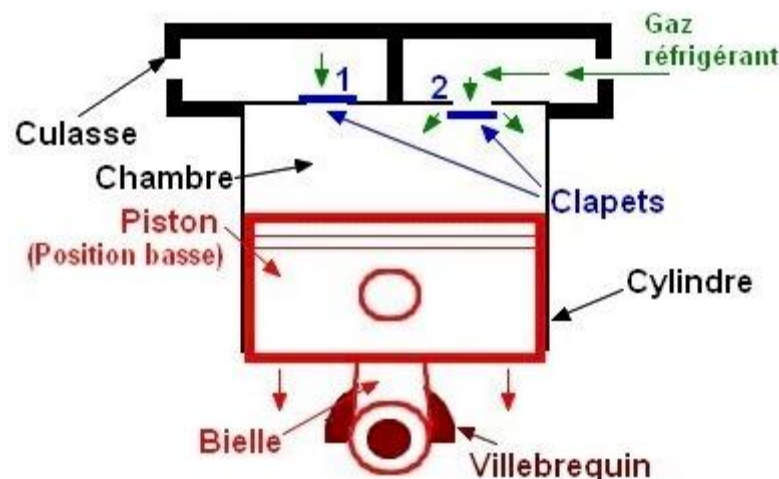


Figure.II.9: Compresseur- étape1 : aspiration.

### II.11.4. Étape 2 : Le refoulement :

Après l'entrée du gaz réfrigérant, le piston continue sa course et vient comprimer la chambre. Ce phénomène appuie sur le clapet 2 qui se ferme hermétiquement. Sous la pression le clapet 1 peut alors s'ouvrir et laisser s'échapper le fluide qui part directement dans le circuit réfrigérant de l'appareil. Le cycle peut alors reprendre son cours à l'étape 1.



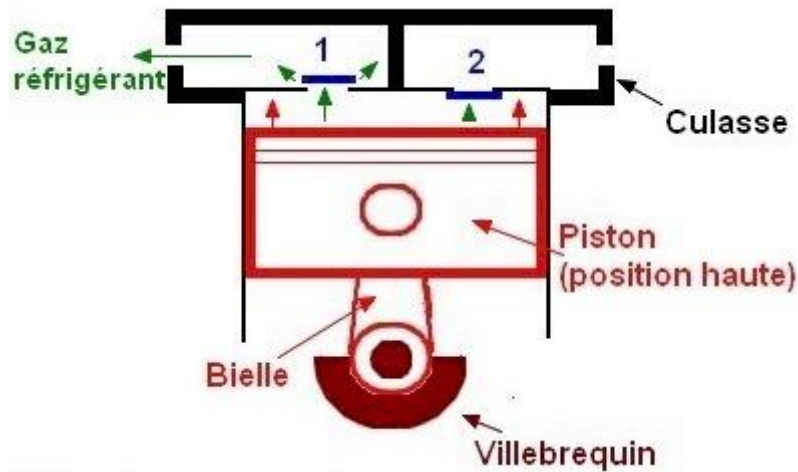


Figure.II.10: Compresseur étape2 : refoulement.

### II.11.5. Vue éclatée d'un compresseur :



Figure.II.11: Vue éclatée d'un compresseur.

- 1- Cylindre (Bloc métallique)
- 2- Guide d'aspiration (Oriente le gaz vers la chambre du cylindre)
- 3- Culasse (Assure l'étanchéité entre cylindre et clapets)
- 4- Clapets (Permettent l'aspiration et le refoulement)
- 5- Silencieux (Atténuent le sifflement du gaz pendant les phases de refoulement)
- 6- Couvercle de silencieux (Assurent l'étanchéité entre silencieux et tuyau de refoulement)
- 7- Tuyau de refoulement (Assure l'étanchéité du refoulement vers le circuit réfrigérant)

- 8- Contrepoids (Equilibre la force rotative du vilebrequin)
- 9- Piston (Assure la compression du gaz)
- 10- Bielle (Assure l'intermédiaire entre piston et vilebrequin)
- 11- Vilebrequin (Permet la transmission désaxée entre rotor et piston)
- 12- Rotor (Crée l'énergie rotative)
- 13- Stator (Crée le champ magnétique)
- 14- Ressort de suspension (Equilibre et stabilise le moteur dans la cloche)
- 15- Connectique moteur (Assure l'apport du courant dans le moteur)
- 16- Système de démarrage (ici CTP)
- 17- Pompe à huile (Lubrifie la mécanique du montage)

### **II.12. Les paliers du compresseur d'un réfrigérateur :**

Sont des éléments importants qui permettent le bon fonctionnement du compresseur et assurent la compression du fluide frigorigène. Les paliers sont des supports de roulement qui permettent aux différentes parties du compresseur de tourner en douceur.

Voici les principaux types de paliers utilisés dans les compresseurs de réfrigérateurs :

**Paliers à billes :** Ce sont les paliers les plus couramment utilisés dans les compresseurs de réfrigérateurs. Ils sont constitués de billes en acier qui permettent de réduire les frictions et d'assurer un mouvement fluide des parties mobiles du compresseur.

**Paliers à rouleaux :** Ces paliers utilisent des rouleaux cylindriques au lieu de billes. Ils offrent une plus grande capacité de charge et une meilleure résistance aux chocs, ce qui les rend appropriés pour les compresseurs de réfrigérateurs de plus grande taille.

**Paliers à paliers lisses :** Ces paliers utilisent une surface lisse pour minimiser les frottements. Ils sont souvent utilisés dans les petits compresseurs de réfrigérateurs domestiques.

### **II.13. Technologie des compresseurs à piston :**

#### **II.13.1. Le carter :**

Il constitue l'enveloppe base du compresseur, renferme tout le dispositif d'entraînement des pistons ainsi la réserve d'huile nécessaire à la bonne lubrification des divers éléments en mouvement.[27]

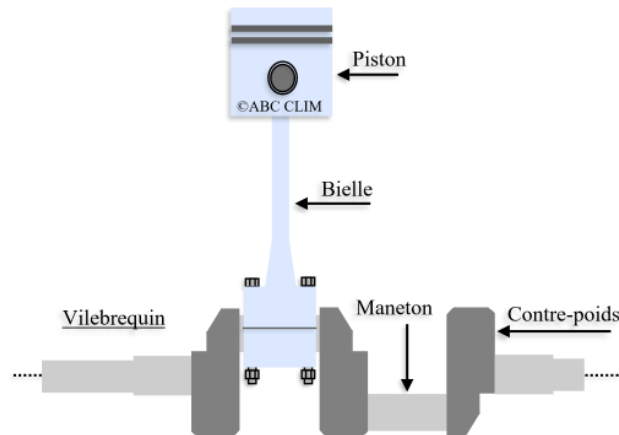


Figure.II.12: le carter.

### II.13.2. Vilebrequin :

Il est maintenu à chaque extrémité par des roulements ou des paliers, son axe étant raccordé directement sur l'axe du moteur électrique.

Le vilebrequin permet de transformer le mouvement rotatif induit par le moteur électrique en mouvement alternatif.

### II.13.3. Les bielles :

Elles transmettent le mouvement alternatif au piston.

Les têtes de bielles sont raccordées sur un des manetons du vilebrequin à l'aide de coussinets de cuivre et de métal antifriction largement lubrifié.

Elles doivent être résistantes mécaniquement et très légères, l'alliage d'aluminium remplit bien ces deux conditions.

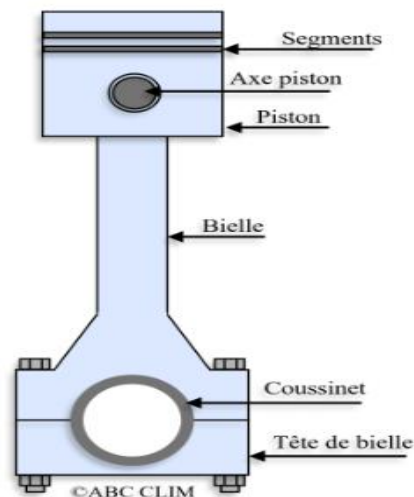


Figure.13.II: Vilebrequin.

