



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES ELECTRONIQUE



N° d'ordre : M ...../GE/2020

## MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de  
Master académique

### MASTER EN ÉLECTROTECHNIQUE

Option : Énergies renouvelables en électrotechnique

Par

Mokhtari Narimane

&

Ourrad Amira Ikram

#### Intitulé du sujet :

**Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-biomasse connecté au réseau pour alimenter la ferme agricole d'élevage de l'université de Mostaganem.**

Soutenu le

23/09/2020

devant le jury composé de :

Président :	Dr. Larbi. Beklaouz. Hadj	Maitre de conférences (B)	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Dr. Ghomri. Leila	Maitre de conférences (A)	Université de Mostaganem
Encadreur :	Dr. Bekkouche. Benaissa	Maitre de conférences (A)	Université de Mostaganem
Co-encadreur :	Dr. Nadra. Rechidi- Sidhoum	Docteur vétérinaire- Maitre de conférences (B)	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020



## **Remerciement**

*Avant tout, Nous remercions ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions.*

*Nous remercions vivement en premier lieu notre encadreur Monsieur : Dr. BEKKOUCHE. BENAÏSSA, Maître de Conférences(A) à l'Université de Mostaganem qui par sa compétence, ses encouragements, ses critiques constructives et son soutien moral a su m'informer, me conseiller, et me rendre de plus en plus autonome pour bien réaliser ce travail.*

*Mes remerciements vont également à notre Co-encadreur Madame : Dr. NADRA.RECHIDI-SIDHOUM, Docteur vétérinaire-Maitre de Conférences (B) à l'Université de Mostaganem pour son suivi permanent et ses précieux conseils, ses encouragements, son indulgence, et sa sympathie.*

*Nous tenons également à remercier vivement les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et ce mémoire :*

*Monsieur le président : Dr. LARBI.BEKLAOUZ.HADJ Maître de conférences(B) à l'Université de Mostaganem, et L'examinatrice Madame : Dr. GHOMRI. LEILA, Maître de conférences (A), pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce mémoire.*

*Nous souhaitons également remercier, l'ensemble des enseignants de département de génie électrique de Mostaganem et particulièrement ceux qui ont participé à nos formations.*

*Enfin, nous ne saurions terminer ce remerciement, sans mentionner tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à rendre cette expérience des plus enrichissantes en particulier le plan humain.*

MOSTAGANEM, le 26/08/2020



## ***Dédicace***

***Je dédie ce modeste travail :***

***A ma chère maman :***

*L'émeraude de ma vie, la femme qui m'a supporté dans mes hauts et mes bas, la femme qui m'a éduqué, encouragé et qui a été toujours là pour me remonter le moral, la femme qui a traversé avec moi le malheur et le bonheur.*

***A mon cher père :***

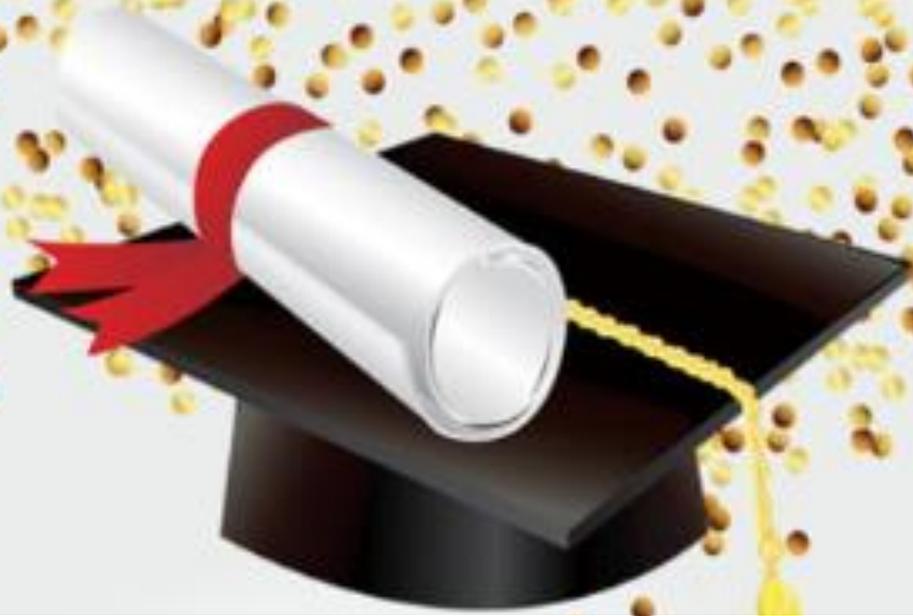
*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime et le respect que j'ai pour vous et rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Mes chères sœurs Ibel et Alaa*

*Mes grands-parents, A toute la famille Ourrad et Ben fouda*

*Ma chère copine et mon binôme Narimane et tous mes amis (es) et mes collègues ;*

*Amira.....*



## **Dédicace**

*Je dédie ce Mémoire à :*

***Ma mère :** L'ange de ma vie tu t'étais toujours investie et soucieuse de ma réussite dans les études ainsi que mon bonheur, je t'exprime plus que jamais mes profondes reconnaissances, que **Dieu** te protèges pour nous et t'accorde une bonne santé et une longue vie.*

***Mon père :** toi qui as fait de moi ce que je suis maintenant, tu t'es privé de tellement de choses afin de me satisfaire, aucune dédicace ne saurait exprimer le respect que j'ai pour toi. Mes chers amours frères Yasser et Henni, Ma chère jolie sœur Romaiïssa et à toute la famille **Mokhtari** et la famille **Hadded**.*

*Mes grandes parents, symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel, Que dieu les protègent pour moi et leur accordent une bonne santé et une longue vie.*

*Mes chères oncles et Ma chère tante je vous dis merci beaucoup pour vos encouragements et toutes les contributions que vous avez apporté dans ma vie, et à toute la famille **Hadj Henni**. Mon cher mari Housseem pour toutes les motivations et le soutien, ce qui me permet toujours de continuer et faire beaucoup d'efforts, que dieu le protège pour moi, et à toute ma belle-famille **Djeridi**.*

*Mes enseignants depuis mon enfance ;*

*Ma chère copine et mon binôme Amira et tous mes amis (es) et mes collègues ;*

*A tout ceux qui m'ont aidé à réaliser de près ou de loin ce mémoire ;*

*A ceux qui me sont chers et ceux que j'ai aimé du fond de mon cœur.*

*Narimane .....*

## Sommaire

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Nomenclature.

Résumé.

Introduction générale.....1

### Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire et l'énergie de biomasse

<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Évaluation des énergies renouvelables en Algérie.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Énergie solaire.....</b>	<b>4</b>
2.1. Généralités sur le soleil.....	4
2.2. Rayonnement.....	5
2.3. Irradiation.....	7
2.3.1. Description des différentes irradiations.....	8
2.4. Potentiel solaire Algérien.....	10
<b>3. Généralités sur énergie solaire photovoltaïque.....</b>	<b>11</b>
3.1. Historique.....	11
3.2. Définition.....	11
3.3. Fonctionnement des cellules photovoltaïques.....	12
3.4. Différents types des cellules photovoltaïques.....	12
3.5. Générateur photovoltaïque.....	13
3.5.1. Principe de fonctionnement.....	13
3.5.1.1. Zones de fonctionnement du module solaire.....	13
3.6. Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque.....	14
3.6.1. Chaîne de conversion électrique.....	14
3.7. Configuration global du système PV.....	15
3.7.1. Système autonome sans batterie.....	16
3.7.2. Système autonome avec batterie.....	16
3.7.3. Système fonctionnant au fil du soleil.....	16
3.7.4. Système avec appoint électrique.....	16
3.8. Dimensionnement d'un système solaire PV.....	16
3.8.1. Définition.....	16
<b>4. Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque.....</b>	<b>19</b>
<b>5. Énergie de biomasse.....</b>	<b>20</b>

5.1. Historique.....	20
5.2. Définition.....	21
5.2.1. La biomasse par combustion.....	22
5.2.2. La biomasse par méthanisation.....	22
5.2.2.1. Méthanisation.....	23
5.3. Notion théorique sur l'énergie de biogaz.....	23
5.3.1. Digesteur de biogaz.....	24
5.4. Caractéristiques de digestion.....	25
5.4.1. Les facteurs influençant la digestion anaérobie.....	26
5.5. Fonctionnement de la méthanisation.....	26
5.6. Types de digesteurs.....	27
5.6.1. Digesteur à dôme fixe.....	27
5.6.2. Tambour flottant.....	29
5.6.3. Ballon.....	29
5.7. Dimensionnement d'une installation de biogaz.....	29
<b>6. Avantages et inconvénients du biogaz.....</b>	<b>32</b>
<b>7. Objectif général de notre travail.....</b>	<b>33</b>
7.1. Matériels et méthodes.....	34
7.1.1. Etude technique.....	34
7.1.2 Collecte des données.....	33
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>34</b>

## **Chapitre II : Caractéristiques du système hybride photovoltaïque-Biomasse**

<b>Introduction.....</b>	<b>35</b>
<b>1. Définition du système d'énergie hybride (S.E.H).....</b>	<b>35</b>
1.1. Classification.....	35
1.1.1. Suivant le régime du fonctionnement.....	35
1.1.2. Suivant la structure du système hybride.....	36
1.1.3. Classification des études générales.....	40
<b>2. Présentation du système hybride photovoltaïque-biogaz.....</b>	<b>38</b>
<b>3. Système de conversion d'énergie hybride.....</b>	<b>38</b>
<b>4. Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque-biogaz.....</b>	<b>39</b>
<b>5. Modélisation des composants du système hybride photovoltaïque-biogaz.....</b>	<b>40</b>
5.1. Modélisation du système PV.....	40
5.1.1. Modélisation du générateur PV.....	40

5.1.1.1. Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque.....	41
5.1.1.2. Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque.....	41
5.1.1.3. Influence de l'éclairement.....	42
5.1.1.4. Influence de la température.....	43
5.1.1.5. Rendement d'un générateur photovoltaïque.....	43
5.1.2. Modélisation du convertisseur DC/DC.....	44
5.1.3. Modélisation d'onduleur.....	45
5.1.4. Modélisation de batterie.....	46
5.2. Modélisation du système biomasse.....	47
5.2.1. Digesteur anaérobie.....	48
5.3. Le groupe électrogène.....	49
5.3.1. Définition d'un groupe électrogène.....	50
5.3.1.1. Moteur à combustion interne (ICE).....	50
5.3.1.2. D'autres moteurs peuvent être utilisés.....	50
5.3.1.3. Les modes d'excitation de la machine synchrone.....	52
5.4. Systèmes de stockage.....	53
5.4.1. Stockage électrochimique.....	53
<b>6. Dimensionnement d'un système hybride PV/BIOMASSE.....</b>	<b>53</b>
6.1. Logiciel HOMER.....	54
<b>7. Conclusion.....</b>	<b>55</b>

## Chapitre III : Dimensionnement optimal du système hybride photovoltaïque-biomasse

<b>Introduction.....</b>	<b>56</b>
<b>1. Présentation du site d'implantation.....</b>	<b>56</b>
1.1. Situation géographique.....	56
1.2. Environnement du site de travail.....	56
<b>2. Paramètres à déterminer lors de la conception.....</b>	<b>57</b>
<b>3. Analyse du potentiel énergétique solaire et biomasse.....</b>	<b>57</b>
3.1. Potentiel solaire.....	57
3.1.1. Données géographique du lieu.....	57
3.1.2. Données météorologiques du lieu.....	58
3.1.2.1. Température.....	58
3.1.2.2. Rayonnement solaire.....	58
3.2. Potentiel biomasse.....	60
<b>4. Méthodes de dimensionnement d'un système hybride.....</b>	<b>62</b>
4.1. Détermination du profil de charge et besoins électriques domestiques.....	62

---

4.2. Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques.....	63
4.3. Choix des panneaux.....	64
4.4. Orientation et inclinaison des modules.....	64
4.5. Choix de l'onduleur.....	65
4.6. Choix du régulateur.....	65
4.7. Choix de la batterie.....	65
4.8. Dimensionnement des câbles.....	66
4.9. Volume du bio-digesteur.....	67
4.10. Choix de groupe électrogène.....	67
<b>5. Résultat de la simulation.....</b>	<b>67</b>
<b>6. Etude économique.....</b>	<b>74</b>
<b>7. Gestion de l'énergie du SHPV-BIO.....</b>	<b>75</b>
7.1. Organigramme.....	77
7.2. Interprétation.....	77
<b>8. Conclusion.....</b>	<b>78</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>79</b>

## Liste de figures

N°	Figure	Page
1	Figure (I.1) : Répartition des énergies renouvelables en Algérie.	3
2	Figure (I.2) : Utilisations d'énergie solaire.	5
3	Figure (I.3) : Les deux moyens de convertir d'énergie solaire.	5
4	Figure (I.4) : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM.	6
5	Figure (I.5) : Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM.	6
6	Figure (I.6) : Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur.	7
7	Figure (I.7) : Potentiel solaire en Algérie.	10
8	Figure (I.8) : Les Différentes zones de la caractéristique I (V), T=25°C.	13
9	Figure (I.9) : Cellules, module et panneau photovoltaïques.	14
10	Figure (I.10) : Installation photovoltaïque autonome.	14
11	Figure (I.11) : Installation photovoltaïque couplée au réseau.	15
12	Figure (I.12) : Schéma synoptique global d'une installation photovoltaïque.	15
13	Figure (I.13) : Organigramme principal de dimensionnement du système PV.	19
14	Figure (I.14) : Récapitulatif de l'ensemble des procédés.	22
15	Figure (I.15) : Equation chimique de méthanisation	23
16	Figure (I.16) : Schéma de digesteur	24
17	Figure (I.17) : Schéma des pièces et paramètres du générateur	25
18	Figure (I.18) : Schéma de réaction de Biogaz.	27
19	Figure (I.19) : Digesteur à dôme fixe.	28
20	Figure (I.20) : Tambour flottante.	29
21	Figure (I.21) : Digesteur, ballon.	29
22	Figure (I.22) : Utilisation d'une installation du biogaz pour générer l'électricité.	30
23	Figure (I.23) : Installation expérimentale d'épuration chimique du biogaz.	31
24	Figure (I.24) : Diagramme du système de production d'électricité au biogaz.	32
25	Figure (II.1) : Classification des systèmes hybrides.	37

26	Figure (II.2) : Classification des études.	38
27	Figure (II.3) : Schéma de principe de système hybride photovoltaïque-biogaz.	39
28	Figure (II.4) : Schéma électrique équivalent d'un générateur PV.	40
29	Figure (II.5) : Caractéristiques courant-tension d'un générateur photovoltaïque.	41
30	Figure (II.6) : Caractéristiques puissance-tension d'un générateur photovoltaïque.	42
31	Figure (II.7) : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I = f(V)$ .	42
32	Figure (II.8) : Influence de la température sur la caractéristique $I = f(V)$ .	43
33	Figure (II.9) : Schéma électrique du convertisseur.	44
34	Figure(II.10) Composants de système PV	47
35	Figure (II.11) : Système à biogaz.	48
36	Figure (II.12) : Digesteur à dôme fixe.	48
37	Figure (II.13) : Composants principale de système biogaz	49
38	Figure (II.14) : Moteur à combustion interne	50
39	Figure (II.15) : schéma équivalent et le diagramme vectoriel	51
40	Figure (II.16) : Alternateur.	52
41	Figure (II.17) : Schéma fonctionnel d'un système d'énergie hybride photovoltaïque-biogaz	54
42	Figure (II.18) : Diagramme proposé d'un système d'énergie hybride photovoltaïque (PV)-biogaz	55
43	Figure (III.1) : Situation géographique de l'atelier agricole de la faculté (SNV) Hassi-Maméche.	57
44	Figure (III.2) : Profil de température ambiante annuelle.	58
45	Figure (III.3) : Profil de rayonnement solaire.	59
46	Figure (III.4) : La trajectoire solaire du lieu.	59
47	Figure (III.5) : Profil d'irradiation direct.	60
48	Figure (III.6) : Bovins laitiers.	61
49	Figure (III.7) : Fumiers.	61
50	Figure (III.8) : Analyse d'un ensemble de cas : les tailles de gisements de déchets d'élevage et les puissances installées.	62

51	Figure (III.9) : Inclinaison et Orientation du site.	65
52	Figure (III.10) : Profil de puissance quotidien.	68
53	Figure (III.11) : Architecture du système hybride (PV/biogaz) connecté au réseau.	68
54	Figure (III.12) : Profil de charge annuelle.	69
55	Figure (III.13) : Profil de charge mensuelle.	69
56	Figure (III.14) : Les différentes combinaisons faisables.	70
57	Figure (III.15) : La contribution des générateurs dans la production en fonction des mois.	71
58	Figure (III.16) : Production des panneaux PV en fonction des heures.	71
59	Figure (III.17) : Production du générateur de biogaz en fonction des heures de la journée.	72
60	Figure (III.18) : Performance de l'onduleur en fonction des heures de la journée.	72
61	Figure (III.19) : L'énergie vendue et achetée du réseau en fonction des heures de la journée.	73
62	Figure (III.20) : L'état de charge des batteries.	73
63	Figure (III.21) : Emissions propagés par le digesteur de biogaz.	74
64	Figure (III.22) : Répartition du système d'alimentation optimal NPC par composants.	75
65	Figure (III.23) : Stratégie de gestion du système	77

**Liste des tableaux**

N°	Tableau	Page
1	Tableau (I.1) : Répartition des énergies renouvelables en Algérie.	4
2	Tableau (I.2) : Potentiel solaire en Algérie.	11
3	Tableau (I.3) : Type des cellules photovoltaïques.	12
4	Tableau (I.4) : Besoins d'utilisateur.	17
5	Tableau (I.5) : Puissance et tension du système PV.	18
6	Tableau (I.6) : Composants typique du biogaz.	27
7	Tableau (III.1) : Coordonnées géographiques du site.	58
8	Tableau (III.2) : Potentiel de biogaz et le potentiel électrique.	60
9	Tableau (III.3) : Profil de charge	62
10	Tableau (III.4) : Estimation des besoins énergétiques journalière d'une journée Hivernale et estivale.	63
11	Tableau (III.5) : Production annuelle des générateurs.	70

## Nomenclature

N°	Grandeur	Signification
1	$\mu\text{m}$	Symbole du micromètre, unité de mesure de longueur du système international (SI), valant 0,000001 mètre (6-10 mètre).
2	AM	Le coefficient de masse d'air définit la longueur du chemin optique direct à travers l'atmosphère terrestre, exprimée comme un rapport par rapport à la longueur du chemin verticalement vers le haut, c'est-à-dire au zénith.
3	Pw	Unité de mesure de puissance du système international (SI) valant $10^{15}$ watts.
4	Zetta joules	Est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente un trilliard ( $10^{21}$ ), soit mille milliards de milliards.
5	Econ	Energie totale consommée dans la journée.
6	Ne	Nombre d'heure d'ensoleillement.
7	Pc	Puissance crête des panneaux.
8	Iph	Courant des photons.
9	Id	Courant de diode.
10	Vd	Tension de diode.
11	Rs	Résistance série.
12	Rsh	Résistance shunt.
13	NPC	le cout total net actuel d'un système est la valeur actuelle de tous les couts encourus par le système au cours de sa durée de vie . moins la valeur actuelle de toutes les revenus qu'il gagne au cours de sa durée de vie.
14	LCOE	Homer définit le coût actualisé de l'énergie (COE) comme le coût moyen par KWh d'énergie électrique utile produite par le système.
15	MPP (Maximum Power Point)	Point de puissance maximale d'une cellule ou d'un panneau.
16	MPPT(maximum power point tracker)	Dispositif cherchant à faire fonctionner un générateur solaire à son point de puissance maximale pour en tirer une énergie maximale (utilisé dans les onduleurs couplés au réseau et dans certains régulateurs).
17	Ploss	Pertes électriques.
18	P <sub>inv, rated</sub>	Puissance nominale de l'onduleur.

---

19	DOD <sub>max</sub>	Profondeur maximale de décharge de la batterie.
20	PWM («Pulse Width Modulation»)	Technique de traitement de signaux de puissance à haute fréquence, utilisée dans les onduleurs.
21	STC	Conditions de référence pour la mesure des modules solaires.
22	NOCT	Température réelle des cellules d'un module fonctionnant conditions suivantes : – température ambiante de 20 °C ; – irradiance solaire de 800 W/m <sup>2</sup> ; – spectre AM 1.5.
23	SOC	Etat de charge de la batterie.
24	AGM	Le sigle AGM est l'acronyme de « Absorbed Glass Mat ». Ce qui signifie que l'électrolyte dont 70% d'eau et 30% d'acide, se trouvant dans la batterie étanche AGM est absorbé ou stabilisé à l'intérieur des buvards en fibre de verre.
25	$\psi$	Flux lumineux.
26	Rt	Temps de rétention.

**ملخص:**

أصبحت الطاقات المتجددة رابطاً مهماً للتنمية الاقتصادية على المستويين العالمي والوطني، ففي هذه الدراسة، تم تصميم نظام هجين (من منظومة كهر وضوئية ومنظومة الغاز الحيوي) متصل بشبكة الكهرباء لمزرعة الثروة الحيوانية في جامعة مستغانم. تقع في بلدية حاسي مامش. تم تقييم روث البقر المتاح في المزرعة للهضم اللاهوائي والطاقة الشمسية للتحويل الكهروضوئي. يقدر الطلب اليومي للحمل الكهربائي في المزرعة على 31.5 كيلو واط ساعة / يوم. تظهر نتائج المحاكاة التي أجراها برنامج Homer أن نظام التكوين الذي يحتوي على نظام كهروضوئي 9 كيلوواط ومولد للغاز الحيوي بسعة 1.5 كيلوواط، هو تكوين نظام الطاقة الهجين الذي سيتم استخدامه لتلبية الحمل الكهربائي اليومي في المزرعة. ينتج النظام الهجين للخلايا الكهروضوئية-الغازية كهرباء سنوية كافية تبلغ 10194 كيلوواط / سنة. يمثل استهلاك الطاقة بنسبة 99.6% من إجمالي إنتاج الكهرباء السنوي. وسيتم توزيع الطاقة المتبقية، المقدرة بنسبة 0.4%، إما على مزرعة مجاورة أو سيتم بيعها لشبكة الكهرباء المحلية.

**الكلمات المفتاحية:**

الطاقات المتجددة والضوئية، والكتلة الحيوية، والغاز الحيوي، ونظام الطاقة الهجينة المتصلة بالشبكة، والمحاكاة.

**Abstract:**

Renewable energies have become an important link for economic development at global and national levels. In this study, a hybrid photovoltaic-biogas solar system connected to the grid for electrification is designed for the livestock farm of the University of Mostaganem, located in the town of Hassi-Maméche. The potential of cow manure available on the farm for anaerobic digestion and the solar potential for photovoltaic conversion are assessed. The daily electrical load demand on the farm has been estimated at 31.5kWh / d. The results of the simulation carried out by the Homer software program, show that the configuration system which includes a 9kw photovoltaic system and a biogas generator with a capacity of 1.5kW, is the configuration of the hybrid power system that will be used to meet the daily electrical load on the farm. The hybrid photovoltaic-biogas solar system produces sufficient annual electricity of 10194 kWh / year. Energy consumption by AC charges is 99.6% of total annual electricity production. The rest of the energy produced, estimated at 0.4%, will either be distributed to a neighboring farm or sold to the local power grid.

**Keywords:** Renewable energies, photovoltaic, biomass, biogas, hybrid energy system connected to the network, simulation.

**Résumé :**

Les énergies renouvelables sont devenues un maillon important pour le développement économique aux niveaux mondial et national. Dans cette étude, un système solaire hybride photovoltaïque-biogaz connecté au réseau pour l'électrification est conçu pour la ferme d'élevage de l'université de Mostaganem, située dans la commune de Hassi-Maméche. Le potentiel du fumier des vaches disponibles dans la ferme pour la digestion anaérobie et le potentiel solaire pour la conversion photovoltaïque sont évalués. La demande de charge électrique quotidienne dans la ferme a été estimée à 31.5kWh/j. Les résultats de la simulation réalisée par le programme du logiciel Homer, montrent que le système de configuration qui comprend un système photovoltaïque de 9kw et un générateur de biogaz d'une capacité de 1.5kW, est la configuration de système d'alimentation hybride qui sera utilisée pour répondre à la charge électrique quotidienne de la ferme. Le système solaire hybride photovoltaïque-biogaz produit une électricité annuelle suffisante, de 10194kWh/an. La consommation d'énergie par les charges de courants alternatifs est de 99.6% de la production annuelle totale d'électricité. Le reste de l'énergie produite estimée à 0.4%, sera soit, distribuée à une ferme voisine, soit, vendu au réseau électrique local.

**Mots clés :** Energies renouvelables, photovoltaïques, biomasse, biogaz, système énergie hybride connecté au réseau, simulation.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que tendanciellement, les consommations d'énergie vont continuer à augmenter, sous l'effet de la croissance économique et industrielle d'une part, et de l'augmentation de la consommation d'électricité par habitant d'autre part, quels que soient les cas de figures envisagés. Néanmoins, le monde industriel et scientifique a commencé depuis plusieurs décennies ces recherches de développement sur les énergies renouvelables. Les énergies renouvelables apparaissent actuellement comme une solution adaptée pour couvrir les besoins accélérés en électricité en diminuant l'inconvénient majeur provoqué par les énergies fossiles et fissiles. Donc, équilibré l'équation, d'offrir une bonne qualité énergie aux clients et éliminer un taux considérable des gaz à effet de serre. Elles représentent certainement la meilleure alternative durable et gratuite, notamment, pour les zones éloignées qui nécessitent des sources d'énergie décentralisée. Grâce au développement de la recherche scientifique, ces énergies primaires sont devenues une forme d'énergie de base par leur flexibilité, leur facilité d'utilisation, leur diversité et leur multiplicité de domaines où elles sont appelées à jouer un rôle. D'après les travaux scientifiques publiés, ces schémas de production, les modes de distribution associés et les matériaux utilisés, devraient subir de profonds changements au cours des prochaines décennies. Cependant, les moyens d'amélioration pour augmenter l'efficacité de ces installations n'arrêtent pas l'écoulement de l'encre des chercheurs et notamment les contemporains. La consommation intérieure brute d'énergie primaire en Algérie par les sources fossiles dépasse leurs limites de respect du climat, la pollution ne cesse d'augmenter. Donc, l'enjeu du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies permettront de plus en plus de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, de l'habitat, de la santé, de l'éducation puis à long terme, de l'industrie. En effet vu de sa situation géographique qui contient un gisement très important d'intensité du rayonnement solaire reçu (169.440 TWh/an), le plus important de tout le bassin méditerranéen, et représente 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité et 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an), notre pays couvre certains de ses besoins en énergie solaire. Le gouvernement Algérien a placé au rang de sa priorité un programme national de développement des énergies renouvelables (ENR), et ce, afin de diversifier ses sources de production d'énergie électrique. Ce plan favorise le développement et l'épanouissement de

l'utilisation des énergies solaire et éolienne. Tandis que l'énergie de biomasse qui représente un potentiel important dans la plupart des régions agricoles dans l'Algérie, donne une autre extension pour notre pays pour se diversifier au point de production d'électricité dans les décennies à venir. Considérant les caractéristiques de l'énergie photovoltaïque et de l'énergie biomasse, ces deux énergies ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se valoriser mutuellement. C'est pourquoi dans ce projet de contribution modeste au dimensionnement d'une installation pour alimenter la ferme expérimentale d'élevage de l'université de Mostaganem et en collaboration avec la faculté de sciences de la nature et de la vie, on propose un système hybride composé de ces deux sources d'énergie, un générateur photovoltaïque et un autre biogaz. Ce dernier est basé sur le traitement des résidus animaux et agricoles. Ainsi, cette étude promet à travers les filières agricoles, la valorisation de la biomasse végétale et animale, issue de l'exploitation agricole expérimentale, de l'Université de Mostaganem d'une part. Elle représente une participation de la formation universitaire au programme national des énergies renouvelables.

Cependant, l'objectif de notre travail est de maintenir un meilleur rendement avec un coût minimal du système hybride photovoltaïque – biomasse. Cela entraîne une étude des paramètres de dimensionnement de ce type d'application et leur simulation permettra de mettre en évidence les stratégies de gestion disponible et d'évaluer les techniques d'optimisations. Pour cette raison on présente une méthode de dimensionnement optimale du système hybride de production d'électricité et la gestion de son fonctionnement.

Pour atteindre cet objectif, le travail sera scindé en trois axes :

- Le premier axe présentera et exposera des généralités sur les deux sources d'énergies renouvelables, qui sont l'énergie solaire et biomasse, ainsi que le principe de fonctionnement des systèmes qui les entraînent ;
- Le deuxième axe sera consacré à une étude qui décrit et justifie les différentes composantes du système hybride photovoltaïque-biomasse proposée ;
- Le troisième axe sera dédié à l'étude et dimensionnement du système hybride (Photovoltaïque et biomasse) en introduisons une simulation par des outils numérique pour confirmer les caractéristiques de fonctionnement du système ;
- hybride conçu. Une initiative de gestion de la puissance des deux sources sera élaborée ;
- Notre travail sera achevé par une conclusion générale et des simples recommandations.

## Introduction.

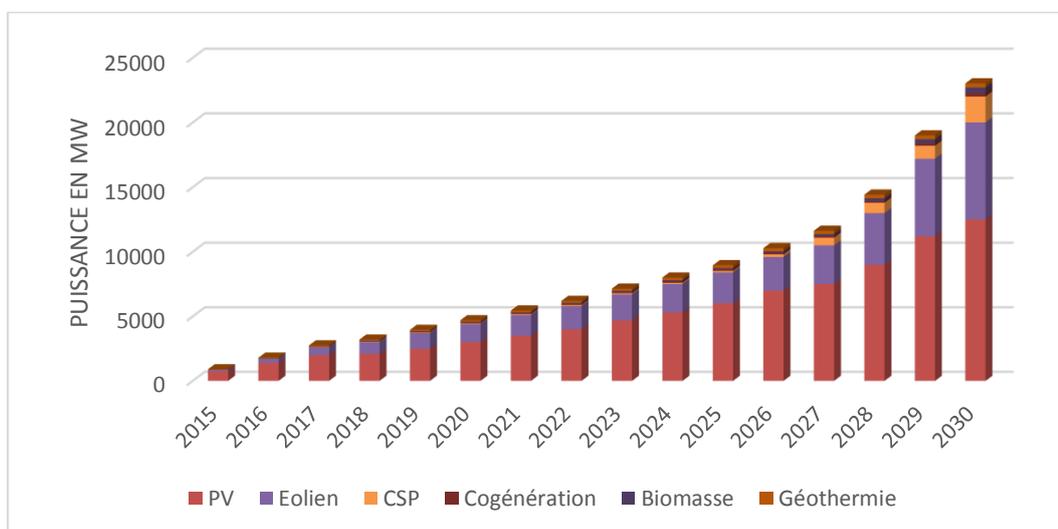
On appelle énergie renouvelable un ensemble de sources d'énergies qui sont inépuisables à l'échelle humaine, largement disponibles, essentiellement gratuites et qui sont compatibles avec un certain respect environnemental. Elles peuvent être converties, selon les besoins, en électricité ou en chaleur. La cogénération d'électricité et de chaleur est possible dans le cas de la géothermie, de la biomasse et de l'énergie solaire [41].

- Le solaire est une utilisation directe des rayons du soleil pour produire chaleur ou électricité ;
- La biomasse regroupe l'ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique. C'est de l'énergie solaire transformée par les plantes chlorophylliennes qui sont utilisées soit, directement (bois de chauffage) soit, après de nouvelles transformations chimiques (biogaz, biocarburant) ;
- L'éolienne utilise l'énergie du vent de manière mécanique ;
- La géothermie est l'utilisation directe des gradients des températures terrestres ou de sources chaudes.

Dans ce premier chapitre, nous allons décrire les différentes caractéristiques de deux énergies renouvelables qui font l'objet de l'étude de ce mémoire : le solaire et la biomasse.

## 1. Évaluation des énergies renouvelables en Algérie.

Face à la double contrainte de la raréfaction des énergies fossiles et du réchauffement climatique, les énergies renouvelables représentent une alternative nouvelle et un avenir sûr pour la sécurité énergétique en Algérie. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays (figure I.1) [1].



**Figure I.1.** Répartition des énergies renouvelables en Algérie [1].

Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit atteindre 600 MW en 2015, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 6% de l'électricité totale produite [1]. Suite aux résultats réalisés une nouvelle planification des opérations a été programmée, basée sur sa majorité sur le solaire, comme le montre le (tableau I.1).

**Tableau I.1** : Répartition des énergies renouvelables en Algérie [1].

Unité en MW	1 <sup>ère</sup> phase 2015-2020	2 <sup>ème</sup> phase 2021-2030	Total
photovoltaïque	3000	10 575	13 575
Éolien	1010	4000	5010
CSP	-	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
<b>Total</b>	4525	17 475	22 000

## 2. Énergie solaire.

### 2.1. Généralités sur le soleil.

L'énergie solaire est l'énergie dont la matière première est le soleil. Bien que ce dernier soit distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous, il nous fournit une énergie qui est gratuite, inépuisable et en plus, disponible dans le monde entier. Synonyme d'écologie, cette source d'énergie est en plus propre, c'est-à-dire qu'elle n'émet aucun gaz à effet de serre. Depuis la nuit des temps, on utilise l'énergie issue du soleil pour apporter de la chaleur et le maximum de lumière naturelle dans les maisons. Simple, la technique tient compte de l'architecture, l'orientation et les matériaux du bâtiment de manière à ce que celui-ci soit chauffé et éclairé par l'énergie solaire passive [2].

Actuellement, l'énergie solaire est utilisée par l'homme pour :

- Eclairer (fenêtres, puits de lumière) ;
- Chauffer (four solaire, chauffe-eau solaire) ;
- Produire de l'électricité via des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques (figure I.2).

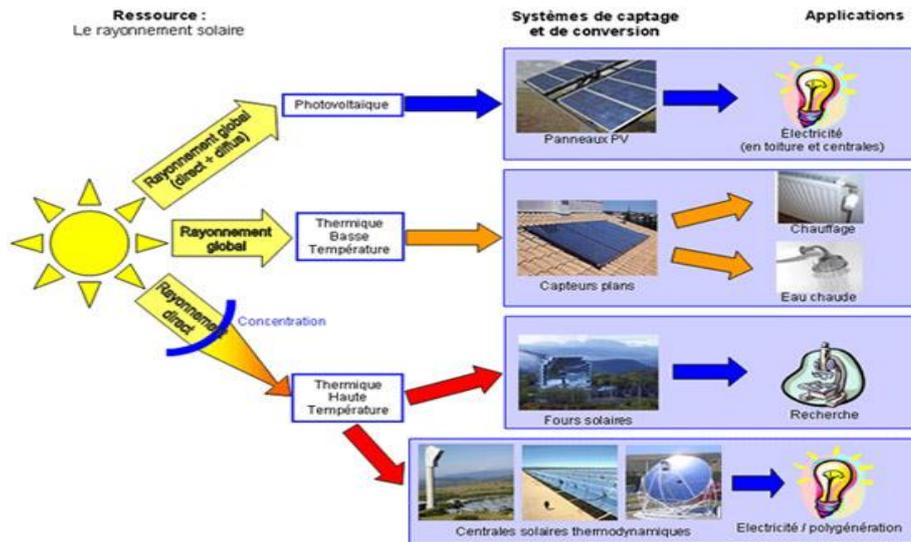


Figure I.2. Utilisations d'énergie solaire.

On distingue deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire :

- Conversion en électricité : énergie solaire photovoltaïque (PV).
- Conversion en chaleur : énergie solaire thermique (figure I.3).

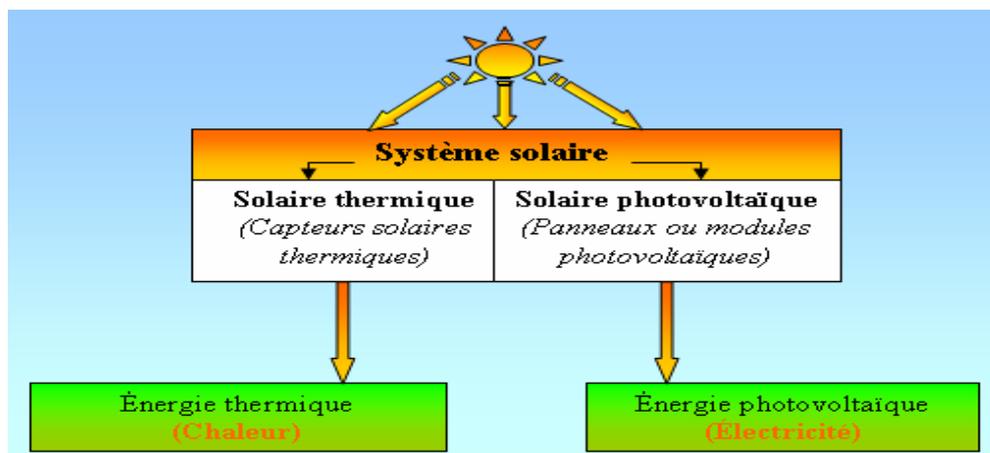
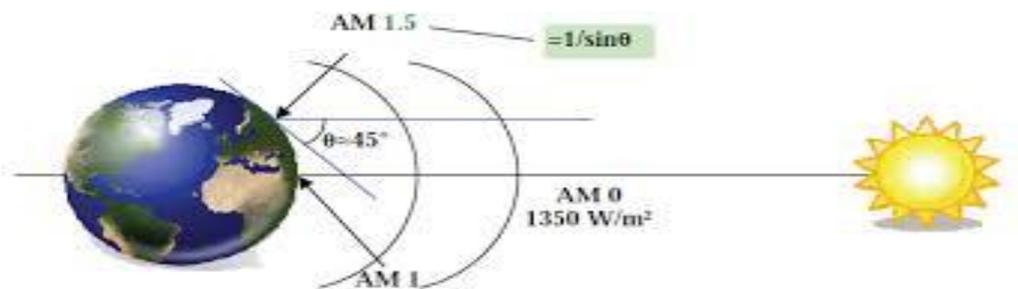


Figure I.3. Les deux moyens de convertir d'énergie solaire.

## 2.2. Rayonnement.

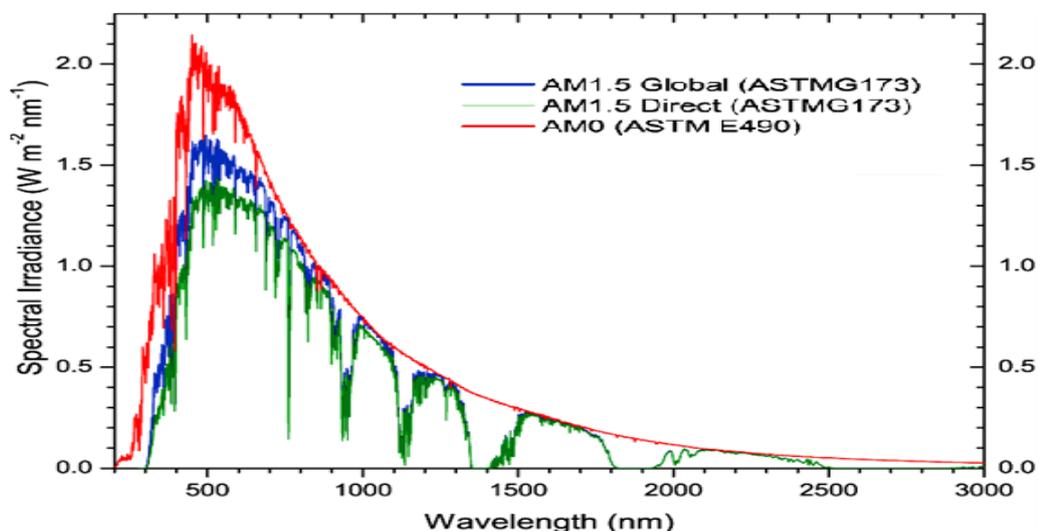
Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2  $\mu\text{m}$ ) à l'infrarouge lointain (2.5  $\mu\text{m}$ ). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de 1350W/m<sup>2</sup> (AM0) dans l'espace hors atmosphère terrestre (figure I.4). Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz, l'eau et les poussières. Ainsi, la couche d'ozone absorbe une partie

du spectre lumineux provenant du soleil et en particulier, une partie des ultraviolets dangereux pour la santé. Le rayonnement solaire direct reçu au niveau du sol (à  $90^\circ$  d'inclinaison) atteint  $1000 \text{ W/m}^2$  du fait de l'absorption dans l'atmosphère (AM1). Cette valeur change en fonction de l'inclinaison des rayons lumineux par rapport au sol. Plus l'angle de pénétration  $\theta$  est faible, plus l'épaisseur atmosphérique que les rayons auront à traverser sera grande, d'où une perte d'énergie conséquente. Par exemple, l'énergie directe transportée par le rayonnement solaire atteignant le sol avec un angle de  $48^\circ$  avoisine les  $833 \text{ W/m}^2$  (AM1.5) [3].



**Figure I.4.** Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, Notion de la convention AM [3].

Pour connaître le rayonnement global reçu au sol, il faut ajouter à ce dernier le rayonnement diffus. Le rayonnement diffus concerne tout le rayonnement dont la trajectoire entre le soleil et le point d'observation n'est pas géométriquement rectiligne et qui est dispersé ou réfléchi par l'atmosphère ou bien le sol. En considérant ceci, on obtient une référence du spectre global notée AM1.5 avec une puissance de  $1000 \text{ W/m}^2$  (figure I.5).

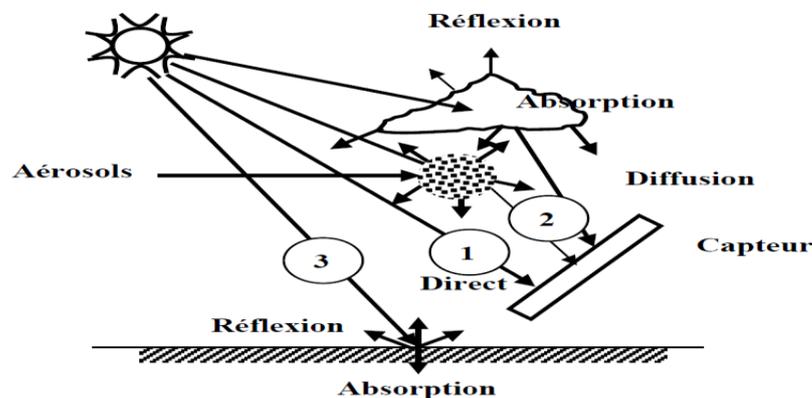


**Figure I.5.** Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM [4].

L'ensoleillement correspond à l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan à un moment donné. Il s'exprime habituellement en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ), l'ensoleillement varie de zéro, au lever du soleil, à sa valeur maximale, typiquement au midi solaire.

Il y a quatre types de rayonnement :

- rayonnement direct : c'est le rayonnement reçu directement du Soleil ;
- rayonnement diffus : c'est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste, dû à la réflexion par les nuages ;
- rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo : c'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface ;
- rayonnement global : c'est la somme de toutes les composantes reçues, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre (figure I.6) et présente les trois rayonnements incidents sur un plan [4] [13].