### II.13.4. Les pistons :

Les pistons se déplacent dans un cylindre pour assurer la compression et l'aspiration du fluide.

Comme les bielles ils sont en aluminium ou en alliage, des segments flexibles placés dans une gorge assurent l'étanchéité.

Parfois les pistons sont munis d'un segment racleur d'huile pourvu de petits orifices pour permettre le retour de l'huile dans le carter.

### II.13.5. Les soupapes ou clapets :

Chaque cylindre est muni d'une ou plusieurs soupapes d'aspiration et de refoulement en acier.

Les soupapes d'aspiration permettent le passage des vapeurs de fluide de la chambre d'aspiration vers le cylindre et celles de refoulement le passage des vapeurs comprimés dans le cylindre vers la chambre de refoulement.

### II.14. Dimensionnement d'un compresseur volumétrique

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un compresseur volumétrique et calculer son dimensionnement quelques termes doivent être assimilés. Quelques formules mathématiques sont données ici à titre d'informations.

Tout d'abord revenons sur le principe général de fonctionnement d'un compresseur volumétrique.

Un volume de fluide basse pression et basse température est contenu dans une enceinte à volume variable (cylindre). Afin d'augmenter la pression, il faudra donc réduire progressivement le volume dans le cylindre à l'aide d'un piston (compresseur à piston). À la fin de la compression le fluide sera refoulé vers la tuyauterie de refoulement à haute pression et haute température.

#### Le volume aspiré

C'est le volume en m<sup>3</sup>/h de vapeur froide réellement aspiré par le compresseur.

$$V_a = Q_m \times V_m \times 3600 \quad (\text{II.1})$$

$V_a$  = volume aspiré en m<sup>3</sup>/h

$Q_m$  = débit masse de fluide frigorigène en kg/s

$V_m$  = volume massique en m<sup>3</sup>/kg

#### Cylindrée d'un compresseur

On appelle cylindrée, le volume balayé par la course du piston entre le point haut et le point bas. L'espace mort c'est l'espace non balayé par le piston.

$$\text{Cylindrée} = \pi (D^2 / 4) \times C \times NB \quad (\text{II.2})$$

$\pi$  = pi soit 3,14

$D$  = Diamètre du cylindre

$C$  = Course du piston

$NB$  = Nombre de cylindres du compresseur

#### Volume balayé

C'est le volume de fluide balayé par le ou les pistons pendant 1 heure.

$$V_b = C \times n \times 60 \quad (\text{II.3})$$

$V_b$  = volume balayé en m<sup>3</sup>/h

C = Cylindrée

n = vitesse de rotation du compresseur en tr/m

### Taux de compression

C'est le rapport entre la pression de refoulement (HP) sur la basse d'aspiration (BP) exprimées en valeurs absolues.

Le taux de compression influence le rendement volumique de la machine, donc les performances du compresseur.

$$tc = P_{ref} / P_{asp} \quad (II.4)$$

$P_{ref}$  = pression de refoulement (HP) en bar absolu

$P_{asp}$  = pression d'aspiration (BP) en bar absolu

### Rendement volumétrique

C'est le rapport entre le débit de volume aspiré et le débit de volume balayé du compresseur.

Le rendement volumétrique dépend de certains facteurs :

- malgré l'usinage très poussé l'étanchéité des clapets et des segments n'est pas parfaite.
- les clapets créent des pertes de charges inévitables altérant les performances.
- les vapeurs froides venant de l'évaporateur s'évaporent partiellement dans l'huile.

Formule empirique de calcul du rendement :

$$\eta_v = 1 - (0,05 \cdot t) \quad (II.5)$$

t : taux de compression

### II.15. Fiche technique de compresseur frigo :



**Figure.II.14:** Compresseur frigo

type	Alésage	Course	Nombre de cylindres	Vitesse de rotation	Pression absolue de refoulement	Pression absolue d'aspiration
Piston	60 mm	70 mm	2	1400	15 bars	3 bars

## II.16 Les calculs :

Cylindrée du compresseur :

$$C = \left( \frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times (c \times Nb)$$

$$C = \left( \frac{3.14 \times 6^2}{4} \right) \times (7 \times 2)$$

$$C = 395.64 \text{ cm}^3$$

Volume balayé du compresseur :

$$V_b = \frac{(60 \times C \times N)}{10^6}$$

$$V_b = \frac{(60 \times 395.64 \times 1400)}{10^6}$$

$$V_b = 33.23 \text{ m}^3/\text{h}$$

Taux de compression du compresseur :

$$\tau = \frac{P_r}{P_a}$$

$$\tau = \frac{15}{3}$$

$$\tau = 5$$

Rendement volumétrique du compresseur :

$$\eta_v = 1 - 0,05 \times \tau$$

Soit un rendement volumétrique

$$\eta_v = 1 - 0,05 \times 5 = 0,75 \quad \text{on aura un rendement volumétrique d'environ 75 \%}$$

Ce qui nous permet de calculer le volume aspiré

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_b} \quad \text{ou}$$

$$V_a = \eta_v \times V_b$$

$$V_a = 0,75 \times 33.23$$

$$V_a = 52.50 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \text{débit volumétrique réel}$$

### **Conclusion**

La compression en générale, peut être imposée par la nécessité technique de déplacer une certaine quantité de gaz d'un système à une certaine pression, vers un autre système à une autre pression plus élevée.

## **Chapitre III**

# **Alimentation d'un compresseur avec Énergie solaire**



### III.1. Introduction :

L'énergie solaire est un type d'énergie que le soleil envoie et diffuse son rayonnement dans l'atmosphère. Elle est obtenue grâce à des panneaux solaires et est utilisée par les humains sous deux formes différentes : électrique et thermique. L'énergie solaire photovoltaïque permet de transformer les rayons du soleil en électricité, par un effet photovoltaïque par l'utilisation des cellules solaires photovoltaïque, tandis que l'énergie thermique est plutôt utilisée pour produire de la chaleur. Les panneaux solaires peuvent être installés partout où le soleil brille toute l'année, comme c'est le cas pour les pays situés aux abords de la ligne équatoriale, mais peuvent également servir de source d'énergie d'appoint dans les régions plus nordiques comme la nôtre.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en d'hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ( $E=mc^2$ ), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 kW. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 kW.



Figure.III.1 : énergie solaire.

### III.2. Les types d'exploitations de l'énergie solaire :

#### III.2.1. L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique consiste à utiliser la chaleur de rayonnement solaire [28]

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau et chauffage solaires, cuisinières et sécheuses solaires.
- En usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : rafraîchissement solaire, dessalement, etc.

III.2.2. Les capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires thermiques sont des dispositifs conçus pour intercepter l'énergie solaire (photons) transmise par les rayons du soleil grâce l'absorbeur (un corps noir, constituant du capteur, caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse) avant de la transférer à un fluide caloporteur sous forme de chaleur. Cette énergie thermique est transportée par le fluide caloporteur circulant au travers de chacun des capteurs jusqu'au lieu d'installation ou de stockage. [28]

III.3. Types de capteurs :

- Capteurs plans non vitrés ;

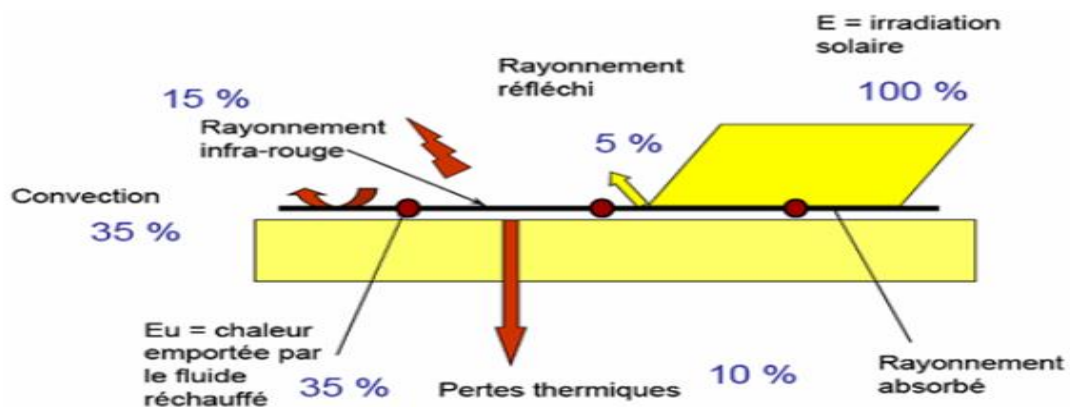


Figure.III.2: Principe de fonctionnement des capteurs non vitrés.