**Figure I.6.** Les trois composantes du rayonnement incident sur le capteur [13].

### 2.3. Irradiation.

En physique, l'irradiation solaire est l'exposition d'un corps à un flux de rayonnements en provenance du soleil. En météorologie, l'insolation ou ensoleillement désigne la quantité d'énergie reçue du soleil en un lieu. La terre est soumise à une irradiation solaire d'une puissance moyenne de 174 pettawatts (PW) et ainsi, chaque année, la terre reçoit environ 3 850 zettajoules (ZJ) d'énergie du soleil. L'irradiation solaire à la surface de la terre est, d'un point de vue technique, l'addition dans un intervalle de temps donné du rayonnement solaire filtré par l'interposition de l'atmosphère. La valeur de l'irradiation solaire en surface dépend de la période de l'année, de la latitude, de la météo locale et des heures de la journée [5].

### 2.3.1. Description des différentes irradiations.

❖ L'irradiation extraterrestre.

Elle est directement liée aux paramètres astronomiques (déclinaison, angle horaire, latitude) sans dépendre des paramètres météorologiques.

Le rayonnement extraterrestre est donné par la relation suivante :

$$G_0 = 1367 \times \sin h \times (1 + 0.03344 \times \cos((0.98 \times N) - 2.8)) \quad (\text{I.1})$$

$$\sin h = \sin(\phi) \times \sin(\delta) + \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) \quad (\text{I.2})$$

Où, la constante solaire, ' Gcs ' est égale à 1367 W/m<sup>2</sup>.

N représente le numéro du jour et  $\phi$  la latitude du lieu, soit (36°48'N).

Calcul de ' sin h '

La déclinaison solaire,  $\delta$ , est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial terrestre ne dépendant que du lieu et de la date.

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[ \frac{360}{365} \times (N + 284) \right] \quad (\text{I.3})$$

L'angle horaire,  $\omega$ , se mesure à partir de midi solaire. Il est positif avant midi et négatif l'après-midi.

$$\omega = 15 \times (12 - \text{TSV}) \quad (\text{I.4})$$

Avec,  $\text{TSV} = H + (\lambda / 15) + \text{Et}$

Avec : H : heure GMT ;  $\lambda$  : Longitude du lieu : (04°12' E) et ; Et : équation du temps qui s'exprime par la relation suivante :

$$\text{Et} = (9.87 \times \sin(2B) - 7.5 \times \cos B - 1.5 \times \sin B) \times 1 / 60 \quad (\text{I.5})$$

$$\text{Avec, } B = \frac{2\pi \times (N - 81)}{364} \quad (\text{I.6})$$

❖ Irradiation globale inclinée.

L'irradiation globale inclinée est constituée de trois composantes :

- La composante directe,  $G_{bi}$  ;
- La composante réfléchi de l'irradiation solaire,  $G_r$  ;
- La composante diffuse,  $G_{di}$ .

La modélisation des deux premières composantes, à savoir le direct et le réfléchi peuvent être obtenue à l'aide d'une relation simple. Par contre le problème réside en la modélisation de l'irradiation diffuse. Pour le calcul de la dernière composante, la connaissance de la position du soleil est insuffisante, il est nécessaire de tenir compte de la modélisation de l'état du ciel à tout moment de la journée, de  $K_t$  et de  $K_d$ .

## ❖ Irradiation directe inclinée.

La composante directe est donnée par la relation suivante :

$$G_{bi} = R_b \times G_{bH} \quad (I.7)$$

$$R_b = \cos\theta / \cos\theta_z \quad (I.8)$$

Avec,

$$\cos\theta = \sin\delta \times \sin\phi \times \cos\beta - \sin\delta \times \cos\phi \times \sin\beta \times \cos\gamma + \cos\delta \times \cos\phi \times \cos\beta \times \cos\omega + \cos\delta \times \sin\phi \times \sin\beta \times \cos\gamma \times \cos\omega + \cos\delta \times \sin\beta \times \sin\gamma \times \sin\omega \quad (I.9)$$

$$\cos\theta_z = \sin\phi \times \sin\delta + \cos\phi \times \cos\delta \times \cos\omega \quad (I.10)$$

## ❖ Irradiation réfléchie.

La composante réfléchie,  $G_r$ , est donnée par la relation suivante :

$$G_r = \rho \times \frac{G_H \times (1 - \cos\beta)}{2} \quad (I.11)$$

Où,  $\rho$ , représente le coefficient de réflexion de la lumière diffuse du sol et  $\beta$ , l'inclinaison du champ PV.

## ❖ Irradiation diffuse inclinée.

La conversion de l'irradiation diffuse horizontale en une irradiation diffuse sur une surface inclinée. Elle peut être représentée par la relation suivante :

$$G_{di} = G_d H \times F_c \quad (I.12)$$

Où  $F_c$ , est le facteur de conversion défini comme étant le rapport de l'irradiation diffuse inclinée sur l'irradiation diffuse horizontale. Afin d'évaluer l'irradiation diffuse horizontale, la littérature propose des modèles mathématiques qui utilisent des corrélations mathématiques entre  $K_t$  et  $K_d$ . Dans cette étude, neuf modèles sont décrits et présentés en trois parties. La fraction diffuse horaire est définie par la relation suivante :

$$K_d = G_d H / G_H \quad (I.13)$$

$K_t$  est défini comme étant le rapport entre l'irradiation globale horizontale,  $G_H$ , et l'irradiation extraterrestre,  $G_0$ .

$$K_t = G_H / G_0 \quad (I.14)$$

En remplaçant  $G_0$  par la relation donnée par l'équation (1.1),

$$K_d = 1 - 0.14 \times K_t - 0.037 \times \sinh \quad (I.15)$$

Le développement de la relation entre  $K_t$  et  $K_d$  analysée dans différentes littératures [2 ; 3] permet d'utiliser pour le site d'Alger, trois intervalles de  $K_t$ , tels que :

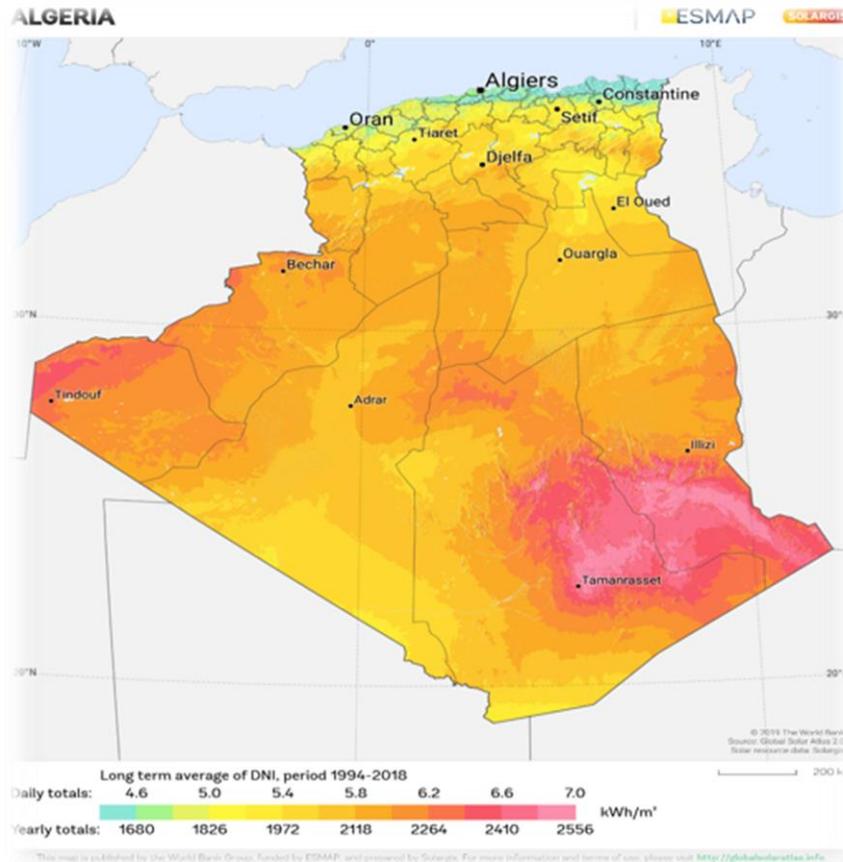
$$0 \leq K_t \leq 0.175 ; 0.175 \leq K_t \leq 0.87 ; K_t \geq 0.87 \quad (I.16)$$

L'évaluation de  $K_d$  va se faire à l'aide d'une première méthode en tenant compte des deux variables que sont  $K_t$  et  $\sinh$  et, d'une seconde méthode en négligeant l'effet de  $\sinh$  et ceci, afin

d'en dégager le ou les modèles qui répondent sans trop d'erreurs, au calcul de l'irradiation globale inclinée pour le site d'Alger.

#### 2.4. Potentiel solaire Algérien.

L'Algérie reçoit annuellement sur l'ensemble de son territoire une énergie solaire des plus importantes du monde (figure I.7). Elle s'élève à environ 5,2 millions de milliards de K/W/h/an, soit l'équivalent de 430 fois les réserves algériennes prouvées en hydrocarbures et 4,8 fois les réserves mondiales prouvées en pétrole [6].



**Figure I.7.** : Potentiel solaire en Algérie [7].

Le solaire est le potentiel le plus important en énergies renouvelables en Algérie. Il représente 169,44 TWh/an [7], soit 5000 fois la consommation algérienne en électricité. Ainsi, avec plus de 2 000 heures d'insolation par an et jusqu'à 3 900 heures sur les hauts plateaux et au Sahara, l'énergie solaire reçue quotidiennement sur le territoire algérien est de l'ordre de 1 700 KWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2 263 KWh/m<sup>2</sup>/an au Sud. Soit une moyenne de plus de 2200 KWh/m<sup>2</sup>/an (tableau I.2) [7].

**Tableau I.2.** Potentiel solaire en Algérie [7].

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale d'un mètre cube est de l'ordre de 5 KWh/m<sup>2</sup>/an sur la majeure partie du territoire algérien, soit près de 1700 KWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2650 KWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays [8].

### 3. Généralités sur énergie solaire photovoltaïque.

#### 3.1. Historique.

L'hélio-électricité, qui traite de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique est apparue en 1930 avec les cellules à oxydes cuivreux puis au sélénium, mais ce n'est qu'en 1954, avec la réalisation de premières cellules photovoltaïques au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell téléphone, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie. Très rapidement utilisées pour l'alimentation des véhicules spatiaux, leur développement et de rapides progrès ont été motivés par la conquête de l'espace. Au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre à progresser régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et même devenue familière des consommateurs à travers de nombreux produits de faibles puissances y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologique, pompes et réfrigérateurs solaires. Des événements tels que les courses de véhicules solaires offrant une image de haute technologie futuriste et écologique y ont également contribué [9].

#### 3.2. Définition.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie. L'association de plusieurs

cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension  $I(V)$  non linéaire et présentant un point de

puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble.

### 3.3. Fonctionnement des cellules photovoltaïques.

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le régime photovoltaïque est un régime où aucun potentiel n'est appliqué, mais où un courant circule à travers une charge.

Le système développe donc une puissance électrique. Le principe de fonctionnement de la cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs. La conversion de photons en électrons dans un matériau pouvant produire un courant électrique nécessite :

- Absorption des photons par le matériau (absorption optique) et la génération des porteurs de charges.
- Collecte des porteurs excités avant qu'ils ne reprennent leur énergie initiale (relaxation).

Une cellule photovoltaïque produit une tension de 0,5V en circuit ouvert. L'intensité du Courant fourni par cette cellule dépend des conditions environnantes et en fonction de la charge.

### 3.4. Différents types des cellules photovoltaïques.

Les cellules solaires sont faites de divers matériaux et différentes structures afin de réduire le coût et d'obtenir une efficacité optimale, le (tableau I.3) résume les différents types des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques [41].

**Tableau I.3.** Type des cellules photovoltaïques [41].

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristique	Principales Utilisations
<b>Silicium monocristallin</b>	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Très performant * Stabilité de production. * Méthode de production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
<b>Silicium poly-cristallin</b>	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production, Plus de 50% du marché mondial.	
<b>Amorphe</b>	5 à 8% (13% en laboratoire)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment.

### 3.5. Générateur photovoltaïque.

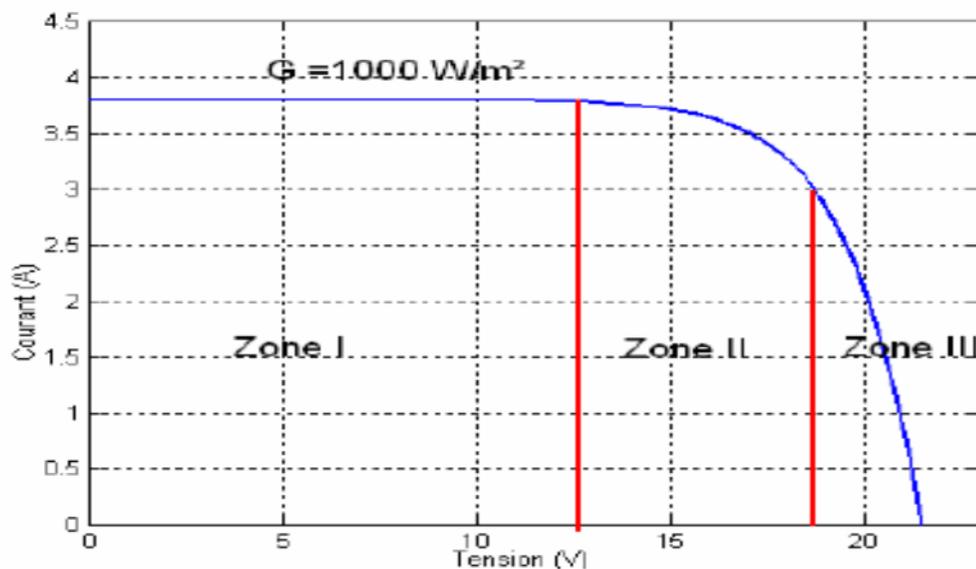
#### 3.5.1. Principe de fonctionnement.

Dans des conditions d'ensoleillement standard ( $1000\text{W/m}^2$  ;  $25^\circ\text{C}$  ; AM1.5), la puissance maximale délivrée par une cellule silicium de  $150\text{ cm}^2$  est d'environ  $2.3\text{ Wc}$  sous une tension de  $0.5\text{V}$ . Une cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de faible puissance, insuffisante en tant que telle pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait réalisés par association, en série et/ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires [6].

##### 3.5.1.1. Zones de fonctionnement du module solaire.

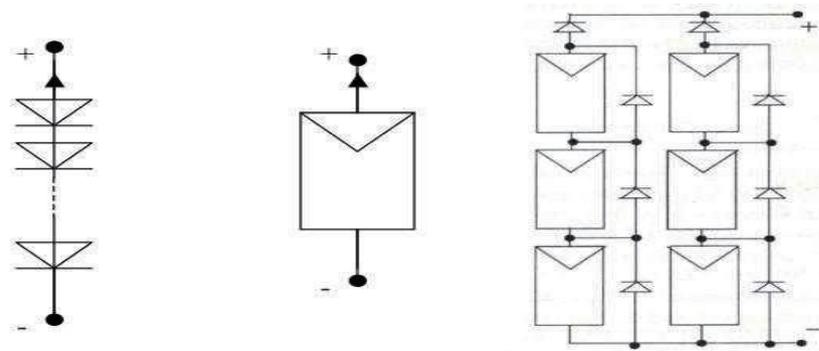
La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement ; seule la courbe  $I(V)$  est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque (figure I.8) représente trois zones essentielles :

- **La zone (I)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- **La zone (II)** : correspondant au coude de la caractéristique, la région intermédiaire entre les deux zones précédentes, elle représente la région préférée pour le fonctionnement du générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.
- **La zone (III)** : qui se distingue par une variation de courant correspondant à une tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension (figure I.8).



**Figure I.8.** Les différentes zones de la caractéristique  $I(V)$ ,  $T=25^\circ\text{C}$  [13].

Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium. Le rendement énergétique atteint industriellement est de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 % avec du silicium poly-cristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films minces. Typiquement une cellule photovoltaïque produit moins de 2 watts sous approximativement 0,5 Volt. Alors Pour produire plus de puissance les cellules sont assemblées pour former un module. Une association série de plusieurs cellules donne un module et une association série et/ou parallèle de plusieurs modules permet de réaliser un panneau photovoltaïque (figure I.9).

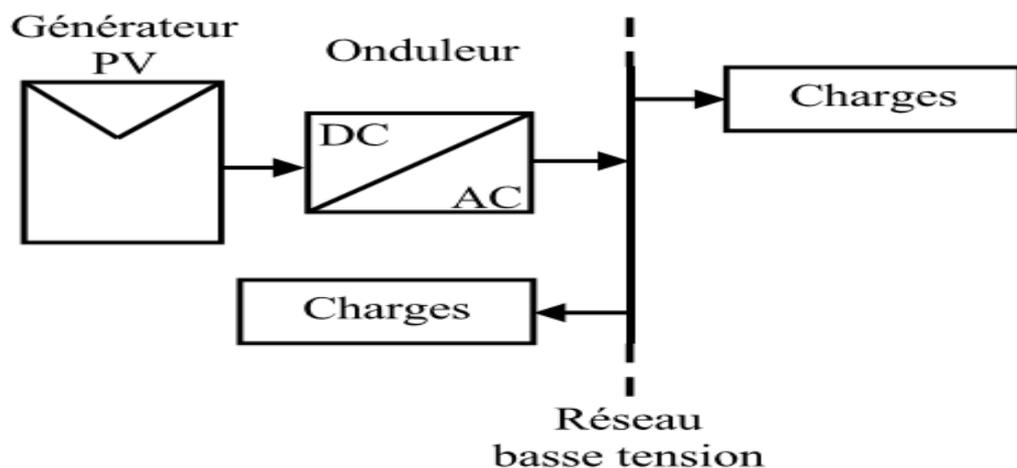


**Figure I.9.** Cellules, module et panneau photovoltaïques [14].

### 3.6. Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque.

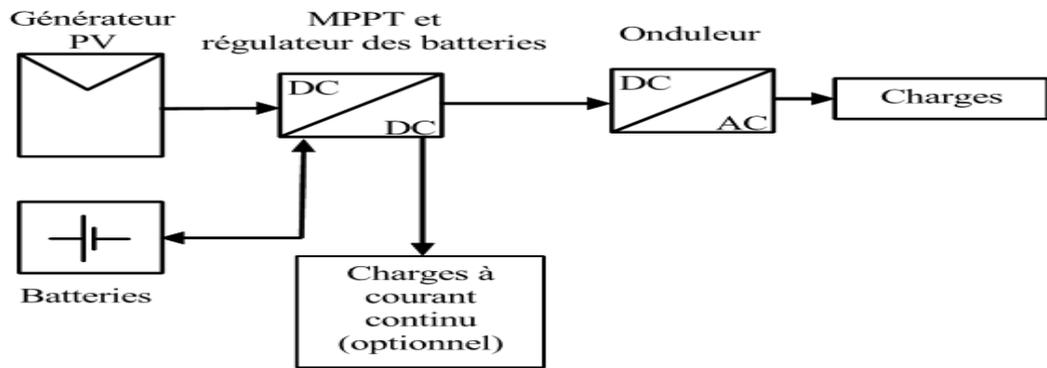
#### 3.6.1. Chaîne de conversion électrique.

Dans le cas d'installations autonomes, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc....) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée (figure I.10). Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 Volts alternatif [3].



**Figure I.10.** Installation photovoltaïque autonome [3].

Le système peut également être connecté au réseau. L'avantage du raccordement est de se dispenser du coûteux et problématique stockage de l'électricité. Un onduleur réversible est nécessaire si on a une charge à courant continu. Si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins (figure I.11).

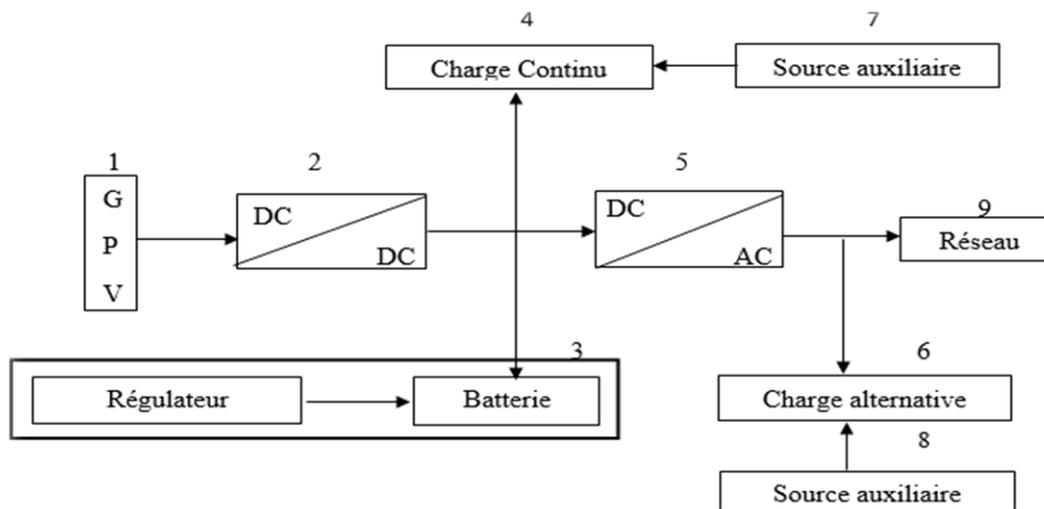


**Figure I.11.** Installation photovoltaïque couplée au réseau [3].

### 3.7. Configuration global du système PV.

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants :

- un générateur photovoltaïque ;
- un convertisseur statique continu / continu (DC/DC) ;
- un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC) ;
- Un système de régulation et de stockage ;
- une source auxiliaire d'appoints.