- Capteurs plans vitrés ;

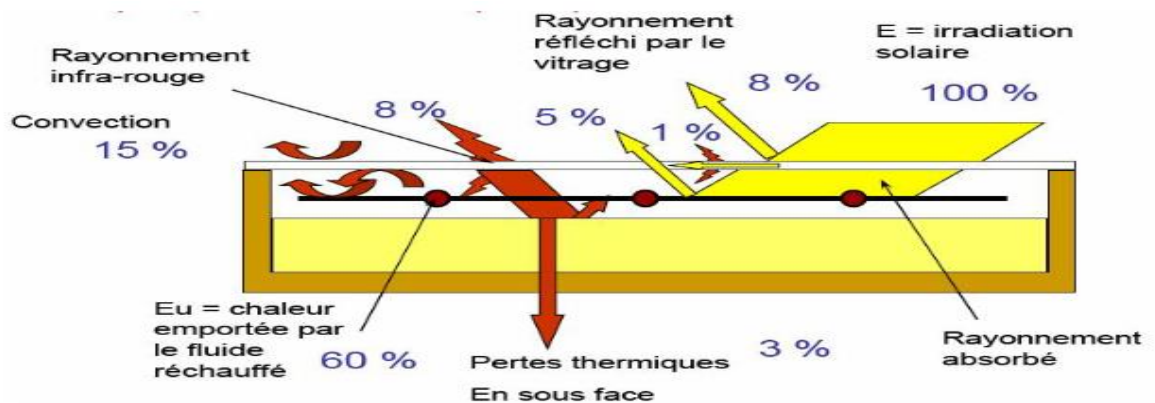
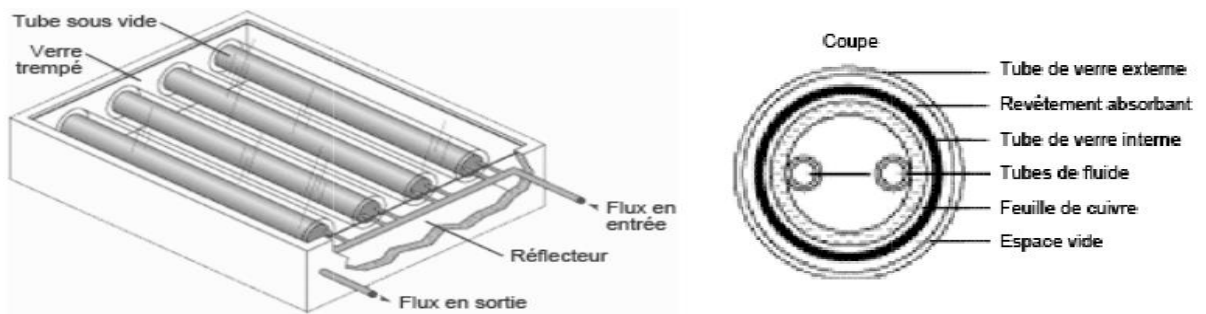


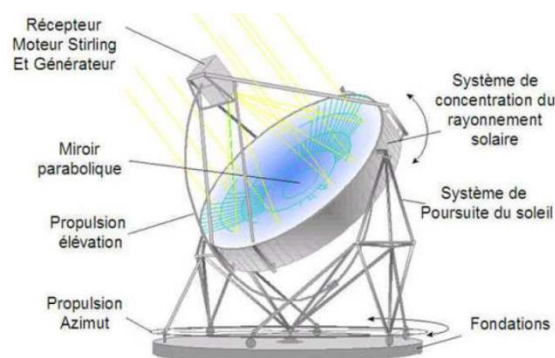
Figure.III.3: Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés.

- Capteurs à tubes sous vide.



**Figure.III.4:** Principe de fonctionnement des capteurs à tube sous vide.

- Capteurs à concentration.



**Figure.III.5:** Principe de fonctionnement des capteurs à concentration.

### III.4. Stockage thermique :

L'énergie thermique peut être stockée sous forme de modification de l'énergie interne d'un matériau, sous forme de chaleur sensible, de chaleur latente ou thermochimique ou d'une combinaison de ces facteurs. Le stockage de chaleur sensible est dû au changement de température du matériau, tandis que le stockage de chaleur latente est dû à la transformation de phase (solide-liquide, liquide-gaz, solide-solide). [28]

### III.5. L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose

généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers.

### **III.6. Le système de production (Le champ PV) :**

Le champ photovoltaïque représente l'unité de production DC d'un système. Pour obtenir des puissances de quelques kW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle parfois une centrale.



**Figure.III.6:** Schéma d'un champ photovoltaïques.

### **III.7. L'effet photovoltaïque :**

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. [29]



Figure.III.7: Panneaux photovoltaïques.

### III.8. Cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque».

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu' à 100 cm<sup>2</sup> ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et 24 V. [30]

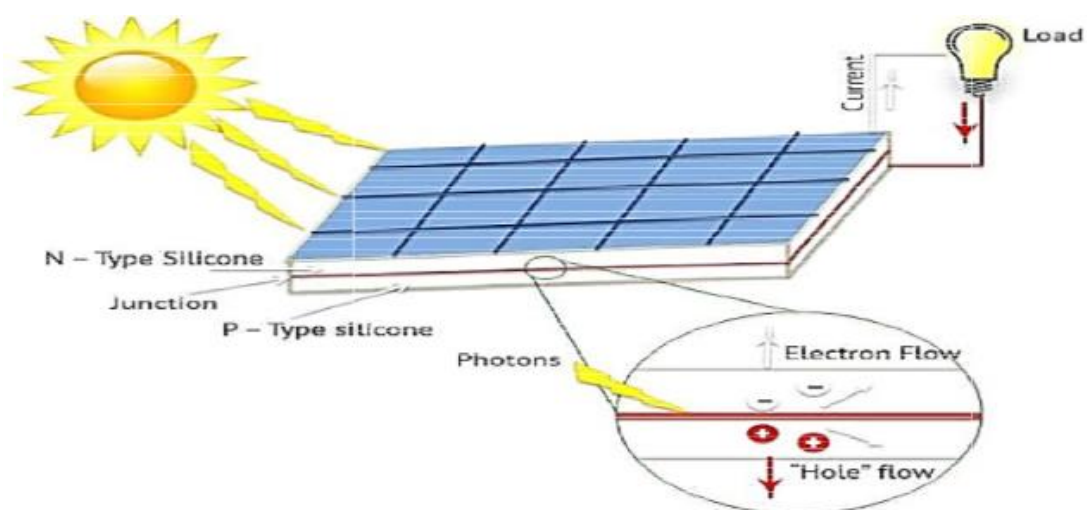


Figure.III.8: Cellule photovoltaïque.

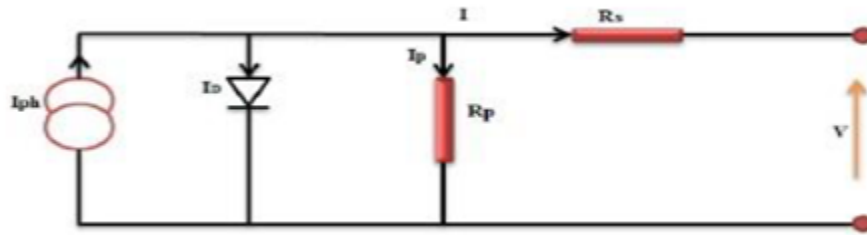


Figure.III.9: Schéma équivalent de cellule PV.

### III.9. Le Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction pn au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé n, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -).

Pour obtenir du silicium dopé p, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +).