**Figure I.12.** Schéma synoptique global d'une installation photovoltaïque [18].

### **3.7.1. Système autonome sans batterie.**

Les systèmes photovoltaïques autonomes sans batterie sont représentés par les blocs (1) et (4) de la figure précédente. La charge de type continu est alimentée directement par le GPV, car la production d'énergie est suffisante pour le fonctionnement de la charge.

### **3.7.2. Système autonome avec batterie.**

Ces systèmes sont représentés par les blocs dans le cas où la charge est de type continu et les blocs si la charge est de type alternatif. La batterie sert à stocker de l'énergie produite par le GPV, alors l'énergie peut être utilisée de tout temps, même en l'absence de rayonnement solaire.

### **3.7.3. Système fonctionnant au fil du soleil.**

Ces systèmes font intervenir des convertisseurs DC/DC qui permettent de faire une adaptation entre le générateur et la charge continue. Si la charge est de type alternatif, le convertisseur DC/AC est introduit.

### **3.7.4. Système avec appoint électrique.**

Pour ces systèmes on introduit des générateurs auxiliaires qui n'interviennent qu'en cas d'insuffisances d'énergie électrique (manque de rayonnement solaire ou batteries déchargées), ces générateurs auxiliaires peuvent être de type continu et ; ou de type alternatif. Les sources auxiliaires peuvent être alimentées soit par le réseau soit par une autre source d'énergie.

## **3.8. Dimensionnement d'un système solaire PV.**

### **3.8.1. Définition.**

Dimensionner c'est fixer "la taille", les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration. La méthode de dimensionnement consiste à déterminer d'abord la puissance qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé selon les étapes suivantes :

#### **Étape 1 : Détermination des besoins de l'utilisateur :**

Il est nécessaire de connaître ses besoins en énergie, afin d'obtenir un système bien adapté, il faut remarquer que chaque exigence supplémentaire entraînera une augmentation de la puissance à mettre en œuvre, soit plus de panneaux, soit plus de batterie. Le (tableau I.4) représente le canevas à remplir concernant le bilan de puissance consommée, et qui nécessite de connaître les caractéristiques de consommation de quelques appareils que vous souhaitez utiliser [10].

**Tableau I.4.** Besoins de l'utilisateur.

Appareils	Puissance indicative(w)	Quantité	Temps de fonctionnement journaliers(H)	Besoin journalier (Wh)
Appareil 1	A1	B1	C1	$E1=A1*B1*C1$
Appareil 2	A2	B2	C2	$E2 =A2*B2*C2$
Appareil 3	A3	B3	C3	$E3 = A3*B3*C3$

### Étape 2 : Chiffrage de l'énergie solaire récupérable selon l'emplacement et la situation géographique :

La quantité de rayonnement captée par les panneaux solaires dépend inévitablement des conditions météorologiques (température ambiante, humidité relative...).

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par des organismes nationaux de météorologie ou par des calculs (outil informatique), qui exigent les paramètres d'entrées suivants : - Latitude. - Altitude. - Réflectivité du sol ou albédo. - Irradiation moyenne journalière la plus défavorable dans l'année, soit mesurée ou calculée [10].

### Étape 3 : Dimensionnement du générateur solaire ; Tension de fonctionnement et la puissance crête à installer :

- Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques.  
Un panneau solaire produit de l'électricité de manière intermittent à cause des variations d'éclairement du soleil. La puissance électrique qu'il fournit exprimée en watts, varie donc suivant les heures de la journée et des saisons. Pour pouvoir comparer la puissance entre panneaux, on utilise le Watt crête, une mesure qui correspond à la puissance maximale que pourra débiter le panneau dans les conditions d'éclairement optimal STC (Standard Test Condition). Ces conditions sont (1000W/m<sup>2</sup> ; 25°C ; AM1.5).
- Pour déterminer le nombre de panneaux, on s'intéressera d'abord à deux paramètres qui sont : la consommation moyenne journalière et l'irradiation incidente moyenne journalière reçue. On effectue le calcul sur la période la plus défavorable avec une inclinaison raisonnable des modules ou panneaux, on démarre par le calcul du nombre d'heures d'ensoleillement (Ne) maximal (h/j).

$$N_e = \text{Ensoleillement (Wh/m}^2\text{/j) (du pire mois)} / 1000 \quad (\text{I.17})$$

- Calcul de la puissance crête  $P_c$  du générateur photovoltaïque.

La puissance crête  $P_c$  de modules (en W) est donnée par la formule suivante :

Puissance crête = la moyenne de consommation journalière (kWh/j) / (nombres d'heures d'ensoleillement \* facteur d'efficacité).

$$P_c = E_{\text{con}} / (N_e * C_p) \quad (\text{I.18})$$

Détermination de la tension du système : Le choix de tension maximale d'un système dépend de la disponibilité du matériel, dépend encore de la puissance et l'énergie nécessaire.

**Tableau I.5.** Puissance et tension du système PV.

<b>Puissance du champ</b>	0-500 Wc	500 Wc -2 KWc	2KWc-10 KWc	Plus de 10 KWc
<b>Tension suggérée</b>	12V DC	24V DC	48V DC	Plus de 48V DC

- A partir de la puissance crête du panneau et la tension du système on peut déterminer le nombre des panneaux :
  - Nombres de panneaux en série : Tension du système / tension maximale du panneau ;
  - Nombre de panneaux en parallèle  $N_{PP} = P_c / (N_s * P_{\text{module}})$ . (I.19)

#### Étape 4 : choix de l'onduleur :

L'onduleur choisi doit accomplir les conditions suivantes :

- Tension d'entrée nominale (12V ; 24V ; 48V) avec une plage de variations admissibles tolérées par le constructeur ;
- Tension de sortie (220V ; 380V) ;
- Fréquence 50hz ;
- Le choix d'un onduleur photovoltaïque doit être d'une puissance supérieure à celle du système.

#### Étape 5 : choix du régulateur de charge :

Le choix du régulateur doit être basé sur ces conditions :

- La tension du régulateur est celle donné par le système PV ;
- Le courant doit satisfaire celui donné par le système.

#### Étape 6 : Dimensionnement des batteries :

Le dimensionnement des batteries (capacité) dépend de la consommation journalière, du nombre de jours d'autonomie, de la tension et du type de batterie, il s'exprime en Ah (Ah : Unité de mesure de capacité). L'utilisation des batteries va permettre de régler les problèmes de coupure due aux

changements climatiques. Capacité = (la consommation (Wh /j)\*nombres de jours d'autonomie) / (tension de système\*décharge maximale admissible \*efficacité). (I.20)

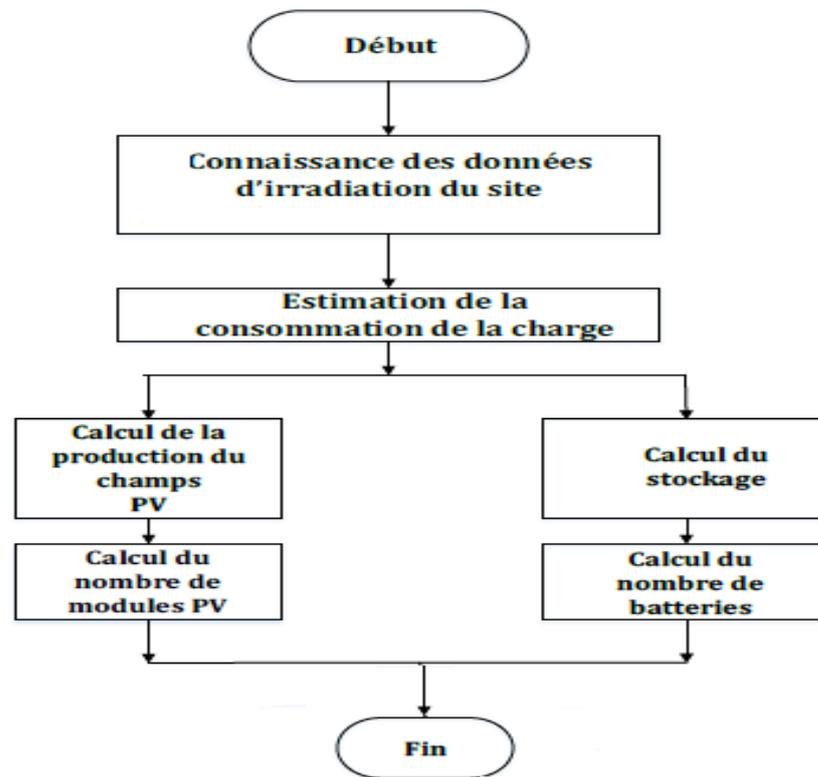


Figure I.13. Organigramme principal de dimensionnement du système PV [16].

#### 4. Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque.

##### ➤ Avantages.

- Haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux ;
- Caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du Milliwatt au Mégawatt ;
- Fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales ;
- Flexibilités, et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité ;
- Longue durée de vie ;

- Elimination des frais des risques de transport associé des énergies fossiles.

➤ **Inconvénients.**

- Fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ;

- Générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées ;

- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à 230V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (< 30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur ;

- Stockage de l'énergie électrique dans des accumulateurs qui sont les plus souvent des batteries au Plomb. Sachant que les batteries ne doivent pas se décharger à plus de 60% (70% maximum) de leur capacité maximale. En outre, les batteries ont une faible durée de vie (3 à 5ans), ce qui entraîne un surcoût au fonctionnement.

## **5. Énergie de biomasse.**

### **5.1. Historique.**

- **1812** : Une société gazière de Londres en Angleterre met à l'épreuve la première utilisation commerciale de la pyrolyse, un procédé qui consiste à chauffer de la biomasse dans un oxygène afin de produire une huile fluide [18].

- **1840** : Première utilisation commerciale d'un gazéifieur de biomasse. L'appareil est fabriqué en France.

- **1860** : Le bois est le principal combustible utilisé dans les maisons et les entreprises pour le chauffage et la cuisson. Le bois est également utilisé pour produire de la vapeur destinée à des applications industrielles ainsi que, pour propulser les trains et les bateaux.

- **1870** : Les gazéifieurs sont couplés à des moteurs pour la production d'électricité.

- **1876** : Le cycle d'Otto, inventé par le scientifique allemand Nicolaus August Otto, est le premier moteur à combustion à utiliser de l'essence à l'éthanol.

- **1880** : Henry Ford utilise l'éthanol pour alimenter une de ses premières automobiles, le quadricycle.

- **1890** : Le charbon commence à remplacer le bois pour la production de vapeur.

- **1900** : L'huile végétale est utilisée comme remplacement du diesel quand l'inventeur allemand Rudolf Diesel fait la démonstration qu'un moteur diesel peut fonctionner avec de l'huile d'arachide.

-**1908** : Henry Ford conçoit son modèle T avec l'idée que l'éthanol sera le combustible principal utilisé par les automobilistes. Il construit une usine de fermentation d'éthanol à Atchison au Kansas afin de produire du combustible.

-**1910** : Même si le bois demeure le combustible de choix dans les zones rurales, le charbon fait son apparition dans les habitations urbaines.

- **1930** : Le kérosène et le mazout commencent à remplacer le bois comme principale source d'énergie. Aux États-Unis, l'éthanol est largement utilisé pour alimenter les voitures durant les années 1920 et 1930.

Au cours des années 1930, plus de 2 000 stations-service du Mid West américain offrent du «gasohol» (de l'éthanol produit à partir de maïs) [19].

- **1945** : Après la deuxième guerre mondiale, l'industrie du carburant à l'éthanol cesse ses activités avec l'apparition de carburants à base de pétrole à prix abordable.

- **1950** : L'électricité et le gaz naturel remplacent le chauffage au bois dans la majorité des habitations et des édifices commerciaux.

- **1990** : Les préoccupations environnementales du public comme la pollution de l'air et le changement climatique incitent les gouvernements à utiliser davantage des sources d'énergie renouvelable comme la biomasse afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Aux États-Unis, la loi sur la lutte contre la pollution de l'air (Clean Air Act) oblige la vente de carburants oxygénés (comme les essences à l'éthanol) dans les régions du pays qui affichent des taux élevés de monoxyde de carbone. L'accroissement des préoccupations environnementales et des changements de politiques gouvernementales stimulent la production de biodiesel en Europe et aux États-Unis. Selon les Nations Unies, la consommation d'énergie biomasse représente environ 6,7 pour cent de la consommation totale d'énergie à l'échelle mondiale [19].

- **2000** : Un sondage réalisé par l'agence internationale de l'énergie auprès de 133 pays révèle que la biomasse représente 10,5 pour cent de la consommation totale d'énergie.

## **5.2. Définition.**

La biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture et de l'élevage des animaux, de la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux. La biomasse peut être utilisée principalement de deux manières [17] :

- Lors de la fermentation des déchets, le gaz méthane peut être capté et utilisé comme source d'énergie,

- La biomasse elle-même peut être incinérée. Dans tous les deux cas, l'énergie thermique peut être utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales thermiques. L'intérêt est que le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère lors de l'incinération de la biomasse ou le méthane est compensé par celui absorbé par la repousse des plantes qui, entre autre, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro (figure I.14) [17].

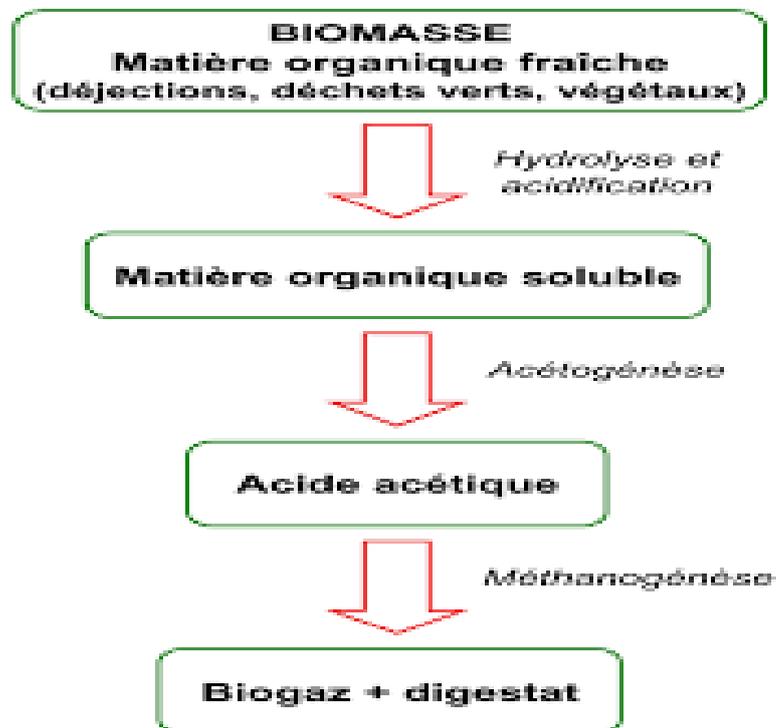


Figure I.14. Récapitulatif de l'ensemble des procédés [17].

### 5.2.1. La biomasse par combustion.

Les déchets sont directement brûlés en produisant de la chaleur, de l'électricité ou les deux (cogénération). Cela concerne le bois, les déchets des industries de transformation du bois et les déchets végétaux agricoles (paille, canne à sucre, arachide, noix de coco, etc.) [22].

### 5.2.2. La biomasse par méthanisation.

Les déchets sont d'abord transformés en un biogaz, par fermentation grâce à des micro-organismes (bactéries). Le biogaz est ensuite brûlé. Ce biogaz est proche du gaz naturel et majoritairement composé de méthane. Cela concerne les déchets ménagers,

Le fumier et lisier d'animaux, les boues de stations d'épuration, les papiers et cartons, etc. L'énergie biomasse n'émet presque pas de polluants et n'a pas d'impact sur l'effet de serre. La quantité de CO<sub>2</sub>, un gaz à effet de serre, qu'elle rejette, correspond à la quantité absorbée par les végétaux

pendant leur croissance. De plus, la valorisation du biogaz en électricité évite l'émission de méthane, un autre gaz à effet de serre, dans l'atmosphère. Il représente un potentiel énergétique très important, en provenance principalement des décharges, mais aussi des boues d'épuration et des déchets urbains et agricoles [22].

### 5.2.2.1. Méthanisation.

La méthanisation est un processus biologique de dégradation de la matière organique, par des bactéries, en absence d'oxygène et à température constante [22]. Ce processus conduit à la formation de deux produits :

- Un mélange gazeux composé majoritairement de méthane : le biogaz ;
- Un produit digéré contenant de la matière organique non dégradée, de la matière minérale (azote, phosphore, potasse, etc.) et de l'eau : le digestat (figure I.15).

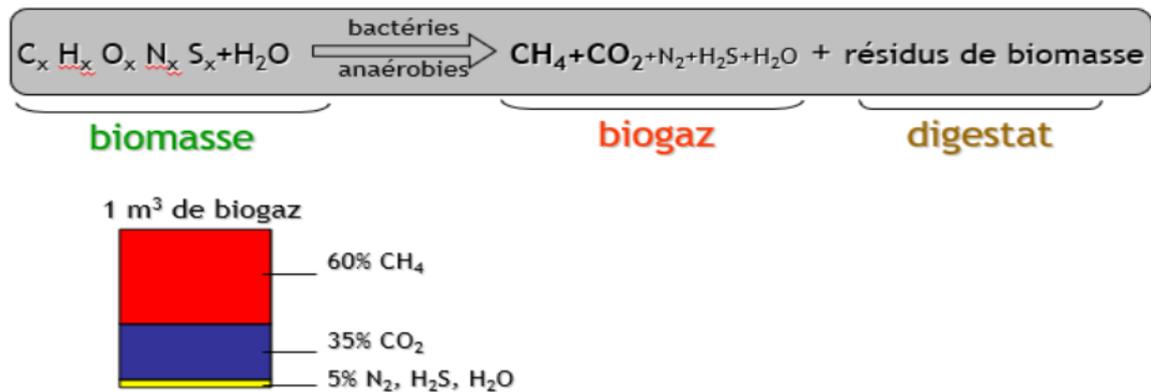


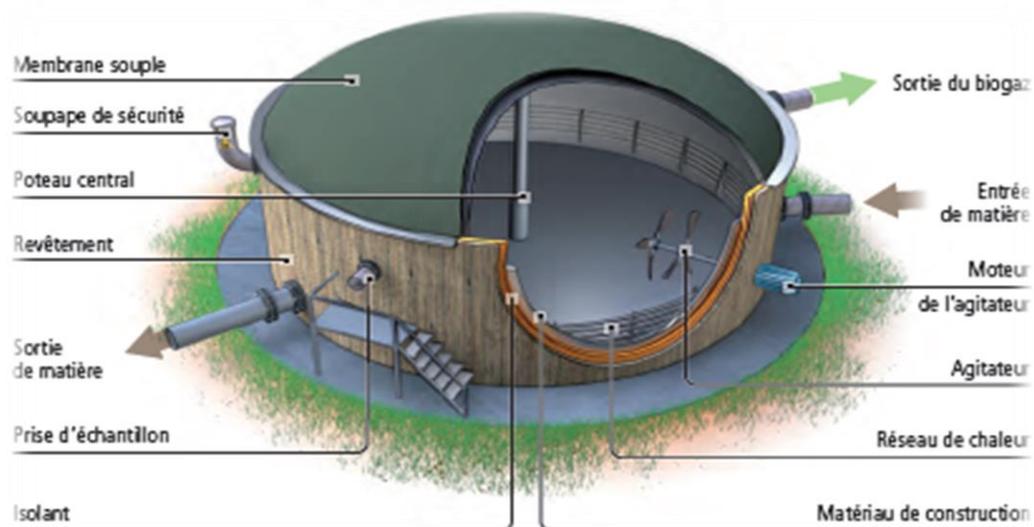
Figure I.15. Equation chimique de méthanisation [22].

### 5.3. Notion théorique sur l'énergie de biogaz.

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques en l'absence d'oxygène. C'est un gaz combustible composé essentiellement de méthane et de dioxyde de carbone. Il peut être brûlé sur son lieu de production pour obtenir chaleur et électricité ou, purifié pour obtenir du bio-méthane utilisable comme gaz naturel pour véhicules ou injectable sur le réseau de distribution de gaz naturel. La partie principale d'une installation de biogaz est le digesteur, qui est un récipient hermétique dans lequel les bactéries décomposent les déchets organiques par un processus de fermentation anaérobie. Cela génère un gaz (biogaz) qui est principalement du méthane et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Ce gaz peut être utilisé pour la cuisson, le chauffage et l'éclairage, et produire de l'électricité. Au fur et à mesure que plus de matière est ajoutée au digesteur, des déchets liquides (lisier) sont également produits, qui peuvent être utilisés comme engrais [20].

### 5.3.1. Digesteur de biogaz.

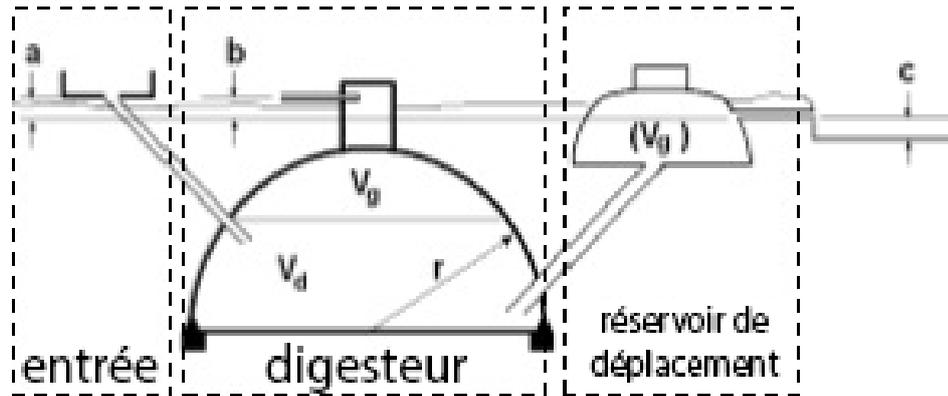
Les digesteurs de biogaz peuvent varier considérablement en capacité, allant des petites unités utilisées par les ménages, aux plus gros digesteurs communaux et industriels. Les matières premières ajoutées au digesteur peuvent inclure de nombreux types de biomasse tels que les déchets animaux, alimentaires et agricoles, mais les matériaux difficiles à digérer pour les bactéries (par exemple le bois) doivent être évités. La quantité de biogaz produite dépend d'une série de facteurs, notamment le type et la quantité de biomasse utilisée, la taille et la température du digesteur (figure I.16) [20].