La jonction pn est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique. [31]

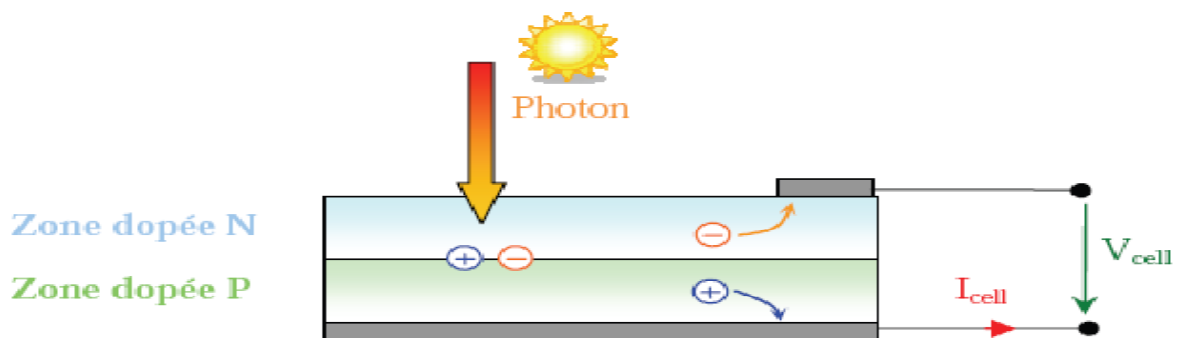


Figure.III.10: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

### III.10. Les différents types de panneaux photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules solaires (ou cellules photovoltaïques), et chaque type de cellules a un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible: de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle. [31]

- **Les cellules monocristallines:** Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.
- **Les cellules poly cristallines:** Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible.

- **Les cellules amorphes:** Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

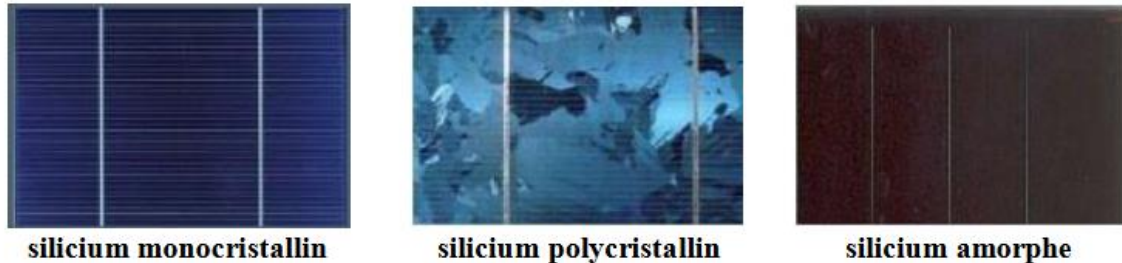


Figure.III.11: Types de panneaux photovoltaïques.

### III.11. Les éléments d'un système photovoltaïque autonome :



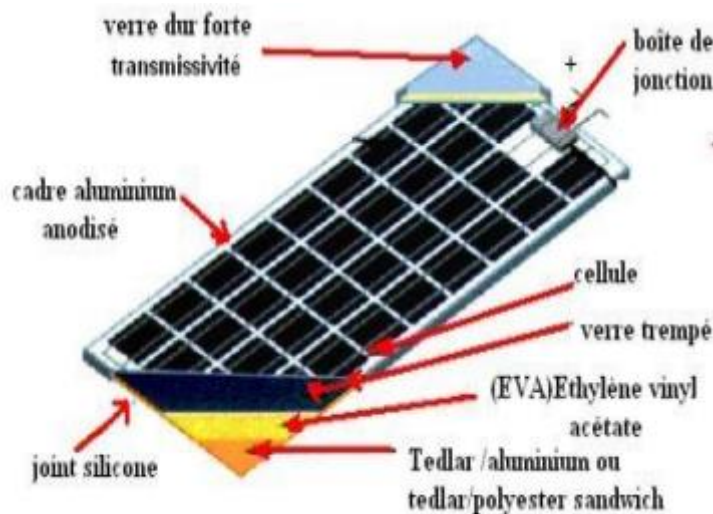
Figure.III.12: Représentation d'un système photovoltaïque autonome.

### III.12. Générateur PV :

La cellule photovoltaïque est le plus petit composant d'un générateur photovoltaïque. Pourtant c'est l'élément de base de ce dernier ; elle est responsable de la conversion directe de l'énergie solaire en courant électrique continu. Elle ne génère que de très faibles puissances de quelques watts. Le module photovoltaïque se compose de plusieurs ensembles photovoltaïques et constitue la base d'un groupe de cellules photovoltaïques connectées en série dans le but d'augmenter leur tension. Ces cellules PV sont assemblées en parallèle avec une diode latérale.

Ensuite ces groupes PV sont raccordés entre eux en parallèle afin d'augmenter le courant ainsi la puissance va être augmentée à des dizaines ou des centaines de watt par module (panneau). Pour une sécurité mécanique optimale du panneau et un meilleur rendement, plusieurs autres composant

sont ajoutés tels que : boîte de jonction, verre dur, verre trempé, joint silicone, cadre en aluminium et autres... [32]



**Figure.III.13:** Composants d'un générateur PV.

### III.13. Le régulateur :

Le régulateur de charge principalement sert avant tout à contrôler l'état de la batterie. Il existe plusieurs valeurs limites correspondant chacune à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, température de fonctionnement, court-circuit, etc. Les nouvelles générations de régulateurs, quant à eux, sont de plus en plus perfectionnées et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées. [33]

#### Les caractéristiques de régulateur

Il existe de nombreux régulateurs de charge disponibles sur le marché qui ont des caractéristiques différentes:

L'affichage de l'état de charge de la batterie

La compensation thermique

Les seuils de coupures ajustables

Data logging

### III.14. Les Types de régulateurs :

#### III.14.1. Régulateur solaire MPPT :

Un régulateur de charge solaire MPPT modifie régulièrement la tension délivrée aux batteries en fonction de la tension de sortie des panneaux solaires. La technologie MPPT permet d'optimiser le rendement de l'installation en augmentant la production d'énergie. Ce type de régulateur est capable de gérer des tensions de panneaux supérieures à la tension de la batterie.





Figure.III.14: Types de régulateur MPPT.

### III.14.2. Type de régulateur PWM :

Certains régulateurs réalisent une commande PWM, le rapport cyclique variant selon l'énergie à fournir à la batterie afin de réaliser une charge à tension constante. Celui-ci est un peu plus subtil que le « tout ou rien » : Les régulateurs solaires traditionnels intégrant la technologie PWM relient les panneaux solaires au banc de batteries. Dans cette utilisation directe, la tension de sortie des panneaux est réduite à la tension nominale des batteries.



Figure.III.15: Type de régulateur PWM.

### III.15. Les batteries :

Les accumulateurs électrochimiques (Batteries) sont des générateurs "réversibles" c'est-à-dire pouvant stocker de l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation. Contrairement aux photopiles, où il n'y a qu'un transport d'électron ne donnant lieu à aucune « usure », dans les accumulateurs électrochimiques, il y a transfert de matière de l'électrolyte vers les électrodes et par conséquent une « usure » incontournable qui limite leur durée de vie.

### III.16. Principe de fonctionnement :

Une batterie ou un accumulateur, qui se caractérise donc tout d'abord par deux couples « oxydant-réducteur » (par exemple Plomb/Oxyde de plomb, carbone/Oxyde de cobalt lithium ou Carbone/Phosphate de fer lithié ...) échangeant des électrons. L'association de deux plaques (ou de deux matériaux d'insertion pour la batterie li-ion) constitue l'entité primaire d'une batterie. Les deux électrodes baignent dans une solution électrolytique (ou électrolyte), liquide ou sous forme de gel. C'est la réaction entre la solution et les électrodes qui est à l'origine du déplacement des électrons et des ions dans la solution. Ainsi, l'électrolyte a pour fonction d'assurer la conduction ionique et, plus généralement, de participer à la réaction chimique. Un isolant poreux (ou séparateur) permet de séparer les deux électrodes tout en autorisant le passage des ions.