**Figure I.16.** Schéma d'un digesteur [20].

Il existe un certain nombre de types de générateurs. Les trois types les plus courants dans les petites collectivités étant : le dôme fixe ; tambour flottant ; ballon. Bien que les dessins différents en détails, chacun a trois parties communes qui seront détaillées en termes de conception et construction pour chaque type de générateur [23] :

1. Digesteur : où la biomasse (lisier, fumier) est stockée et décomposée par les bactéries pour produire du biogaz ;
2. Détendeur de biogaz : une zone où le biogaz est stocké sous pression et peut être retiré (pourrait faire partie du digesteur) ;
3. Cuve de déplacement / débordement de lisier : méthode d'éliminer le lisier entièrement digéré et de prévenir sur pressurisation du biogaz (figure I.17).



**Figure I.17.** Schéma des pièces et paramètres du générateur [23].

- a = Hauteur d'entrée par rapport à la sortie de débordement de lisier ( $> 0,3$  m) ;
- b = Hauteur de sortie de gaz par rapport à la sortie de débordement de lisier ( $> 0,1$  m) ;
- c = Hauteur de sortie de débordement de lisier par rapport à la hauteur du lit de séchage de lisier / zone de compost / eaux usées sortie (suffisamment grande pour empêcher le rétro lavage dans le digesteur) ( $> 0,35$  m) [23].

#### 5.4. Caractéristiques de digestion.

La digestion anaérobie est un processus microbiologique de conversion de la matière organique, faisant intervenir essentiellement des populations bactériennes, ainsi que des protozoaires et quelques champignons anaérobies. On l'observe dans des biotopes variés, naturels ou artificiels, tels que les marais, les sédiments de lac, le rumen des herbivores ou encore les digesteurs de station d'épuration.

Le principe de la digestion anaérobie est décrit comme la conversion de la matière organique en biogaz, composée essentiellement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). On peut différencier trois types de digestion anaérobie selon les zones de températures dans lesquelles s'opère le processus soit basse, moyenne ou élevée, les limites variant d'un auteur à l'autre [23]:

- digestion psychrophile : basse température 15 à 25°C ;
- digestion mésophile : température moyenne 30 à 45°C ;
- digestion thermophile : température élevée 50 à 65°C.

Pour fonctionner de manière optimale, les micro-organismes anaérobies doivent recevoir régulièrement un substrat équilibré, c'est-à-dire un effluent contenant 15 à 30 fois plus de carbone que d'azote. Aux températures élevées, la décomposition et la production de biogaz sont plus rapides mais le processus est aussi plus sensible à la variabilité des substrats et de la température. La digestion thermophile permet une destruction plus complète des organismes pathogènes que les processus de digestion à basse ou moyenne température [25].

#### 5.4.1. Les facteurs influençant la digestion anaérobie.

Plusieurs facteurs environnementaux peuvent influencer le processus d'évolution de la digestion anaérobie.

➤ **La température :**

Les différents groupes bactériens de la digestion anaérobie sont sensibles à la température, car des changements brutaux de température peuvent entraîner un déséquilibre du processus qui pourrait entre autre ralentir une étape par rapport à une autre (les bactéries méthanogènes sont plus sensibles aux baisses de température que les bactéries fermentaires et acidogènes).

➤ **Le pH :**

Les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux valeurs de pH du milieu et ont un optimum entre 6,8 et 7,2. La digestion anaérobie se déroule normalement pour des pH compris entre 6 et 8 : en dessous de 6, l'activité des bactéries méthanogènes diminue rapidement et peut être complètement stoppée à partir de 5,5 alors que les bactéries acidogènes continuent à produire des acides gras volatils jusqu'à des pH voisins de 4,5.

➤ **Temps de location hydraulique :**

Le temps que le matériel reste dans le réacteur, le temps idéal est entre 10-40 jours.

➤ **La taille de particules du matériel d'entrée :**

Des tailles de particules inférieures à 5 centimètre sont idéales, cela permet aux microorganismes de dégrader le matériel plus rapidement.

➤ **Le rapport Carbone / Azote (C/N) :**

La relation entre la teneur en carbone et en azote de la matière organique est représentée par le rapport C/N. Il correspond au degré de minéralisation de la matière organique.

Concrètement, plus le taux d'azote est important, plus le rapport est bas et plus la vitesse de minéralisation est élevée. Pour la digestion anaérobie, le C/N optimal est compris entre 20 et 30. Un rapport plus élevé entraîne une consommation rapide de l'azote et conduit à une faible production de biogaz. D'un autre coté une trop faible valeur entraîne une accumulation d'ammoniac et des pH dépassant 8,5 sont toxiques pour les bactéries méthanogènes. Un rapport optimum peut être obtenu en mélangeant des déchets à faibles et à forts C/N, comme des déchets organiques solides avec des déjections animales [26].

#### 5.5. Fonctionnement de la méthanisation.

Étape 1 : **Hydrolyse** : Les bactéries décomposent de longues chaînes de glucides complexes et les protéines de la biomasse en molécules plus petites ;

Étape 2 : **Acidification** : Les bactéries productrices d'acides convertissent les petites molécules produites lors de la première étape en acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hydrogène ( $\text{H}_2$ ) et dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) ;

Étape 3 : **Formation de méthane** : (anaérobie). Les bactéries productrices de méthane convertissent l'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hydrogène ( $\text{H}_2$ ) et dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) en méthane ( $\text{CH}_4$ ) et en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Ce mélange de gaz est connu comme le biogaz (figure I.18).

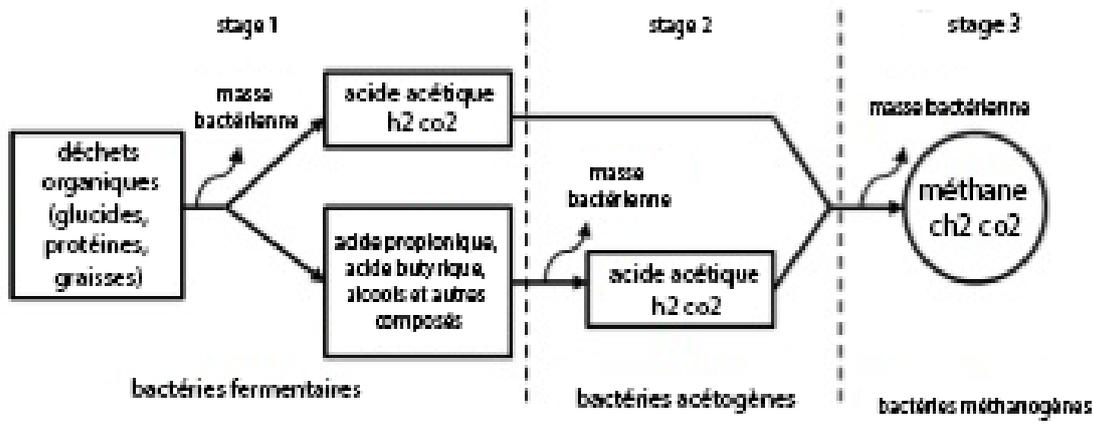


Figure I.18. Schéma de réaction de Biogaz [25].

Les composants typiques du biogaz sont présentés dans le (tableau I.6) ci-dessous.

Tableau I.6. Composants typiques du biogaz [24].

Composants	Symbole	Présence
Méthane	$\text{CH}_4$	50%-70%
Gaz carbonique	$\text{CO}_2$	30-40%
Hydrogène	$\text{H}_2$	5-10%
Azote	$\text{N}_2$	1-2%
Autres gaz	$\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_2\text{S}$	traces

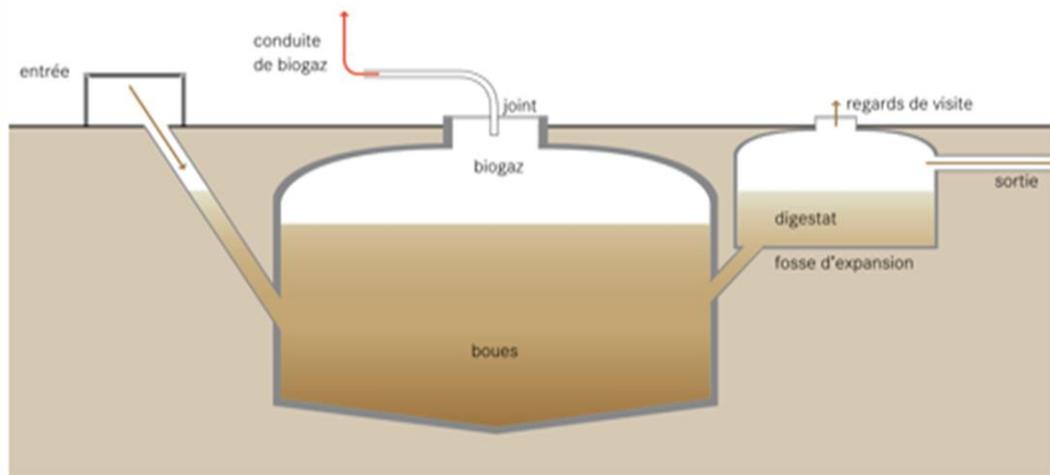
## 5.6. Types de digesteurs.

### 5.6.1. Digesteur à dôme fixe.

Les déchets collectés sont introduits dans le digesteur où ils sont collectés et décomposés, produisant du biogaz qui est stocké dans la partie de support de gaz du digesteur hémisphérique. Comme la pression du biogaz augmente d'autant plus le volume de lisier qui est déplacé dans le réservoir de déplacement. Excès la boue du réservoir de déplacement sera enlevée, séchée ou

composté et utilisé pour l'engrais ou débordera dans un sortie des eaux usées ou lit de lisier / compostage. Le biogaz est éliminé du réservoir de gaz et peut être utilisé pour la cuisson, l'éclairage et chauffage. Le générateur à dôme fixe est communément appelé conception «chinoise» et peut être utilisé à petite échelle (ménage) ou à plus grande échelle (ferme) [20].

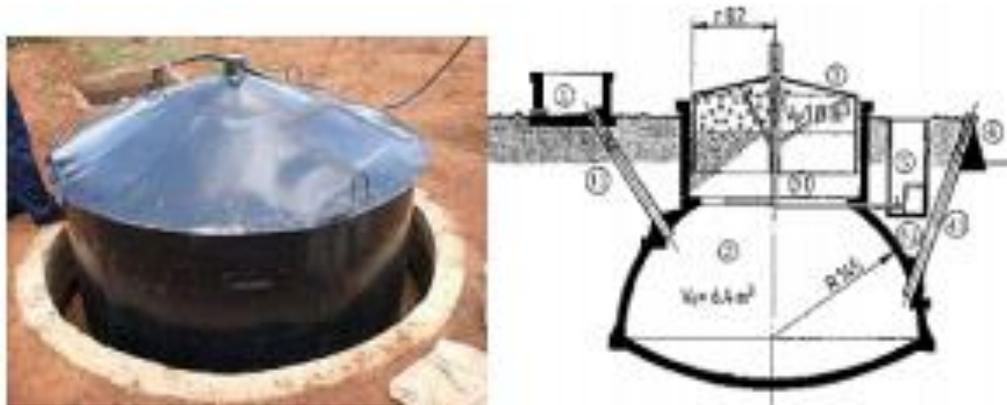
La construction consiste en un digesteur souterrain (généralement, base plate avec un haut hémisphérique) recouvert de la terre jusqu'au sommet du réservoir de gaz afin de contrecarrer la pression du gaz. Les tuyaux en plastique ou les tunnels de maçonnerie fournissent l'entrée / sortie du digesteur. Des briques et du mortier sont utilisés pour créer la structure, dont l'intérieur doit être rendu et enduit dans un imperméable à l'eau, et résistant aux gaz comme indiqué dans la (figure I.19) [20].



**Figure I.19.** Digesteur à dôme fixe [20].

### 5.6.2. Tambour flottant.

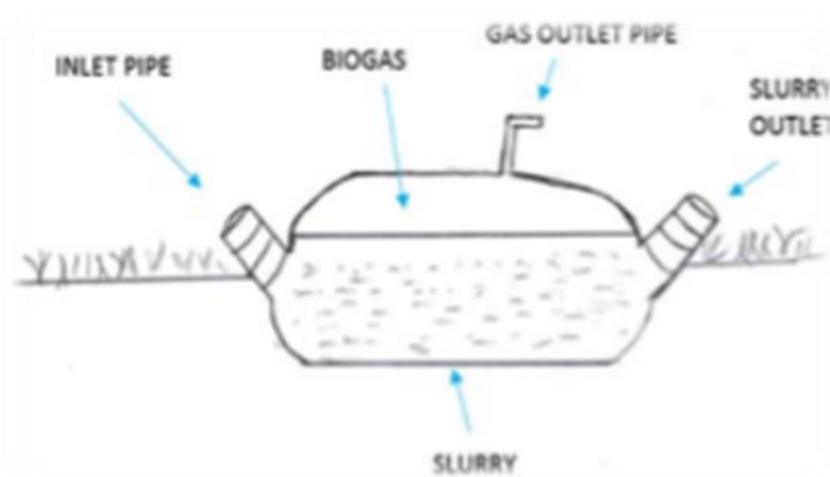
Comme pour les générateurs à tambour fixe, la construction se compose d'un digesteur de maçonnerie souterrain (souvent de forme cylindrique). La zone de stockage de gaz se compose d'une structure en acier fermée retournée (tambour) qui flotte dans l'eau qui entoure l'ouverture du digesteur (ou sur le lisier lui-même). Le biogaz est exploité du haut du tambour en acier et utilisé pour la cuisson, éclairage, etc. A mesure que le gaz est produit et que la pression du gaz augmente le tambour en acier flotte plus haut dans l'eau - lorsque le gaz est utilisé et la pression du gaz baisse, le poids du tambour le force à flotter inférieur. Le générateur à tambour flottant est connu sous le nom de conception «indienne» et sont largement utilisés à petite échelle (domestique) (figure I.20) [22].



**Figure I.20.** Tambour flottant [22].

### 5.6.3. Ballon.

Le générateur de ballons utilise une vessie en plastique flexible comme le digesteur et le réservoir de gaz combinés. D'une manière similaire aux 2 modèles précédents, l'entrée et la sortie sont situés aux extrémités opposées du ballon, ce qui permet pour que la suspension soit digérée et produise du gaz qui se déplace à l'intérieur de la structure. Les roches ou les poids peuvent être ajoutés au sommet du ballon pour augmenter la pression du gaz. Le gaz est prélevé par le haut du ballon comme le montre la (figure I.21) [19].

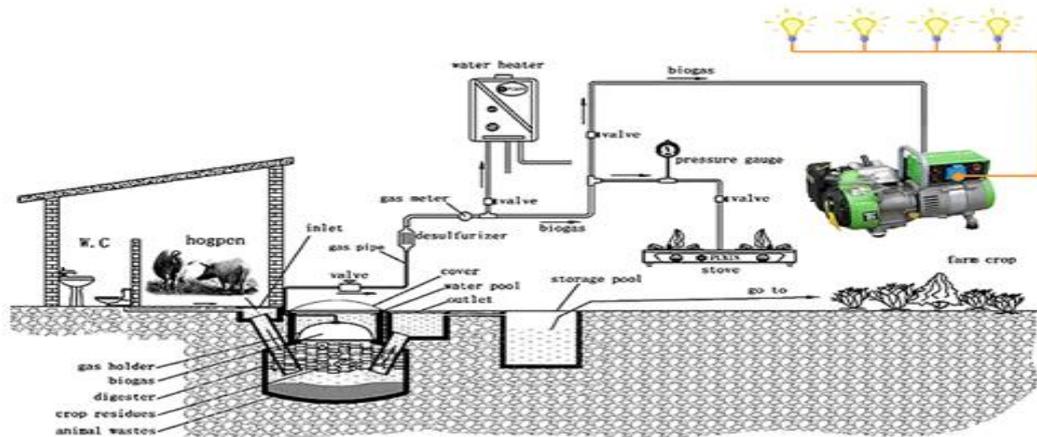


**Figure I.21.** Digesteur à ballon [19].

## 5.7. Dimensionnement d'une installation de biogaz.

Le dimensionnement d'une installation du biogaz se fait par des étapes est basées sur l'électricité [19] :

- La demande énergétique journalière ;
- Le potentiel de la matière organique primaire journalière (figure I.22).



**Figure I.22.** Utilisation d'une installation du biogaz pour générer l'électricité [19].

### Étape1 : Acquisition des données requise :

À des fins d'analyse, il est nécessaire de calculer la quantité de fumier de vache à alimenter quotidiennement dans le digesteur pour générer une certaine quantité d'énergie, ainsi que la quantité d'eau pour diluer le fumier, et le volume du digesteur pour convertir le fumier en biogaz. Les calculs sont effectués en fonction de la quantité d'énergie que vous souhaitez être généré. D'après des recherches antérieures, 100 grammes ou 0,1 kg de fumier de vache produiront potentiellement du biogaz qui peut être utilisé pour générer une puissance de 0,008973 kWh [19], le taux de fumier de vache doit être alimenté au digesteur pour générer la quantité d'énergie électrique demandé en ms (kg / jour), peut être calculée par la formule :

$$ms = \frac{E}{0.008973} \times 0.1 \quad (I.21)$$

Avec E : l'énergie électrique à générer (kWh / jour).

Le taux d'eau pour diluer le fumier est calculé sur la base du bon ratio fumier et eau dans le processus de biogaz qui est 1: 1 [20]. Le débit d'eau à alimenter dans le digesteur pour produire le biogaz (ma, kg / jour) est calculé par :

$$ma = \frac{1}{1} \times ms \quad (I.22)$$

Le taux d'alimentation total du digesteur (mt, kg / jour) est la somme du taux de fumier et du taux d'eau, comme suit :

$$mt = ms + ma \quad (I.23) \quad \text{Étape2 :}$$

### Calcul de volume de digesteur :

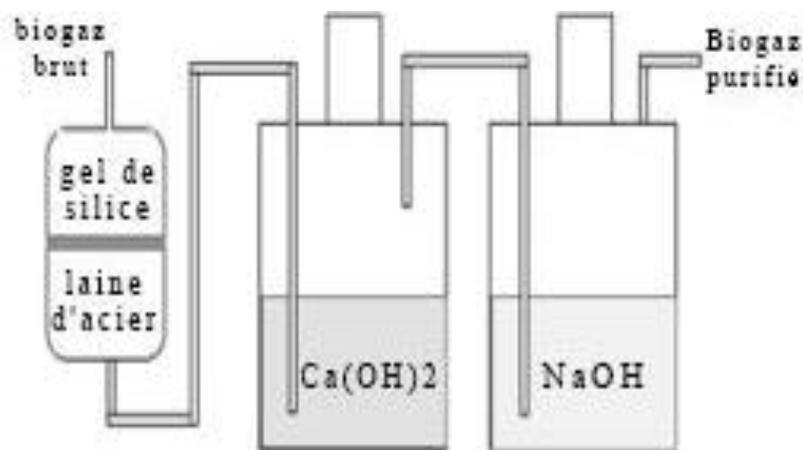
La taille du digesteur, c'est-à-dire le volume du digesteur, est déterminée par la durée du temps de rétention et par la quantité du lisier fournie quotidiennement. La quantité de lisier de fermentation se compose de la matière première (par exemple, le fumier de vache) et de l'eau de mélange [21].

Volume du digesteur ( $m^3$ ) = alimentation quotidienne ( $m^3/$  jour)\*durée de rétention (jours)  
(I.24)

Durée de rétention : la durée que le lisier reste dans le digesteur.

### Étape 3 : Purification du biogaz :

L'utilisation du biogaz comme source d'énergie efficace dépend fortement de sa concentration de méthane [22]. Par conséquent, la purification du biogaz est fait pour éliminer les impuretés telles que le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) et la vapeur d'eau augmenter la concentration de méthane dans le biogaz pour avoir un combustible de plus haute valeur calorifique et plus d'énergie par unité de volume de biogaz comprimé. La (figure I.23) montre la configuration d'épuration chimique du biogaz [22].



**Figure I.23.** Installation expérimentale d'épuration chimique du biogaz [22].

### Étape 4 : Génération de l'énergie :

Le générateur consomme du carburant (biogaz) pour produire de l'électricité. Par conséquent, Le système de génération de l'énergie est composé de la combinaison d'un moteur à combustion interne (ICN) et un générateur synchrone ou alternateur. Dans la plus part des cas, des groupes électrogènes portables sont utilisés. Le choix de la taille du groupe électrogène dont on a besoin, dépend de la consommation quotidienne. Les groupes électrogènes consomment environ 0,5-0,9  $m^3$  de biogaz pour générer chaque KWh (figure I.24) [23].