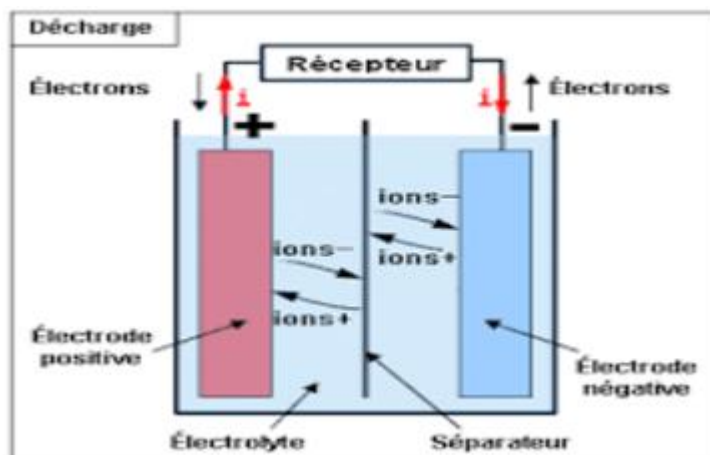


Figure.III.16: Principe de fonctionnement de batterie.

III.17. Les type de batteries :

Le Type	Avantage	Inconvénient
<b>Batterie à décharge lente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (5 à 10 ans) - Prix correcte</li> <li>- Supportent bien les surchauffes, inertie thermique élevée</li> <li>- Nombreux charge de cycle (entre 500 et 1000 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Recharger régulièrement ces batteries en eau distillée</li> <li>- Lourde (poid)</li> <li>- Sensible au froid</li> </ul>
<b>Batterie Gel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (8 à 12 ans)</li> <li>- Pas d'entretien</li> <li>- Bonne tolérance aux températures élevées</li> <li>- Nombreux charge de cycle (entre 500 et 1200 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chère</li> <li>- Lourde (poid)</li> <li>-Peu adaptée aux courants de charge/décharge élevés</li> </ul>
<b>Batterie Lithium-ion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de vie (30 ans)</li> <li>- Légère</li> <li>- Pas d'entretien</li> <li>- Faible autodécharge</li> <li>- Bonne tolérance à la température basse est élevée.</li> <li>- Charge de cycle très élevé (entre 2500 et 5000 cycles)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très onéreuse</li> </ul>

Tableau III.1: Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de Batterie.

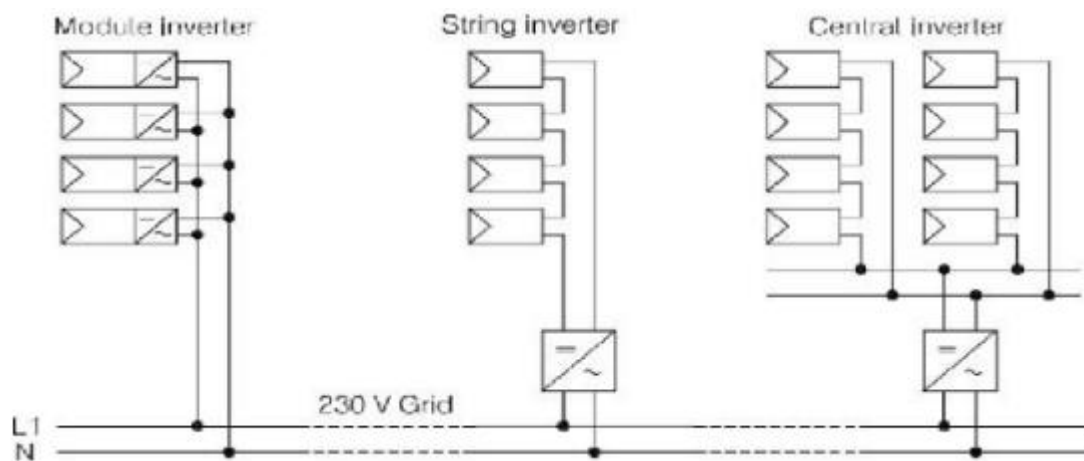
III.18. L'onduleur :

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance il convertit la tension continue, en tension alternative contrôlée de façon très précise. Dans une station PV la puissance maximale extraite par le hacheur est convertie en puissance alternative active par l'onduleur. L'onduleur est l'un des composants les plus importants dans une station PV, il existe plusieurs différents types topologies d'onduleurs utilisé selon la nature et l'exigence de l'installation et les plus importants sont : [34]

**Onduleurs modulaires (module inverter) :** Chaque module solaire disposé d'un onduleur individuel, pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire correspondant.

**Onduleurs centralisés (central inverter) :** Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif. Ce qui veut dire un seul onduleur de taille pour tout l'ensemble des modules du champ PV, et pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série.

**Onduleurs "String" ou "de Rangée" :** L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé.



**Figure.III.17:** Classification des onduleurs PV connectés au réseau.

### III.19. Protection d'un système photovoltaïque :

#### III.19.1. Le GPV :

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protections sont classiquement utilisées dans les installations actuelles:

La protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).

la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

### **III.19.2. Les batteries :**

Il faut les protéger contre la surcharge ou le court-circuit dans les deux cotés (coté batteries – régulateur) et (coté batteries-onduleur) avec des disjoncteurs DC ou fusibles.

### **III.19.3. Le régulateur de charge :**

Il est déjà équipé d'une protection interne représenté par les deux éléments qui sont raccordé avec lui (les panneaux et les batteries) et qui sont équipés avec cette propre protection indiquée.

### **III.19.4. L'onduleur :**

Généralement les onduleurs solaires sont protégés eu même contre les surcharges, cour circuit ou autre défaut mais malgré ça il est indispensable de mettre un disjoncteur différentiel à la sortie de l'onduleur pour éviter les défauts de la charge tel que court-circuit ou surcharge sans oublier la mise à la terre de tout le système afin d'obtenir une bonne protection.

### **III.19.5. Le câblage dans les deux cas (DC et AC) :**

On choisit la section et le chemin de câble convenable de point vue température ambiante, chute de tension.

### **III.20. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire :**

<b>Avantages de l'énergie solaire</b>	<b>Inconvénients de l'énergie solaire</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>-Énergie renouvelable.</li><li>-Respect de l'environnement et diminution de la pollution.</li><li>-Économie.</li><li>-Idéale pour les sites isolés.</li><li>-Aucune nuisance sonore.</li><li>-Plusieurs usages possibles.</li><li>-Disponible partout.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Une moins bonne efficacité énergétique.</li><li>-Un rendement et une performance limités.</li><li>-Une installation plutôt lourde.</li><li>-Une fabrication pas très écologique.</li></ul>

### **III.21. Dimensionnement du générateur photovoltaïque :**

---

Suite à l'évaluation des besoins électriques et du gisement solaire, il est à présent possible de dimensionner le champ photovoltaïque. Cette opération consiste simplement à calculer la puissance crête nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.[35]

### III.21.1. Puissance crête d'un générateur photovoltaïque :

Dans une installation photovoltaïque autonome, la seule source d'énergie disponible provient du champ photovoltaïque. La règle de dimensionnement du champ photovoltaïque c'est que l'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque ( $E_{Elec}$ ) doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les appareils électriques ( $E_c$ ) :

$$E_{Elec} \geq E_c$$

Ne pas respecter cette règle signifie qu'on consomme plus d'énergie qu'on en produit, l'installation photovoltaïque est décadente. Par ailleurs, l'énergie électrique  $E_{Elec}$  se calcule par la formule suivante : (III.1)

$$E_{Elec} = \frac{P_{ch}}{P_i \times E_i \times K}$$

Avec :

$E_{Elec}$  : L'énergie électrique journalière potentiellement produite par l'installation photovoltaïque, exprimée en kWh/jour.

$E_i$  : L'irradiation solaire journalière, exprimée en kWh/m<sup>2</sup>/jour, reçue par le champ photovoltaïque.

$P_{ch}$  : La puissance crête du champ photovoltaïque.

$P_i$  : La puissance radiative dans la condition standard de test (conditions STC), exprimée en kW/m<sup>2</sup>.  
Donc,  $P_i = 1 \text{ kW/m}^2$ .

$E_i$  : est l'irradiation solaire journalière reçue par une surface unitaire (1 m<sup>2</sup>) du champ photovoltaïque, en prenant en compte l'orientation et l'inclinaison de celui-ci.

$K$  : est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque. Ainsi, la règle se formalise mathématiquement par :

(III.2)

$$E_{Elec} = \frac{P_{ch}}{P_i \times E_i \times K} \geq E_T$$

L'objectif étant de calculer la puissance crête  $P_c$  de l'installation photovoltaïque, on exprime  $P_c$  en fonction des autres paramètres selon la formule suivante :[22]

(III.3)

$$P_{ch} = \frac{E_T \times P_i}{E_i \times K}$$

**P<sub>ch</sub>**: Puissance crête de champs photovoltaïques en Watt crête (Wc)

**E<sub>C</sub>**: Energie consommée par jour (Wh/jour)

**E<sub>i</sub>**: Energie solaire journalière (Wh/m<sup>2</sup>/jour) (irradiation)

**P<sub>i</sub>**: Puissance d'éclairement aux conditions STC (P<sub>i</sub> =1000W/m<sup>2</sup>)

**K** : Ratio de performance (Facteur de correction globale (Entre 65 et 90) (%)), ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est de 0,65.

**III.21.2. Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :**

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque en watt. De façon générale :

Puissance crête (WC)	Moins de 500WC	De 501WC à 2000WC	De 2001 WC à 10000WC	Plus de 10000WC
Tension de champ (V)	12	24	48	96

**III.21.3. Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser :**

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de Panneaux solaire nécessaires à l'installation, il suffit de diviser la puissance totale souhaitée par la puissance unitaire d'un seul panneau solaire :

**(III.4)**

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crête unitère panneau}}$$

Par exemple le tableau ci-dessous montre le nombre moyen de panneaux posés par Terre Solaire selon la puissance d'installation souhaitée avec une puissance crête d'un panneau PCU =  $375W_c$ .

Puissance d'installation (KW <sub>c</sub> )	Nombre de panneaux
3KW <sub>c</sub>	8 panneaux
6KW <sub>c</sub>	16 panneaux
9KW <sub>c</sub>	24 panneaux
36KW <sub>c</sub>	96 panneaux

### III.22. Nombre de panneaux photovoltaïques en série :

L'organisation du champ PV se fait toujours en fonction de l'onduleur, son calcul se fait par aller-retour entre les caractéristiques des modules et celles de l'onduleur jusqu'à trouver la configuration optimale. Connecter les panneaux en série augmentera le niveau de tension et maintiendra l'ampérage de la même manière. Il faut donc s'assurer que la tension délivrée par le groupe photovoltaïque soit comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur auquel il est connecté. La plage de tension MPPT est indiquée sur la fiche technique d'un l'onduleur. Par exemple, la plage de tension MPPT de l'onduleur SB 4000 TL de la marque SMA est comprise entre 125 V et 440 V :

On cherchera idéalement à obtenir une tension délivrée par le groupe photovoltaïque comprise dans la plage MPPT, et ce quel que soit la température des modules. Pour calculer le nombre de module en série nécessaires afin que la chaîne photovoltaïque délivre une tension comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur, on pourra considérer les deux critères suivants :

- La tension VMPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à la température minimale du site et sous une irradiation de  $1000 \text{ W/m}^2$ , doit être inférieure à la valeur maximale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre maximum de modules photovoltaïques en série.
- La tension VMPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à une température des modules de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  et sous une irradiation de  $1000 \text{ W/m}^2$ , doit être supérieure à la valeur minimale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre minimum de modules photovoltaïques en série.

Le nombre minimum et le nombre maximum de modules photovoltaïques en série se calculent par la formule simple suivante :

(III.5)

• Nombre minimal de modules en série =  $E_+ \left[ \frac{V_{MPPT.MIN}}{V_{MPP} \times 0.85} \right]$

• Nombre maximal de modules en série =  $E_- \left[ \frac{V_{MPPT.MAX}}{V_{MPP} \times K} \right]$

Avec :

- $E_-[X]$  : La partie entière inférieure du nombre X.
- $E_+[X]$  : La partie entière supérieure du nombre X.
- $V_{MPPT}$  : La valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- $V_{MPPT}$  : La valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- $V_{MPPT}$  : La tension de puissance maximale des modules photovoltaïque.

Le coefficient k est un coefficient de sécurité imposé par le guide de l'UTE C15-712-1, et qui prend en compte l'élévation de la tension délivrée par les modules lorsque la température des cellules diminue généralement 1.15. Le coefficient 0.85 est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension MPP à 70 °C.

### III.23. Nombre de panneaux photovoltaïques en parallèles :

Les connexions strictement parallèles sont principalement utilisées dans des systèmes plus petits et plus fondamentaux, et généralement avec des régulateurs PWM, bien qu'il s'agisse d'exceptions. Connecter les panneaux en parallèle augmentera les ampères et maintiendra la même tension. Le nombre de modules photovoltaïques en parallèles se calculent en divisant le nombre des panneaux photovoltaïques total par le nombre des panneaux photovoltaïques en série comme suite :

(III.6)

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Avec :

$N_m$ : Nombre total de panneaux photovoltaïque.

$N_s$ : Nombre de panneaux connectés en série.

### III.24. Dimensionnement du parc de batteries :

Pour réaliser le dimensionnement des batteries, on procède de la façon suivante :[27]

- On calcule l'énergie consommée ( $E_c$  par les différents récepteurs)
- On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaires.
- On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé. (Pour que vos batteries aient une meilleure durée de vie, et donc une plus grande fiabilité, il est important de ne pas les décharger complètement. **Il est primordial de fixer une profondeur maximale de décharge.**)
- On calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous : (III.7)

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times V}$$



$C_{ch}$  : Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah).

$E_c$ : Consommée par jour (Wh/j).

$N$  : nombre de jour d'autonomie.

$D$  : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb).

$V$  : tension de champ photovoltaïque (V).

❖ Nombre de batteries en séries: (III.8)

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

$V_{ch}$  :Tension du champ.

$V_{batterie}$  : La tension de la batterie.

❖ Nombre de batterie en parallèles: (III.9)

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}}$$

Avec :

$C_{ch}$ : Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

$C_{batterie}$  : Capacité d'une batterie. (La tension des batteries est en général de 12V .

La capacité des batteries est quant à elle comprise entre 50 et 200 Ah.). La durée de vie en d'une batterie décroît rapidement lorsque la profondeur de décharge augmente. En général, on essaie de limiter la profondeur de décharge à 50%, c'est-à-dire que l'on n'utilisera que la moitié de la capacité de batteries.

### III.25. Dimensionnement du régulateur de charge :

Le choix d'un régulateur de charge repose sur deux paramètres principaux :

❖ La tension entre les panneaux et les batterie: le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en général 12V, 24V, 48V). [35]

❖ L'intensité maximale du régulateur: l'intensité du régulateur doit être supérieure à l'intensité de court-circuit des modules solaires auxquels il est relié.

Ce qui fait que, le régulateur de charge doit être compatible avec les panneaux solaires et la batterie.

**1/ Pour la ou les batteries :** Il suffit de connaître la tension du parc complet, 12V, 24V, 36V ou 48V.

**2/ Pour le ou les panneaux :** Il y a plusieurs cas possibles.

• **Panneaux 36 cellules (12V) ou 72 cellules (24V) :**

❖ **Avec un régulateur classique type "PWM",**

La tension panneau doit être la même que celle de la batterie. Dans le cas d'une batterie 12V, on doit avoir un panneau 12V ou plusieurs mais branchés en parallèle pour ne pas modifier la tension. On ne pourra pas utiliser un panneau 24V ou deux panneaux 12V branchés en série qui donnerais du 24V.

❖ **Avec un régulateur MPPT,**

La tension panneau doit être supérieure à celle de la batterie pour qu'il fonctionne correctement. 5V de plus pour démarrer la charge puis 1V une fois lancé. Pour une batterie 24V, c'est un peu différent, le minimum sera un panneau 24V soit 72 cellules.