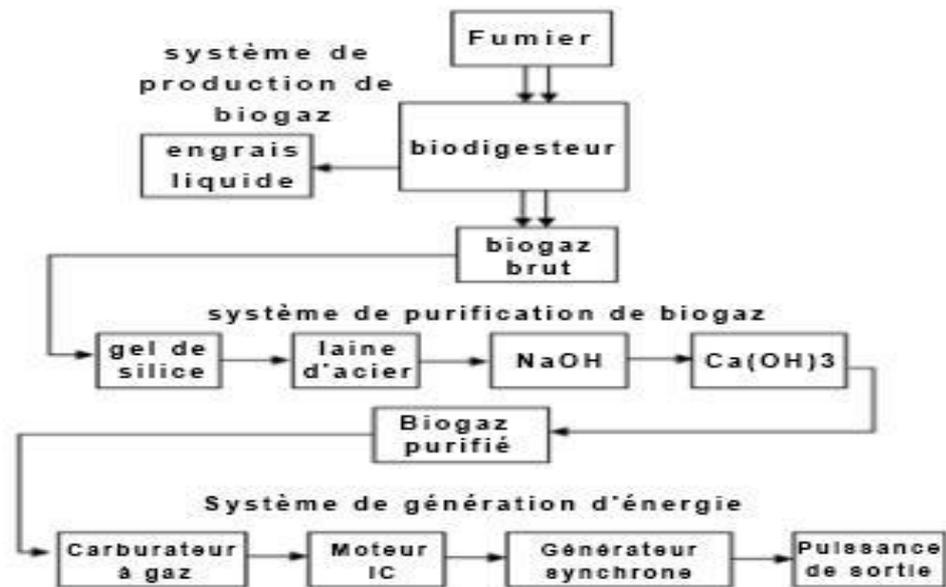


Figure I.24. Diagramme du système de production d'électricité au biogaz [23].

## 6. Avantages et inconvénients du biogaz.

### ➤ Avantages.

- C'est une source d'énergie renouvelable :

Les matières premières utilisées dans la production de biogaz sont renouvelables. Les arbres et les cultures croîtront continuellement, ce qui signifie que le fumier, les restes de nourriture et les résidus de récolte seront constamment disponibles.

- C'est écologique :

La production de biogaz se fait sans oxygène, ce qui signifie techniquement qu'il n'y a aucune forme de combustion impliquée. Aucune combustion, ce signifie qu'il n'y a aucune émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cependant, le dioxyde de carbone est produit lors du processus de dégradation biologique (digestion anaérobie), ainsi qu'au cours de l'utilisation du biogaz. La différence est que le dioxyde de carbone produit est beaucoup moins élevé que celui produit par les combustibles fossiles. En fait, la quantité de dioxyde de carbone produite lors de l'utilisation du biogaz est égale à la quantité nécessaire à la croissance des plantes. Cela, en quelque sorte, équilibre le dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

- Fiable : Le fait qu'il soit produit à partir de sources renouvelables le rend fiable. D'autres sources d'énergies renouvelables, comme le solaire et l'éolien dépendent des conditions météorologiques ou des facteurs diurnes pour produire continuellement de l'électricité. La production de biogaz se poursuit quelle que soit la météo. Le processus de production de biogaz se poursuit sans interruption (24/24).

-Réduit la quantité de déchets allant aux décharges : Les décharges qui débordent ont des impacts environnementaux tels que, des odeurs nauséabondes et des liquides toxiques s'écoulant dans des sources d'eau souterraines. Au lieu de jeter ces matières organiques dans les décharges, elles peuvent être utilisées pour produire du biogaz.

➤ **Inconvénients.**

- Peu de progrès technologiques : Aujourd'hui, les systèmes utilisés dans la production de biogaz ne sont pas efficaces. Il n'y a pas encore de nouvelles technologies pour simplifier le processus et le rendre abondant et, à faible coût. Cela signifie qu'une production à grande échelle pour satisfaire une grande population n'est toujours pas possible. Bien que les usines de biogaz disponibles aujourd'hui soient capables de répondre à certains besoins énergétiques, la plupart des particuliers et des gouvernements ne sont pas disposés à investir massivement dans le secteur. Cet aspect a conduit de nombreuses personnes à installer des systèmes de biomasse dans leurs maisons, qui manquent de capacité ;
- Contient des impuretés : Le biogaz contient toujours des impuretés même après raffinage et compression. Lorsqu'il est utilisé comme carburant pour alimenter des automobiles, il peut corroder vos moteurs et entraîner des coûts d'entretien extraordinaires ;
- Cela ne peut pas fonctionner dans tous les pays : La production de biogaz n'est possible que dans certains endroits où les matières premières sont abondantes. Les zones rurales offrent les meilleurs emplacements pour construire des usines de biogaz. Cependant, il est impossible de construire des usines de biogaz dans les grandes villes ;
- Non viable économiquement : Par rapport à d'autres biocarburants, la production de biogaz n'est pas attrayante économiquement, surtout à grande échelle. Il est difficile de renforcer l'efficacité des usines de biogaz, ce qui explique pourquoi les gens et la plupart des gouvernements hésitent à investir dans ce domaine [18].

## **7. Objectif général de notre travail.**

Il s'agit de produire l'énergie électrique et alimenter la ferme d'élevage de l'université Abdelhamid Ibn Badis (SNV), à Hassi-Maméche–Mostaganem par l'étude de dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-biomasse connecté au réseau. Il s'agira donc de contribuer à la protection de l'environnement et d'avoir une bonne gestion pour la consommation électrique. Les objectifs spécifiques visent à :

- Identifier et choisir quelques charges pour lesquelles on veut produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie par les systèmes hybride PV-Biomasse ;
- Faire l'étude de faisabilité du projet et étude sommaire d'impact environnemental ;

- Analyser la stratégie de gestion de consommation électrique.

### **7.1. Matériels et méthodes.**

D'abord nous partirons du bilan de puissance et du bilan énergétique global de la structure, pour définir les charges électriques à prendre en compte par l'étude technique de faisabilité. Ensuite, nous ferons le dimensionnement de la mini-centrale nécessaire. Enfin, nous ferons une étude technique de faisabilité du projet après analyse de la possibilité de généralisation. Les différentes étapes de cette méthodologie et les matériels nécessaires sont décrits à travers les points suivants :

#### **7.1.1. Etude technique.**

Pour la présentation de la charge à alimenter par la mini- centrale (PV-Biomasse) nous avons déduit une puissance nécessaire pour les installations électriques pour la ferme d'élevage de Hassi-Maméche. Afin de rendre réalisable cette mini-centrale de notre étude, il est préférable de ne prendre en compte qu'une partie de cette installation [16]. C'est pourquoi, dans le cadre de la présente étude, nous avons ciblé :

- l'éclairage extérieur ;
- les équipements des laboratoires et d'administration ;
- l'éclairage interne.

#### **7.1.2 Collecte des données.**

Les données nécessaires pour la réalisation de ce travail sont recensées depuis l'administration de la ferme.

Ces données seront utilisées pour le dimensionnement et l'installation du système hybride PV-Biomasse.

## **8. Conclusion.**

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur deux systèmes très populaires actuellement dans le marché de la production d'énergie électrique d'origine renouvelable, les systèmes de biomasse et les systèmes solaires. La première partie du chapitre a été consacrée aux systèmes solaires et plus précisément ceux d'origines photovoltaïques. La seconde partie et après un rappel des notions élémentaires nécessaires à la compréhension de la chaîne de conversion de l'énergie de biomasse en énergie électrique, les différents types des digesteurs et leur principe de fonctionnement ont été décrits.

## **Introduction.**

Pour un développement durable, le recours à l'utilisation des systèmes énergétiques à sources d'énergies renouvelables est devenu indispensable. Néanmoins la solution technologique nouvelle proposée par les installations hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif. Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir-faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer.

Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle grâce à des logiciels très performants. Ces installations hybrides vont connaître, à moyen terme un intérêt certain grâce à leur flexibilité vis-à-vis des sources d'énergie primaire. Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes caractéristiques du système hybride photovoltaïque-biomasse, en basant sur les différentes définitions des constitutifs de ce système.

### **1. Définition du système d'énergie hybride (S.E.H).**

Un système hybride à sources d'énergie renouvelables (SHSER) est un système électrique, comprenant plus d'une source d'énergie, parmi lesquelles une au moins est renouvelable. Le système hybride peut comprendre un dispositif de stockage. D'un point de vue plus global, le système énergétique d'un pays donné peut être considéré comme un système hybride. Les sources d'énergie comme le soleil et la biomasse ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue [15].

#### **1.1. Classification.**

Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi :

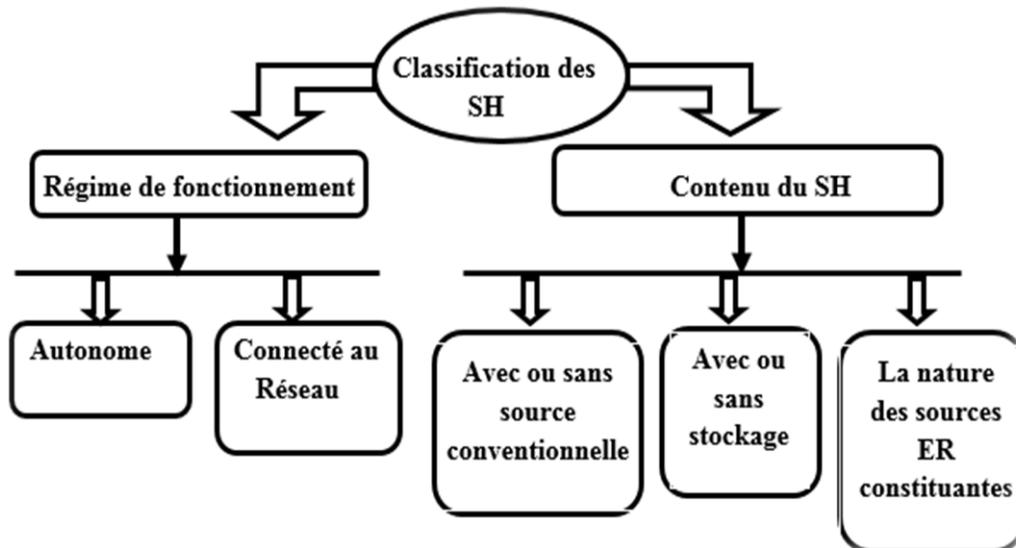
##### **1.1.1. Suivant le régime du fonctionnement.**

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectés réseau. Ils contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique par exemple, les refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière, les relais de télécommunications, les pompes à eau en désert, etc [15].

### 1.1.2. Suivant la structure du système hybride.

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système :

- Le premier critère est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une turbine à gaz [15].
- Le second critère possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, une STEP etc. ....
- La dernière classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc. Une généralisation de la classification présentée est illustrée sur la (figure II.1).



**Figure II.1.** Classification des systèmes hybrides [15].

### 1.1.3. Classification des études générales.

Cette classification est basée sur les critères d'optimisations et les logiciels utilisés.

➤ **Critères d'optimisation.**

Différents critères sont utilisés pour optimiser le système hybride en fonction du site d'installation. Les critères les plus fréquemment utilisés sont :

➤ **La probabilité de perte de la charge (LOLP).**

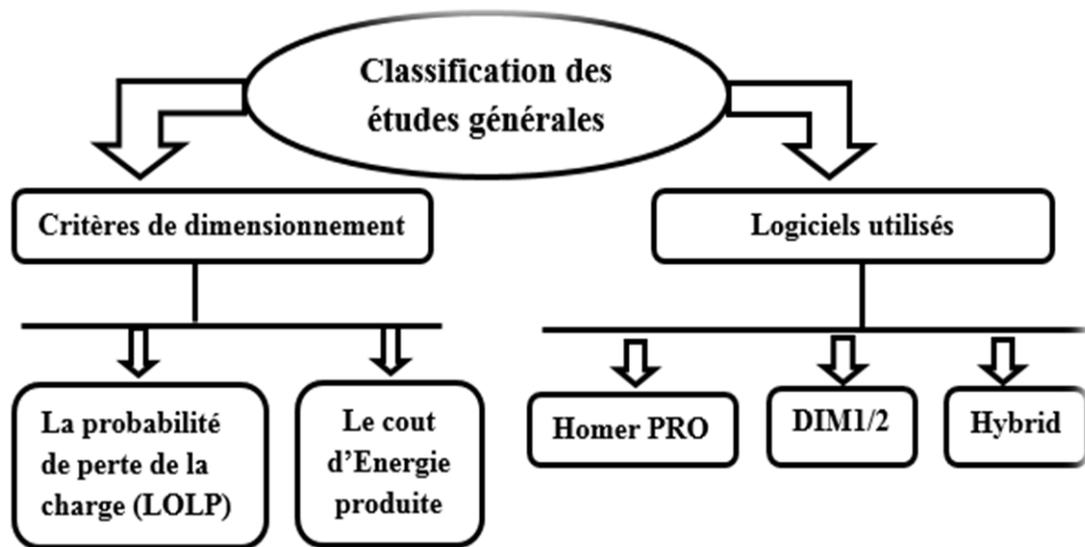
La probabilité de perte de la charge (LOLP) ou la probabilité de perte d'approvisionnement (LOPSP), ces deux critères sont univoques et rendent compte du rapport énergie non satisfaite et énergie totale consommée sur la période d'étude choisie. En général, le calcul de ce paramètre est réalisé en utilisant l'équation (II.1).

$$LOLP = \frac{\sum_{i=1}^m (E_{load,i} - E_{prod,i})}{\sum_{i=1}^m E_{load,i}} \quad (II.1)$$

où  $E_{load,i}$  est l'énergie demandée par le consommateur pour la période  $i$ ,  $E_{prod,i}$  est l'énergie produite,  $m$  est le nombre de périodes pour lesquelles la recherche est réalisée.

➤ **Coût de l'énergie produite (COEP).**

Diverses approches sont utilisées pour le calcul du coût : il dépend de l'énergie demandée par le consommateur, du coût d'investissement initial pour l'achat des composants du système, du coût de leur installation, du coût de maintenance et de Remplacement pour les éléments qui ont une vie d'exploitation plus courte que celle de l'élément qui définit la vie.



**Figure II.2.** Classification des études [15].

## 2. Présentation du système hybride photovoltaïque-biogaz.

Un système hybride, composé de deux sous-systèmes à sources d'énergies renouvelables (Biogaz et PV) fonctionnant en parallèle avec le réseau afin de satisfaire les besoins des consommateurs [27].

Les sous-systèmes à sources d'énergie renouvelables choisis sont de type photovoltaïque (les modules, batteries, convertisseur) et Biogaz (digesteur et générateur biogaz).

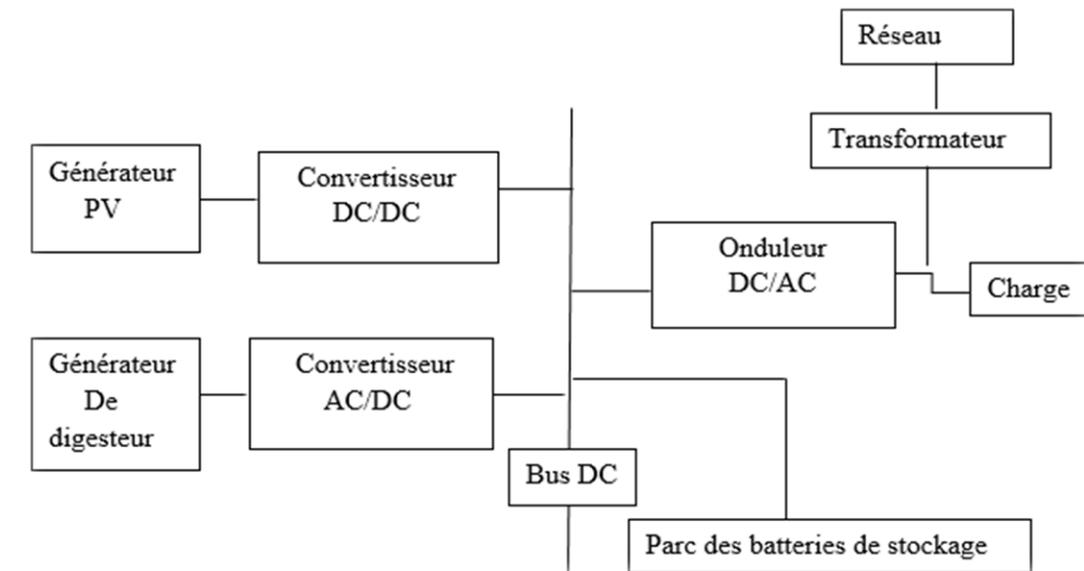
L'intérêt d'avoir le système (PV-Biogaz) est d'avoir plus d'énergie, mais il risque de produire trop d'énergie à certains moments et pas assez à d'autres, la solution alors demeure dans le stockage, l'excès d'énergie produit par le système est stocké. Dans le cas d'un manque d'énergie produite par le système hybride, le consommateur est alors alimenté par le stockage quand celui-ci le permet. En couplant ces systèmes et en les associant à un dispositif de stockage de l'énergie, nous aurons alors les avantages suivants :

- Exploitation du système sans interruption ;
- Possibilité de préserver le surplus d'énergie produite par ce système ;
- Sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques.

## 3. Système de conversion d'énergie hybride.

Ce système est caractérisé par deux sources énergétiques (photovoltaïque et biomasse) : le générateur photovoltaïque (PV) est connecté à la charge par un convertisseur DC/DC commandé en MPPT (Maximal Power Point Tracking), et le digesteur de biogaz entraîne un groupe

électrogène qui lui-même est connecté à la charge par un convertisseur AC/DC commandé. Le couplage des deux systèmes est fait par l'intermédiaire d'un bus continu, comme l'indique la (figure II.3).



**Figure II.3.**Schéma du principe du système hybride photovoltaïque-biogaz.

#### 4. Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque-biogaz.

Le système est composé de :

- Générateur PV ;
- Générateur de digesteur ;
- Système de régulation ;
- Convertisseurs de puissance (DC/DC – DC/AC) ;
- Les Batteries de stockage ;
- La charge ;
- Transformateur.

Le système générateur est composé par les modules photovoltaïques et le générateur photovoltaïque. Il est indispensable que les deux fonctionnent à la même tension nominale 12 ou 24 V et en courant continu. La régulation doit tenir compte du fait qu'il s'agit de deux courants de natures différentes :

- Le photovoltaïque assez constant d'un seuil bas ;
- Le biogaz, très variable.

Le système de régulation se chargera donc de faire fonctionner le système générateur en un point optimal pour la charge des batteries [11].

## 5. Modélisation des composants du système hybride photovoltaïque-biogaz.

### 5.1. Modélisation du système PV.

#### 5.1.1. Modélisation du générateur PV.

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïque élémentaires montées en série et/ou parallèle. Un groupe de panneaux PV de ns cellules montées en série et np cellules en parallèle est modélisé par le schéma de la (figure II.4) [9].

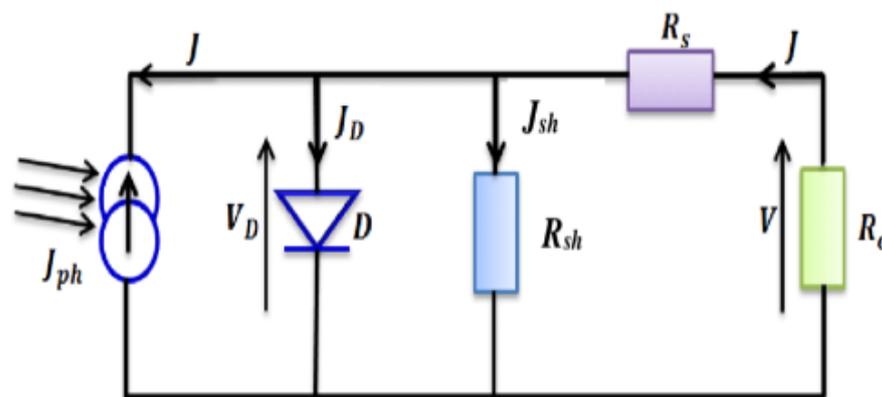


Figure II.4. Schéma électrique équivalent d'un générateur PV [39].

Ce modèle consiste en un générateur de courant  $I_{ph}$  monté en parallèle avec une diode, une résistance série  $R_s$  et une résistance parallèle (résistance shunt)  $R_{sh}$ . Ce circuit peut être utilisé pour une seule cellule, de même que pour un module constitué de plusieurs cellules ou pour un champ constitué de plusieurs modules. Le courant généré par un module photovoltaïque constitué de  $N_s$  cellules en série, en fonction de la tension  $V$  aux bornes est donné par la relation :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + R_s I}{n V_t} - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (II.2)$$

Avec:  $I_{ph}$ , Photo-courant du module;  $I_0$ , Courant de saturation inverse de la diode;  $n$ , Facteur d'idéalité de la jonction ( $1 \leq n \leq 1.5$ );  $q$ , Charge de l'électron;  $k$ , Constante de Boltzmann;  $T$ , Température des cellules variant en fonction de l'éclairement et de la température ambiante par la relation:

$$T - T_a = G / 800 \times (NOCT - 20) \quad (II.3)$$

Avec :  $T_a$ , Température ambiante ;  $NOCT$ , Tension nominale de fonctionnement de la cellule (Nominal Operating Cell Temperature) dans les conditions suivantes,

$G = 800 \text{ W/m}^2$  ;  $AM1.5$  ;

$T_a = 20\text{ C}^\circ$  ; Vitesse de vent supérieure à 1m/s.