• **Panneaux 54 / 60 cellules et autres :**

On ne pourra utiliser qu'uniquement un régulateur MPPT car la tension panneau ne correspond pas à une tension batterie standard. On s'assurera toutefois d'avoir toujours une tension supérieure à celle de la batterie.

### III.26. Régulateur MPPT :

Il est limité en tension d'entrée côté panneau solaire, 75V, 100V, 150V ou plus. Pour savoir si le régulateur est compatible avec les panneaux qu'on cherchera à brancher en série

pour obtenir la tension la plus élevée possible, on additionne les tensions à vide (Voc) puis on ajoute un coefficient de 20% pour tenir compte de l'influence de la température ambiante.

**Tension nominale :** Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

**Courant d'entrée I<sub>e</sub> :** C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal.

**Courant de sortie I<sub>s</sub> :** L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule suivante :

$$I_{ms} = \frac{P_{ch}}{V}$$

**P<sub>ch</sub> :** La puissance crête du champ de photovoltaïque qui es calculé comme suit :

**V :** la tension nominale du champ photovoltaïque.

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s$$

$N_s$ : nombre de panneaux en série.

$N_p$  : nombre de panneaux en parallèle.

### III.27. Dimensionnement de l'onduleur :

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères :

- **La tension d'entrée** : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).[35]
- **La tension de sortie** : en Algérie on utilise du 220/230 V, 50Hz.
- **La puissance nominale** : c'est la puissance que les appareils consomment en électricité pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques susceptible d'être utilisés en même temps Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.
- **La puissance maximale** : l'onduleur doit être capable de fournir une grande puissance (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si on a correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est prévue par ces onduleurs est suffisante.
- **Le rendement** : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%.

### III.28. Le dimensionnement des câbles électriques solaires :

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions liées à leur utilisation. Ils sont les seuls à pouvoir assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie. [35]



Figure.III.18: Câble solaire.

**III.29. Alimentation d'un compresseur par l'énergie solaire :**

**Model de compresseur :** Compresseur frigorifique alternatif AE1420Z-FZ1B

**Caractéristiques :**

Condition	Test Voltage	Refrigeration Capacity			Input Power (I) W	(E) Efficiency			EVAP TEMP	Condition	AMBIENT TEMP	RETURN GAS	LIQUID TEMP
		(R) Btu/h	(R) kcal/h	(R) W		(E) Btu/Wh	(E) kcal/Wh	W/W					
ASHRAE	220V ~ 50HZ	1600	403	469	363	4.41	1.11	1.29	-23°C (-10°F)	54°C (130°F)	32°C (90°F)	32°C (90°F)	32°C (90°F)



<b>Construction</b>	hermétique
<b>Technologie</b>	alternatif
<b>Réfrigérant</b>	R404A
<b>Tension d'alimentation</b>	220 Vca, 240 Vca
<b>Capacité de refroidissement</b>	469 W
<b>Puissance</b>	363 W (0,49 hp)
<b>Cylindrée</b>	9,4 ml (0,318 US fl oz)
<b>Charge d'huile</b>	387 ml (13,09 US fl oz)
<b>Poids</b>	11 kg (24 lb)

**Figure.III.19:** Compresseur frigorifique alternatif AE1420Z-FZ1B.

**III.30. Les calcule :**

Premièrement on voit l'énergie consommer( $E_c$ ) par le compresseur.

$$E_c = P \times T$$

$$E_c = 363 \times 2 = 726 \text{ watt}$$

Calcul l'énergie à produire

$$E_p = E_c + (25\% \times E_c)$$

$$E_p = 726 + (0.25 \times 726) = 907.5 \text{ watt}$$

**La tension de travail**

12v → jusqu'à 1000 watt

24v → entre 1000 et 2000 watt

48v → au-delà 2000 watt

Dans ce cas la puissance de compresseur est 363 watt donc je vais travailler de 12 v

**Calcul la capacité de batterie**

$$C = \frac{E_p \times N}{D \times U}$$

$$C = \frac{907.5 \times 1}{80\% \times 12} = 94.53 \text{ Ah}$$

**Choix de batterie**

Batterie (12v\_ 90Ah)

**Calcule nombre des panneaux**

$$N = \frac{12}{12} = 1$$

$$\text{Série de batterie} = \frac{94.53}{90} = 1.05$$

Chaque série une batterie

**Calcule la puissance crêt**

$$P_c = \frac{E_p \times 1000}{I_r} \text{ avec } I_r = 7.5 \text{ Kwh/m}^2$$

$I_r$  : Irradiation

$$P_c = \frac{3.63 \times 1000}{7.5} = 484 \text{ watt}$$

Nous avons Choisi un panneau monocristallin de 300w

Caractéristiques

Puissance max	300W	Coefficient de température (Pm)	-0.43%/°C
Tolérance	0/+3%	Coefficient de température (Voc)	-0.34%/°C
Tension à puissance max (Vmp)	30.5V	Coefficient de température (Icc)	0.05%/°C
Intensité à puissance max (Imp)	9.82A	Dimensions cellule	156 x 143mm
Tension à vide (Voc)	35.5V	Nombre de cellules	60
Intensité court-circuit (Isc)	11.1A	Dimensions	1500 x 990 x 40mm
Rendement cellule	20.6%	Poids	15.5kg
Rendement module	15.67%	Longueur des câbles	900mm
NOTC/TUC	45+/-2°C		
Température de fonctionnement	-40 à +85°C		

Calcule nombre de panneau

$$N = \frac{P_c}{P_{cr}} = \frac{484}{300} = 1.6$$

Donc on besoin un seul panneau

Choix d'un régulateur : un régulateur MPPT de 12v

Choix de batterie : une batterie AGM

Choix onduleur : un onduleur de 12V



Figure .III.20: Alimentation de compresseur par l'énergie solaire.

- 1 - Le panneau solaire (ou les panneaux solaires) : Ils produisent de l'électricité en courant continu (DC).
- 2 - Câblage DC spécifique : Les câbles solaire sont spécialement prévus pour résister au soleil. Ils sont dotés d'une double-isolation qui les rendent durables et particulièrement résistants.
- 3 - Régulateur de charge : Il abaisse la tension des panneaux solaires de façon à la rendre compatible avec la batterie. Il permet également de protéger la batterie contre les surcharges ainsi que les décharges profondes.
- 4 - Onduleur ou convertisseur : Il convertit la tension de la batterie (12V) en tension 220V 50Hz, identique à la tension du réseau électrique public. Cet appareil n'est pas indispensable si vous n'utilisez que du 12 V.
- 5 - La batterie solaire : Elle stocke l'énergie fournie par le panneau solaire pour la redistribuer quand vous en avez besoin (pour l'éclairage la nuit par exemple). Ces batteries de technologie GEL ou AGM sont des batteries à décharge lente et sont particulièrement adaptées aux applications solaires.
- 6-compresseur hermétique : compresseur seront connectés à la sortie de l'onduleur (ou convertisseur).

### **III.31. Conclusion :**

Le chapitre traite des sources d'énergie renouvelable. Nous sommes particulièrement intéressés par l'énergie solaire, Le module photovoltaïque, l'onduleur, les câbles et tous les autres composants d'une installation photovoltaïque ont tous été dimensionnés par nos techniques.

Nous avons présenté une étude sur la technologie solaire photovoltaïque et le principe de fonctionnement des cellules.

Finalement, nous avons calculé et choisi l'alimentation d'un compresseur de réfrigérateur.

## CONCLUSION GENERAL

---

La méthanisation des déchets alimentaires et du fumier est un processus biologique qui permet de produire du biogaz, principalement composé de méthane (CH<sub>4</sub>), en utilisant la fermentation anaérobie. Ce processus présente de nombreux avantages et peut avoir plusieurs applications sur le terrain.

Voici quelques avantages de la méthanisation des déchets alimentaires et du fumier : production de biogaz, valorisation des déchets organiques, réduction des émissions de gaz à effet de serre, production d'engrais naturels.