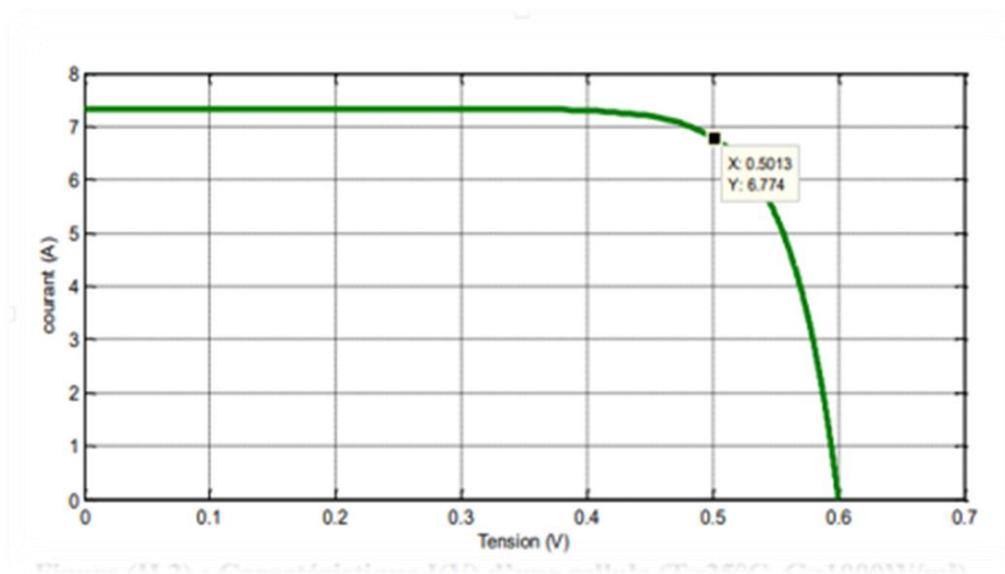
$V_t$  est la tension thermique du module pour un nombre  $N_s$  de cellules en série et définie par :

$$V_t = \frac{N_s K T}{q} \quad (\text{II.4})$$

Les paramètres du modèle sont : la résistance série  $R_s$ , la résistance shunt  $R_{sh}$ , la photo courant  $I_{ph}$ , le courant de saturation inverse de la diode  $I_0$  et le facteur d'idéalité de la diode  $n$  [39].

#### 5.1.1.1. Caractéristique I-V d'un générateur photovoltaïque.

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série et en série parallèle donne ce qu'on appelle le générateur photovoltaïque dont la caractéristique générale est représentée sur la (figure II.5).



**Figure II.5.** Caractéristiques courant- tension d'un générateur photovoltaïque [10].

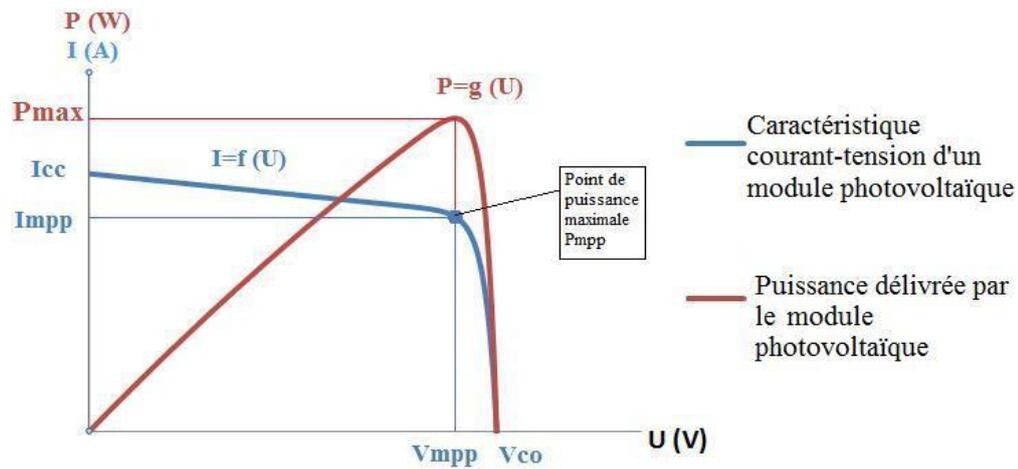
#### 5.1.1.2. Caractéristique P-V d'un générateur photovoltaïque.

La puissance générée par une cellule photovoltaïque est donnée par :

$$P = V \cdot I \quad (\text{II.5})$$

La puissance maximale est obtenue lorsque :

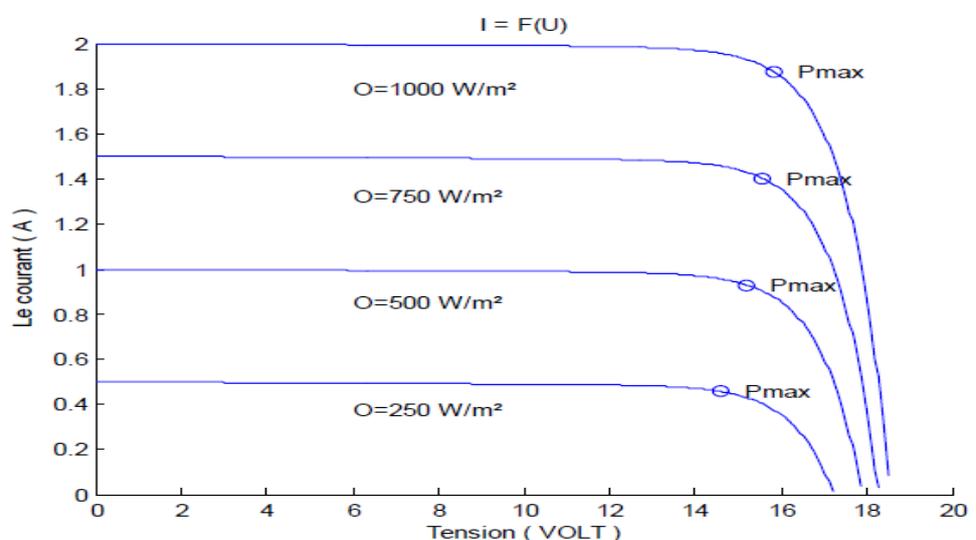
$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (\text{II.6})$$



**Figure II.6.** Caractéristique puissance-tension d'un générateur photovoltaïque [10].

### 5.1.1.3. Influence de l'éclairement.

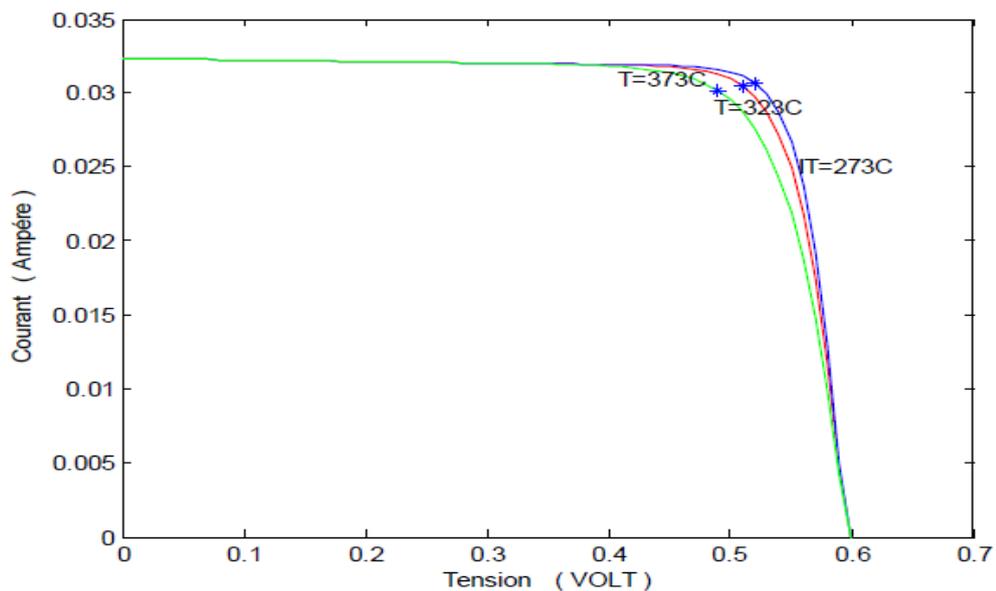
Le photo-courant  $I_{ph}$  est pratiquement proportionnel à l'éclairement ou aux flux lumineux  $\psi$ . Le courant  $I_d$  (VD), étant par définition le courant direct de la jonction sous obscurité, et normalement non modifié. Ceci n'est valable que pour des cellules n'utilisant pas la concentration du rayonnement solaire ou travaillant sous une faible concentration. En effet, la densité des porteurs de charges et donc le courant de saturation sont modifiés par la variation de la température et de la concentration de l'éclairement. Le photo-courant créé dans une cellule solaire photovoltaïque est aussi proportionnel à la surface  $S$  de la jonction soumise au rayonnement solaire ; par contre la tension de circuit ouvert n'en dépend pas et n'est fonction que de la qualité du matériau et du type de jonction considérée (figure II.7) [10].



**Figure II.7.** Influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$  [4].

#### 5.1.1.4. Influence de la température.

La température est un paramètre très important dans le comportement des photopiles. En effet, si la température augmente, le photo-courant augmente à peu près de  $3 \cdot 10^{-2} \text{ mA} \cdot \text{K}^{-1}$  par  $\text{cm}^2$  de cellule et par conséquent le courant  $I$ , ce qui engendre une diminution de la tension du circuit ouvert  $V_{CO}$  (figure II.8). L'augmentation de la température se traduit aussi par la diminution de la puissance maximale disponible, de l'ordre de  $5 \cdot 10^{-5} \text{ W/K}$  par  $\text{cm}^2$  de cellule, soit une variation de 0,35% par degré. [10].



**Figure II.8.** Influence de la température sur la caractéristique  $I = f(V)$  [4].

#### 5.1.1.5. Rendement d'un générateur photovoltaïque.

Le rendement d'une cellule est le rapport entre la puissance maximale disponible et la puissance du rayonnement incident, il est donné par :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{A \cdot G_a} \quad (\text{II.7})$$

$P_{in}$  : Puissance incidente sur la surface de la cellule photovoltaïque (W) ;

$G_a$  : Eclairement global incident sur la cellule photovoltaïque ( $\text{W/m}^2$ ) ;

$A$  : Surface totale de la cellule photovoltaïque ( $\text{m}^2$ ) ;

$\eta$  : Rendement de la cellule ;

$P_m$  : Puissance maximale du panneau (W) ;

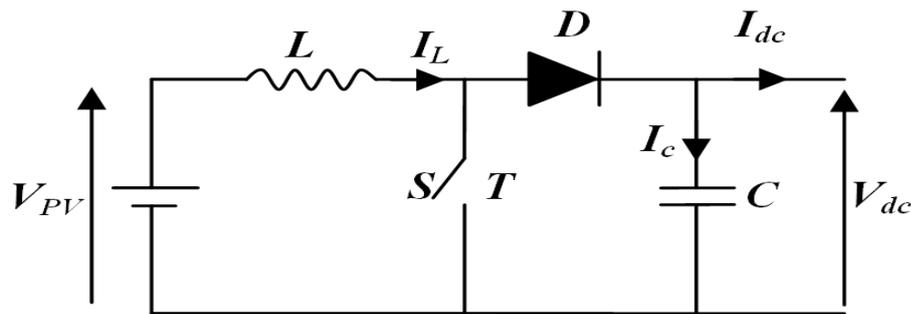
$V_m$  : Tension maximale du panneau (V) ;

$I_m$  : Courant maximum du panneau (A).

### 5.1.2. Modélisation du convertisseur DC/DC.

Les hacheurs présentent la partie essentielle dans le dispositif de commande d'un générateur photovoltaïque. Ils sont des convertisseurs statiques continu-continu permettant le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

Le convertisseur DC-DC fonctionne comme suiveur de point de puissance maximum et règle la tension de sortie du générateur photovoltaïque (figure II.9).



**Figure II.9.** Schéma électrique du convertisseur [9].

La modélisation de ce convertisseur basé sur l'analyse des différentes séquences de fonctionnement que nous supposons de durées fixées par la commande S. Comme résultats on a deux séquences de fonctionnement selon l'état de l'interrupteur T, que nous pouvons représenter chacune par une équation différentielle.

- Lorsque (T) est fermé :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} \quad (\text{II.8})$$

$$0 = C \frac{dV_{dc}}{dt} + I_{ch} \quad (\text{II.9})$$

- Lorsque (T) est ouvert :

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + V_{dc} \quad (\text{II.10})$$

$$I_L = C \frac{dV_{dc}}{dt} + I_{ch} \quad (\text{II.11})$$

En posant : (S =1) pour T est fermé

(S =0) pour T ouvert.

Nous pouvons représenter le convertisseur par un système d'équations unique, que nous qualifions de modèle instantané. Nous considérons ici les interrupteurs parfaits.

$$V_{pv} = L \frac{dI_L}{dt} + V_{dc} (1-S) \quad (\text{II.12})$$

$$(1-S) IL=C \frac{dV_{dc}}{dt}+I_{ch} \quad (II.13)$$

### 5.1.3. Modélisation d'onduleur.

Le rendement du convertisseur  $\eta_{inv}$  dépend de la charge, c'est-à-dire de la puissance de sortie en courant alternatif  $P_{out}$  [15]. Cette dépendance s'appelle courbe de charge de l'onduleur et sera utilisée pour l'analyse du fonctionnement des systèmes hybrides en régime établi. Pour DC/AC, on connaît la puissance en courant continu d'entrée ( $P_{PV}$ ) et non la puissance de sortie. Par conséquent il est nécessaire d'exprimer le rendement en fonction de la puissance d'entrée. Les pertes électriques réduites  $P_{loss}$  peuvent être exprimées par l'équation (II.14) :

$$P_{loss} = \frac{P_{loss}}{P_{inv,rated}} = P_0 + K.p^2 \quad (II.14)$$

Où  $P_{loss}$  sont les pertes électriques,  $P_{inv,rated}$  est la puissance nominale de l'onduleur,  $p_0$  et  $k$  ont des coefficients calculés à partir des données fournies par le constructeur par les équations (II.15) et (II.16) et la puissance réduite en %  $p$  s'exprime par (II.17):

$$P_0 = \frac{1}{99} \left( \frac{10}{\eta_{10}} - \frac{1}{\eta_{100}} - 9 \right) \quad (II.15)$$

$$K = \left( \frac{1}{\eta_{100}} \right) - P_0 - 1 \quad (II.16)$$

Où  $\eta_{10}$  et  $\eta_{100}$  sont les rendements respectivement à 10 et 100% de charge par rapport à la puissance nominale, fournis par le constructeur.

$$P = \frac{P_{out}}{P_{inv,rated}} \quad (II.17)$$

Où  $P_{out}$  est la puissance de sortie de l'onduleur. Les pertes électriques sont la différence entre la puissance en courant continu d'entrée  $P_{in}$  et la puissance en sortie (II.18) :

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (II.18)$$

Ainsi en combinant l'équation (II.16) et (II.18) on obtient (II.19) :

$$(P_0 + K.p^2)P_{inv,rated} = P_{in} - P_{out} \quad (II.19)$$

D'autre part la puissance d'entrée peut être exprimée à partir de la puissance de sortie et du rendement (II.20) :

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta_{inv}} \quad (II.20)$$

Après substitution de (II.20) dans (II.19) et en utilisant (II.17) on obtient (II.21) :

$$P_0 + K.p^2 = \frac{P}{\eta_{inv}} - P \quad (II.21)$$

D'où on exprime le rendement de l'onduleur par (II.22) :

$$\eta_{inv} = \frac{P}{P + P_0 + K.p^2} \quad (II.22)$$

#### 5.1.4. Modélisation de batterie.

Le système de stockage d'énergie de secours est soigneusement dimensionné pour répondre à la demande de la charge dans les moments d'indisponibilité ou d'insuffisance de l'énergie dans un système hybride [15]. Le dimensionnement de la batterie dépend des facteurs tels que la profondeur maximale de la décharge, la correction de la température, la capacité nominale de la batterie et la durée de vie de la batterie. La capacité de la batterie requise en ampère heure peut être calculée en utilisant l'équation suivante :

$$B_{rc} = \frac{E_c D_s}{DOD_{max} \eta t} \quad (II.23)$$

Où  $E_c$  est la charge en ampères -heure (Ah),  $D_s$  représente les jours d'autonomie de la batterie  $DOD_{max}$  est la profondeur maximale de décharge de la batterie (pour la batterie à décharge profonde  $DOD_{max}$  est de 80%),  $\eta$  est le facteur de correction de la température. Lorsque la production totale du système hybride est supérieure à la demande en énergie, les systèmes de stockage est en état de Charge.

Si non il est en état de décharge. La quantité de charge de la batterie à l'instant  $t$  peut être calculée en utilisant l'équation (II.24) :

$$E_B(t) = E_B(t-1) (1-\sigma) + \left( \frac{E_{GA}(t) - E_L(t)}{\eta_{inv}} \right) \eta_{batt} \quad (II.24)$$

Où  $E_B(t)$  et  $E_B(t-1)$  sont les quantités de charge des batteries à l'instant  $t$  et  $(t-1)$ ,  $E_{GA}(t)$  est l'énergie totale générée par la source d'énergie renouvelable, après la perte d'énergie dans le contrôleur,  $E_L(t)$  est la demande de la charge à l'instant  $t$ ,  $\eta_{inv}$  et  $\eta_{bat}$  sont l'efficacité de l'onduleur et l'efficacité de charge de batterie,  $\sigma$  est le taux d'auto décharge qui dépend du charge accumulée et l'état du batterie. La quantité de charge de la batterie est soumise à des contraintes telles que :

$$E_{Bmin} \leq E_B \leq E_{Bmax} \quad (II.25)$$

Où  $E_{Bmax}$  et  $E_{Bmin}$  sont la quantité de charge maximale et minimale de la batterie pour un système hybride, les caractéristiques de la batterie les plus importants sont la durée de vie de la batterie, le  $DOD$ , les besoins d'entretien, l'état de charge (SOC) et la tension de charge flottante. Pour l'optimisation du système hybride, toutes ses caractéristiques doivent être prises en considération. Le SOC de la batterie au temps ( $t$ ) peut être calculé en utilisant l'équation suivante :

$$\text{SOC}(t) = \text{SOC}(t-1) \left( 1 - \frac{\sigma \Delta t}{24} \right) + \frac{I_{\text{bat}}(t-1) \cdot \Delta t \cdot \eta_{\text{batt}}}{C'_{\text{bat}}} \quad (\text{II.26})$$

Où  $C'_{\text{bat}}$  est la capacité nominale de la batterie (Ah), et  $\eta_{\text{bat}}$  est l'efficacité de charge et de décharge de la batterie (généralement l'efficacité arrondie de l'efficacité de charge et de décharge) [15].

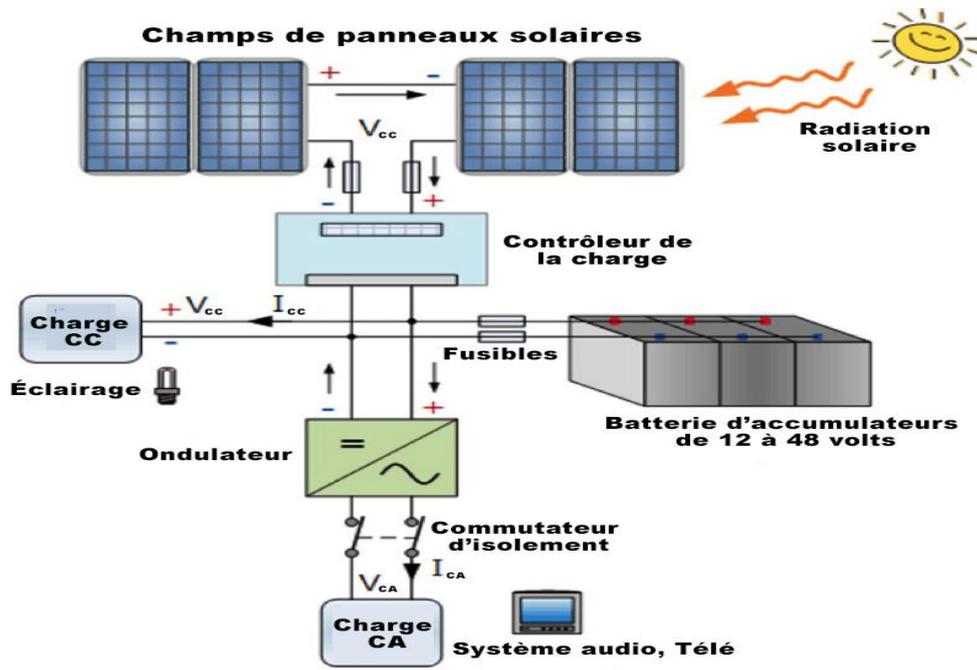
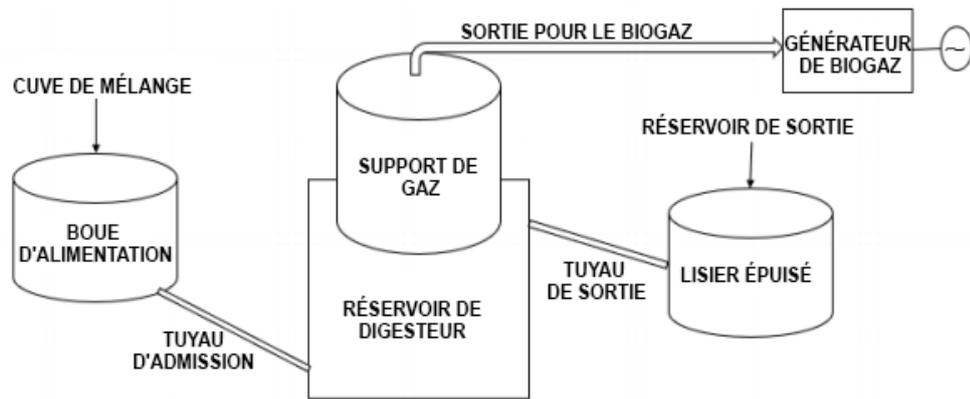


Figure II.10. Composants de système PV [11].