Le but de produire du gaz gratuit pour une utilisation domestique est de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et d'utiliser une source d'énergie plus durable et respectueuse de l'environnement. En utilisant le biogaz produit à partir des déchets alimentaires et du fumier, on peut générer de l'énergie pour les besoins domestiques tels que la cuisson, le chauffage de l'eau et même la production d'électricité.

En résumé, la méthanisation des déchets alimentaires et du fumier offre de multiples avantages tels que la production de biogaz, la valorisation des déchets, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la production d'engrais naturels. Son utilisation pour produire du gaz gratuit à des fins domestiques contribue à la transition vers une énergie plus propre et plus durable.



## Référence :

[1] : BELBALI, A., BOUCHENTOUF, F., & SLIMANI, S. (2016). valorisation énergétique de déchet de déjection par méthanisation (mouton) (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draïa-Adrar).

[2] : La méthanisation des matières organiques Guide à l'attention des porteurs de projets

[3] : <https://www.gironde.gouv.fr/index.php/contenu/telechargement/50557/340858/file/2+-+Description+du+projet.pdf>.

<https://www.ademe.fr/>

[4] : [http://www.orne.gouv.fr/IMG/pdf/Guide\\_Methanisation\\_Orne\\_origine\\_corrige\\_25\\_02\\_2015\\_cle7a1b47.pdf](http://www.orne.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Methanisation_Orne_origine_corrige_25_02_2015_cle7a1b47.pdf).

[5] : Décembre 2012, Méthanisation des boues de stations : Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

[6] : <https://methanaction.com/les-interets-de-la-methanisation-pour-les-agriculteurs/>

[7] : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Adem) ,2003.

<https://www.ademe.fr/>

[8] : S.Hartig, (2010) « Guide sur le biogaz De la production à l'utilisation »,Gülzow, Mannheim.

[9] : A. Punal, M. Trevisan, A. Rozzi, J. Lema, 2000 Influence of C:N ratio on the start-up of up-flow anaerobicfilterreactors. Water Research,2000, 34, 2614–2619.

[10] : L.E. Marache, „La méthanisation des effluents et déchets organiques : état des connaissances sur le devenir pathogène“, thèse de doctorat, université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 2001.

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz>

[11] : Dahou, A. (2010). „la production de biogaz à partir de lagunage de la wilaya d' Adrar“, mémoire de magistère, université KasdiMerbah.

[12] : BENDJERAD, F. Z., BENKHEIRA, R., & BOULAL, A. (2020). Production de biogaz à partir des tourteaux des noyaux des dattes dans la région d'Adrar (Doctoral dissertation, universite Ahmed Draia-ADRAR).

[13] : ADEOSSI, F. CARACTERISATION DU BIOGAZ PRODUIT A PARTIR DES SUBSTRATS BOVINS ET PORCINS DANS LA REGION DU CENTRE DU BURKINA FASO. 2013. MEMOIRE DU MASTER D'INGENIERIE.

[14] : BOULINGUIEZ, B., & LE CLOIREC, P. (2011). Purification de biogaz-Elimination des COV et des siloxanes.

[15] : <https://pt.slideshare.net/pbhadury/cogeneration-presentation>.

- [16] : <https://www.biogasworld.com/fr/news/systemes-de-digestion-anaerobie-par-voies-seche-et-humide-pour-le-traitement-des-dechets-organiques/>.
- [17] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Digesteur>
- [18]: Boutoute, A. (2022). Modélisation d'un réacteur de méthanisation en voie sèche et étude du traitement in-situ de l'ammoniac (Doctoral dissertation).
- [19]: Moletta, R. (1989). Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies. Revue des Sciences de l'Eau, 2(2), 265-293.
- [20]  
:file:///C:/Users/ALLTECH/Downloads/Fiche%20synth%C3%A9tique%20M%C3%A9thanisation.pdf
- [21]: BENMDJAHED, H & BENMIMOUNE ,Y,A(2018). Etude numérique des concentrations de contraintes dues au fretage d'une roue de compresseur centrifuge haute vitesse,( Master dissertation Universitaire d'Ain T'émouchent).
- [22] : SALAH, Y. (2021). Phénomène de Pompage dans les compresseurs (Doctoral dissertation, university of M'sila)
- [23] : <https://www.rapport-gratuit.com/une-comparaison-entre-les-differents-types-des-compresseurs/>.
- [24] : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.univ-usto.dz/faculte/fac-chimie/wp-content/uploads/2022/05/Cours-sur-les-Compresseurs.pdf>
- [25] : <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/DiapJS/doc/S12/ComprVolum.pdf>
- [26] : <https://www.tout-electromenager.fr/44/les-pieces-detachees/compresseur>.
- [27] : <https://www.abcclim.net/compresseur-piston.html>.
- [28] : Bentoumi, H. (2017). Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda (Doctoral dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila).
- [29] : Abdelghani, M. B. (2018). Modélisation et simulation d'un pompage photovoltaïque. Mémoire de Master Faculté de Technologie, université BADJI MOKHTAR-Annaba.
- [30] : CHERIFI Farida et GRIM Naima.(2018). Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome. Mémoire de master ,université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [31] : MEFTAHI Ounissa Fatima Zahra et MAAYOUF Ikram (2022) . Dimensionnement et étude par simulation d'une installation photovoltaïque implémentée au niveau de la commune de bouzdjar (w. Ain temouchent).Mémoire de master , université Ain temouchent.
- [32] : MEGHELLET HANINE – HOCINE LYNDA (2018) Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque / Université Colonel Akli Mohand – Oulhadj Bouira .

- [33] : Présenté et soutenu publiquement le 18 Janvier 2016 par DOUDOU BOUKARY Ibrahim.
- [34] : Belhadj Mohammed, (2008) « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque Autonome», Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes.
- [35] : BENEDDIF FATIMA ZOHRA et BELDJILALI ASSMAA,(2021) Etude Dimensionnelle D'une Installation Photovoltaïque. Mémoire de master, université Ain temouchent.

## **Résumé:**

L'une des méthodes de traitement et de valorisation des déchets ménagers est la digestion anaérobie de la fraction organique. La valorisation de ces déchets permet de combiner le traitement de ces déchets avec la production de biogaz, une énergie renouvelable. Nous avons contribué à l'étude de la production de biogaz en co-digestion des déchets ménagers et des déjections bovines.

Ensuite on explique Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque.

Finalement, pour une étude technico-économique sur la maintenance des installations photovoltaïques pour générer l'électricité nécessaire à l'alimentation d'un compresseur.

## **Mots clés :**

Méthanisation, Digesteur, Biogaz, Digestat, Compresseur à piston, Energie solaire, Panneaux photovoltaïques.

## **Abstract:**

One method of treating and recovering household waste is anaerobic digestion of the organic fraction. The recovery of this waste makes it possible to combine the treatment of this waste with the production of biogas, a renewable energy. We have contributed to the study of biogas production in co-digestion of household waste and cattle manure.

Then we explain the different components of a solar photovoltaic system.

Finally, for a technico-economic study on the maintenance of photovoltaic installations to generate the electricity needed to power a compressor.

## **Keywords :**

Methanisation, Digester, Biogas, Digestat, Piston compressor, Solar energy, Photovoltaic panels.

## ملخص:

إحدى طرق معالجة واستعادة النفايات المنزلية هي الهضم اللاهوائي للكسر العضوي. إن استعادة هذه النفايات يجعل من الممكن الجمع بين معالجة هذه النفايات وإنتاج الغاز الحيوي، وهو طاقة متجددة. لقد ساهمنا في دراسة إنتاج الغاز الحيوي في الهضم المشترك للنفايات المنزلية وروث الماشية.

ثم يتم شرح الأجزاء المختلفة من النظام الكهروضوئي الشمسي.

أخيرًا، لإجراء دراسة تقنية واقتصادية حول صيانة المنشآت الكهروضوئية لتوليد الكهرباء اللازمة لتشغيل الضاغط.

## الكلمات المفتاحية:

الهضم اللاهوائي، الهاضم، الغاز الحيوي، سماد، ضاغط المكبس، الطاقة الشمسية، الألواح الكهروضوئية.