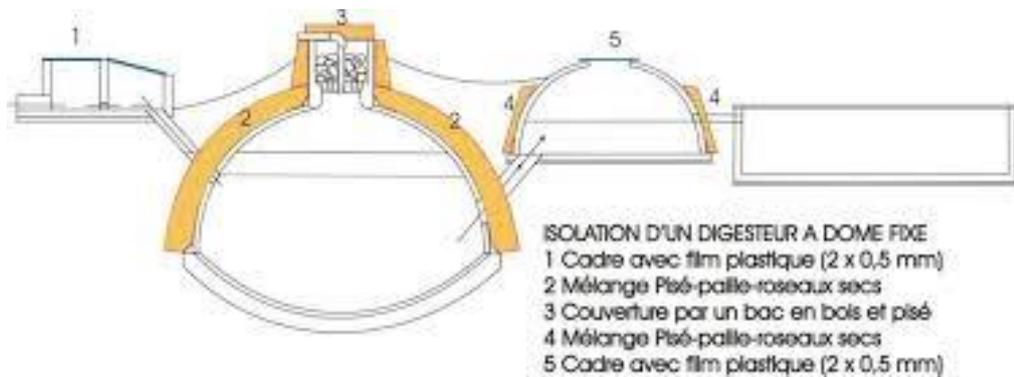
## 5.2. Modélisation du système biomasse.

Un système de moteur à gaz de digesteur se compose d'un bio digesteur et d'un moteur à biogaz, où le moteur à gaz est connecté au gazoduc, et il est alimenté en biogaz à partir du réservoir de gaz du bio digesteur, produisant de l'électricité en utilisant le biogaz comme combustible. Le moteur à biogaz convertit le biogaz en électricité avec un générateur intégré, semblable à un moteur diesel conventionnel [29]. Le réservoir du digesteur est alimenté avec la matière organique mélangée, et la sortie du tuyau de biogaz est connectée au brûleur à gaz et au moteur à gaz. La capacité d'un moteur à gaz digesteur du système est représentée par la quantité de biogaz ( $\text{m}^3$ ) qu'il peut produire en 24 heures. Les applications à grande échelle des installations de biogaz sont rares dans les pays en développement, mais des milliers de systèmes de digesteurs à petite échelle ( $1,5 \text{ m}^3$ -  $80 \text{ m}^3$ ) sont utilisés dans les zones rurales (Pays asiatiques) (figure II.11) [31].



**Figure II.11.** Système à biogaz [29].

### 5.2.1. Digesteur anaérobie.



**Figure II.12.** Digesteur à dôme fixe [30].

Le digesteur choisie est le réacteur à dôme fixe, c'est une structure construite en briques et plâtrée étanche au gaz, qui est souvent construite sous terre, elle a un tuyau d'alimentation ou les déchets peuvent être alimentée dans le digesteur. Le digesteur à un volume de purin et également un espace de stockage de gaz, de plus elle a une sortie qui mène à la chambre de compensation et le débordement. Le tuyau du gaz est le point le plus haut avec une valve pour ouvrir ou fermer le flux du gaz [30].

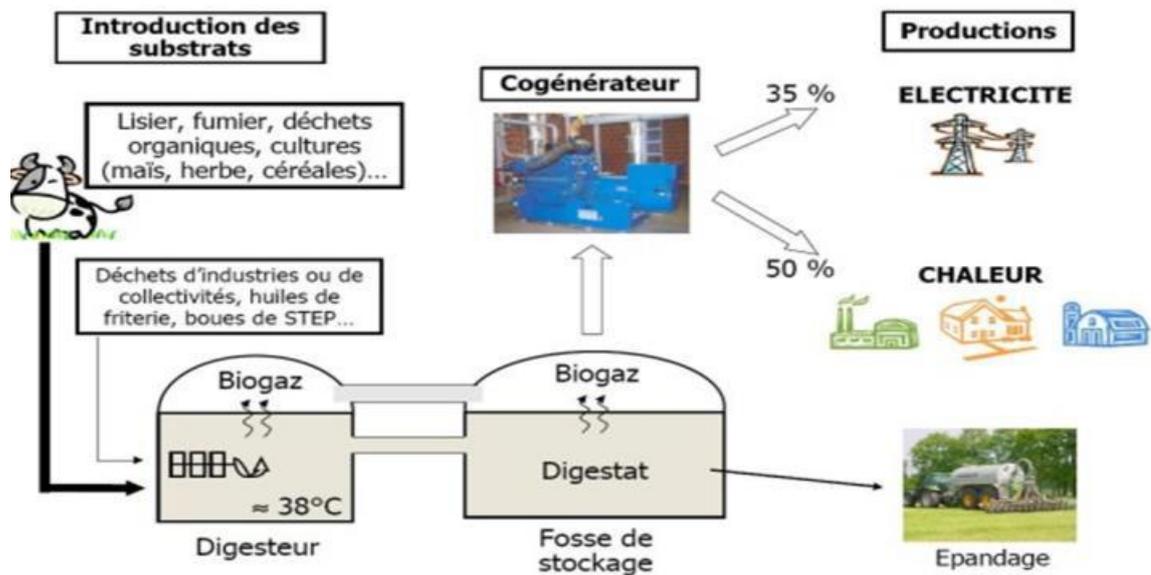


Figure II.13. Composants principale de système biogaz [39].

### 5.3. Le groupe électrogène.

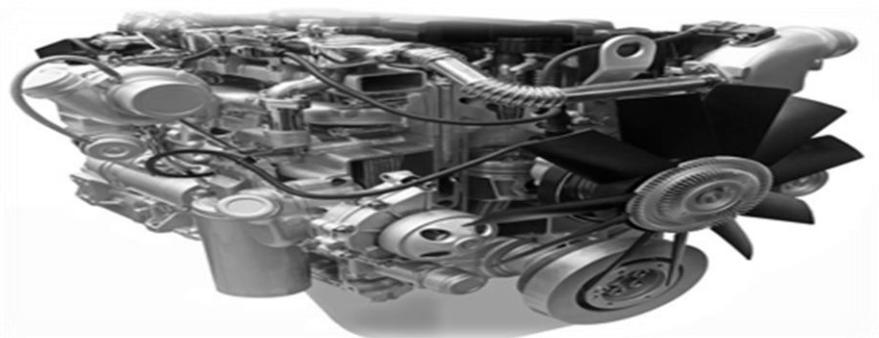
La plupart des fermes utilisent des groupes électrogènes portables (qui sont des moteurs IC combinés à un alternateur ou une dynamo) dans la gamme de 400 watts à 5000 watts (1,4 à 8 HP). Les groupes électrogènes utilisés pour fonctionner au biogaz sont les mêmes que ceux utilisés pour fonctionner au gaz propane ou au gaz naturel. Ce sont de simples moteurs à essence (pas diesel). Pour déterminer la taille du groupe électrogène dont on a besoin, il faut d'abord examiner la consommation quotidienne. Les groupes électrogènes consomment environ  $0,5\text{-}0,9\text{ m}^3$  de biogaz pour générer chaque kWh. Donc, si on a un groupe électrogène de 2 kW, il consommera environ  $1,2\text{ m}^3$  de biogaz par heure. Donc, si on l'exécute pendant 10 heures, nous avons besoin de  $12\text{ m}^3$  de biogaz (la quantité de gaz générée par le fumier frais d'environ 30 vaches). La plupart des systèmes utilisent une batterie pour stocker la puissance générée par le groupe électrogène. Ne pas utiliser de batterie du tout est possible, mais nécessiterait un dimensionnement exact du groupe électrogène (HP), et pourrait créer des problèmes (c'est-à-dire une sous-production ou une surproduction selon les appareils utilisés à la maison en même temps) [32]. Le groupe électrogène portable doit toujours être démarré avec de l'essence, puis fonctionner pendant une minute avec de l'essence avant de passer au biogaz. Une fois réchauffé, le moteur fonctionnera entièrement au biogaz. La consommation de gaz des moteurs à essence est d'environ 60% celle des moteurs diesel à double carburant, de sorte que vous tirez plus de puissance du biogaz en utilisant des moteurs à essence. Le groupe électrogène doit être mis en mode essence pendant l'arrêt car cela permet de rincer le moteur de biogaz.

### 5.3.1. Définition d'un groupe électrogène.

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui actionne un alternateur. Leur taille et leur poids peuvent varier de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes. La puissance d'un groupe électrogène s'exprime en VA (voltampère), kVa (kilovoltampère) ou MVA (méga voltampère) selon la puissance. Les unités les plus puissantes sont mues par des turbines à gaz ou de gros moteurs Diesel. Il est se compose de deux partie principales :

#### 5.3.1.1. Moteur à combustion interne (ICE).

Un moteur à combustion interne est un moteur thermique dans lequel la combustion d'un carburant se produit avec un oxydant (généralement de l'air) dans une chambre de combustion qui fait partie intégrante du circuit d'écoulement du fluide de travail. Dans un moteur à combustion interne, l'expansion des gaz à haute température et haute pression produits par la combustion applique une force directe à certains composants du moteur. La force est généralement appliquée aux pistons, aubes de turbine, au rotor ou à une buse. Cette force déplace le composant sur une distance, transformant l'énergie chimique en travail utile (figure II.14).



**Figure II.14.**Moteur à combustion interne [10].

#### 5.3.1.2. D'autres moteurs peuvent être utilisés.

Cycle d'Otto - Ces moteurs sont comme le moteur de voiture. Ils sont à allumage commandé, moteur à piston. Le biogaz est comme le gaz naturel. Il ne s'allumera pas automatiquement comme cela est requis pour un cycle Diesel. Cela provoquera une étincelle. Diverses modifications du cycle Otto (par exemple Miller, Atkinson, etc.) fonctionneront également [32]. Cycle de baryton : c'est à dire turbine à gaz : Une turbine à gaz est une machine à flux continu, à combustion interne et qui permet de transformer l'énergie contenue dans le combustible en énergie mécanique utilisable sur l'arbre de la turbine (machines industrielles) ou sous forme d'énergie propulsive dans un jet (turboréacteurs). Dans son architecture la plus simple la turbine à gaz qui aspire l'air ambiant

et rejette les gaz brûlés à l'atmosphère fonctionne en circuit ouvert. Elle comporte un compresseur et une turbine couplés mécaniquement sur un arbre, et une chambre de combustion intercalée entre ces deux organes.

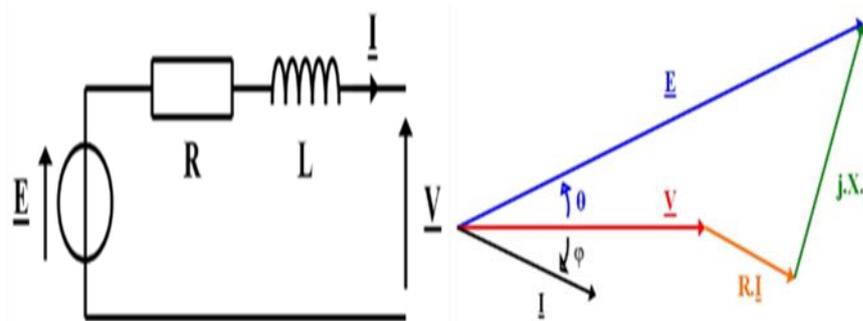
Combustion externe : Ces moteurs utilisent une source de chaleur et divers cycles avec divers fluides. Les exemples incluent le cycle de Rankine (turbines à vapeur), le cycle de Stirling et al. Ceux-ci fonctionneront tous à partir d'une source de chaleur alimentée au biogaz.

➤ **Alternateur.**

Les alternateurs sont des machines synchrones destinées à la production d'énergie.

➤ **Principe de fonctionnement.**

La machine synchrone se compose d'une partie tournante, le rotor, et d'une partie fixe, le stator. Le rotor peut se composer d'aimants permanents ou être constitué d'un bobinage alimenté en courant continu et d'un circuit magnétique (électro-aimant). Pour produire du courant, on utilise une force extérieure pour faire tourner le rotor : son champ magnétique, en tournant, induit un courant électrique alternatif dans les bobines du stator. La vitesse de ce champ tournant est appelée « vitesse de synchronisme ». Il n'est pas possible de faire démarrer correctement, sans aide extérieure, une machine synchrone en connectant ses enroulements directement sur un réseau alternatif. Mais, si l'on n'entraîne pas le rotor par une force extérieure, il est possible de la faire tourner en alimentant ses enroulements statoriques par un courant alternatif dont la fréquence augmente progressivement de zéro à la fréquence de synchronisme et en faisant en sorte que la tension aux bornes des enroulements soit proportionnelle à la fréquence. Sa vitesse de synchronisme sera directement liée à la fréquence de l'alimentation électrique [32]. La façon la plus simple de rendre compte du fonctionnement en charge d'un générateur alternatif est de l'assimiler à une source de f.é.m.  $E$  ayant une impédance interne  $R+jX$ .



**Figure II.15.** Schéma équivalent et le diagramme vectoriel [10].

$\underline{E}$  : f.é.m. à vide ;

$\underline{V}$  : Tension aux bornes d'un enroulement de la machine ;

$R$  : Résistance d'enroulement ;

$X$  : Réactance synchrone (Ici  $X = L$ ) ;

$\theta$  : Angle interne.

Ce schéma équivalent et le diagramme vectoriel permettent de passer du régime aux bornes

( $V, I, \varphi$ ) la f.é.m.  $E$  que doit créer le flux inducteur .La loi des mailles nous donne :

$$\underline{E} = \underline{V} + (R + jX)\underline{I} \quad (\text{II.27})$$

**Remarque :**

- Le régime aux bornes de la charge dépend de la charge alimentée. Sur la figure précédente, elle est inductive car elle absorbe un courant déphasé en arrière de la tension.
- $R.I$  doit être faible puisque  $3.R.I^2$  donne les pertes joules dans l'induit. Au contraire  $X.I$  est très fort car il rend compte de tout le flux créé par l'induit.
- La réactance  $X$  n'a de signification physique que si on néglige la saturation du circuit magnétique. On l'appelle réactance synchrone pour la distinguer des réactances qui interviennent dans le régime transitoire.

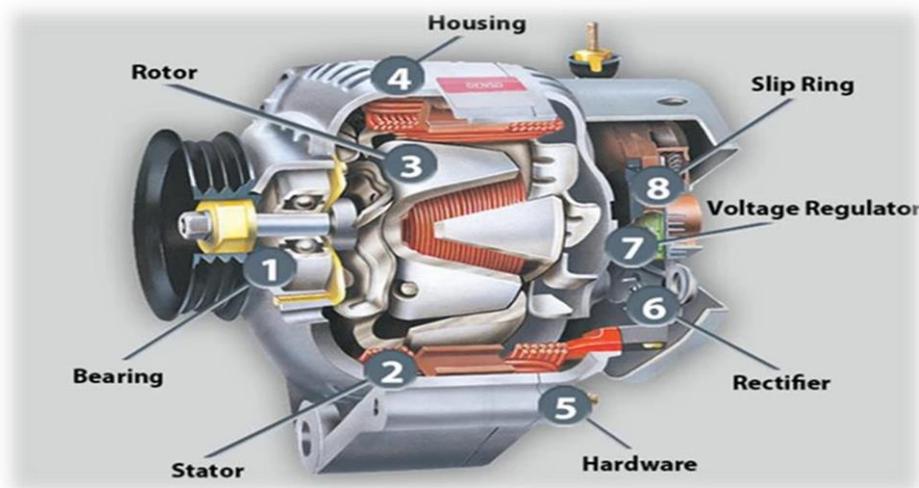


Figure II.16.Alternateur [32].

### 5.3.1.3. Les modes d'excitation de la machine synchrone.

#### ➤ Sources principales d'excitation :

On peut distinguer trois grandes catégories de sources principales d'excitation :

- excitatrice à courant continu
- alternateur-excitateur débitant sur un redresseur
- redresseur alimenté directement à partir des bornes de la machine synchrone principale (auto alimentation).

## 5.4. Systèmes de stockage.

Le stockage est indispensable pour la stabilité des réseaux et l'équilibre des systèmes électriques. Il existe plusieurs technologies de stockage d'énergie électrique : Mécanique, thermique, électromagnétique, et électrochimique. Cette étude est basée sur le stockage électrochimique.

### 5.4.1. Stockage électrochimique.

Le stockage d'énergie aux systèmes hybrides est généralement réalisé grâce aux batteries qui sont de type plomb-acide. Ce composant a une électrode de plomb et celle d'oxyde de plomb, toutes plongées dans une électrolyse composée d'acide sulfurique diluée, en reliant les deux électrodes à un récepteur externe consommant du courant [33]. Les batteries sont conçues par un empilement de disques composés de différents types d'éléments chimiques. Il existe plusieurs types de batteries :

#### ➤ Batteries plomb.

Les batteries au plomb se composent de plusieurs cellules individuelles ayant une tension de 2V. Elles sont robustes mais nécessitent pas d'entretien et doivent être installées dans un endroit aéré, la batterie chargée libère de l'oxygène et de l'hydrogène. Ce type de batterie pourra dépasser les 10 ans. En effet la batterie qui se décharge à 80% aura une durée de vie inférieure à celle qui se décharge à 20%.

#### ➤ Batteries AGM.

Ce type de batterie ne nécessite pas d'entretien. Elles sont sécurisantes et ne dégagent pas de chaleur lors des cycles de charge et décharge, elles ont une durée de vie de 10 ans et peuvent être utilisées pour un usage quotidien.

#### ➤ Batteries au gel.

Elles sont de haute qualité, résistantes et pas d'entretien, elles ont une décharge profonde et une longue durée de vie, adaptées pour utilisation quotidienne.

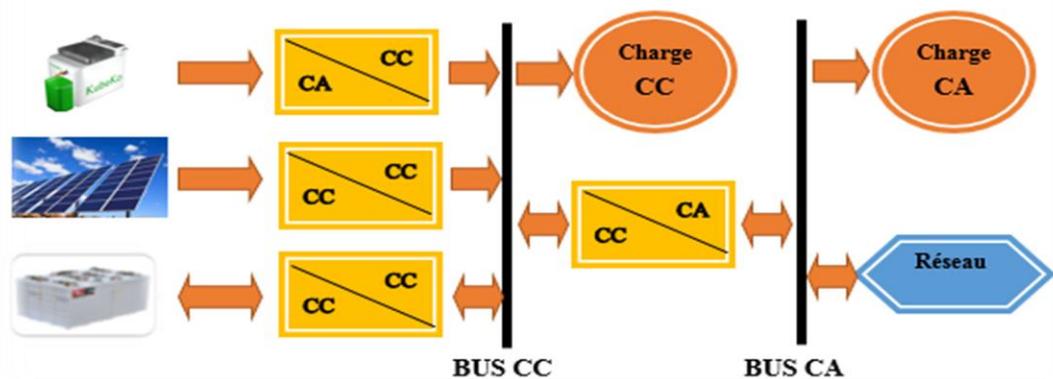
#### ➤ Batterie en lithium-ion.

Le marché de ces batteries est en pleine expansion, elles sont sollicitées par leur performance, elles ont un rendement supérieur à 90% (charge et décharge). Ces batteries sont sensibles au décharge, profonde, nécessitent pas d'entretien et elles ont une durée de vie supérieure.

## 6. Dimensionnement d'un système hybride PV/BIOMASSE.

L'analyse et dimensionnement des systèmes hybrides est assez complexe en raison des systèmes de génération multiple, nécessitant une des logiciels pour la conception, l'analyse, la simulation, le dimensionnement, l'optimisation de la viabilité économique des systèmes. Pour la modélisation et l'optimisation du système hybride d'énergie renouvelables, Le logiciel (HOMER) est utilisé.

HOMER est un logiciel de micro-réseau qui navigue les complexités de la construction de micro-réseaux économiques et fiables combinant électricité, stockage et gestion de la charge générés et renouvelables. L'édition du logiciel utilisé est HOMER Pro 2015. Ce logiciel est un outil de dimensionnement principalement utilisé pour déterminer la taille optimale de chaque système composante, ainsi que les informations détaillées sur les flux d'énergie entre les différents composants. Le logiciel HOMER obtient une architecture optimisée d'un système de production d'électricité en termes de rentabilité (figure II.17) [24].



**Figure II.17.** Schéma fonctionnel d'un système d'énergie hybride photovoltaïque biogaz [15].

### 6.1. Logiciel HOMER.

Le logiciel HOMER effectue trois tâches principales : simulation, optimisation et analyse de sensibilité. Le logiciel Homer nécessite des données d'entrée telles que la charge électrique, les ressources renouvelables (rayonnement solaire mensuel et la température et la matière première de biomasse mensuelle disponible), les types de composants (module PV, générateur de biogaz, batterie, convertisseur), détails des coûts de composants, durée de vie des composants, Paramètres économiques, contraintes du système (capacité annuelle maximale, pénurie, fraction minimale d'énergie renouvelable, réserve d'exploitation) et émission des pénalités pour effectuer la simulation et optimisation du système d'alimentation hybride proposé.

#### Étape 1 : Détermination du site géographique :

Cette étape est importante pour estimer le potentiel énergétique disponible (solaire biomasse).

#### Étape 2 : Estimation de la charge journalière :

La charge électrique requise été estimée par une étude sur le terrain grâce à des entretiens pour enquêter sur les différents appareils électriques appartenant à la ferme.

La charge a été calculée comme suit :

$$PL = (Pr) \times (Na) \times (t) \quad (\text{II.28})$$

Où PL est la charge principale (kWh / j), Pr est la puissance nominale (W) de l'appareil, Na est le nombre total de appareils, t est le temps d'utilisation (h / j).

### Étape 3 : Évaluation des ressources et potentiel énergétique :

Le logiciel HOMER nécessite des données sur l'irradiation horizontale globale solaire (GHI) et la biomasse pour simulation et optimisation du système d'alimentation hybride. La localisation géographique de notre site possède une importance d'énergie solaire et potentielle de biomasse pour répondre aux besoins en électricité de la ferme.

### Étape4 : Conception et simulation :

La conception a été réalisée avec HOMER Pro version 64 La conception visant à sélectionner les composants appropriés de production et de stockage d'énergie qui utiliseront l'énergie solaire et ressources de biomasse pour répondre à la demande de charge. Les composants utilisés comprennent des panneaux solaires PV, Batteries de stockage, convertisseur de puissance et générateurs de biogaz [24].

#### -Économie et contrainte.

Les données économiques pour cette conception comprennent le taux d'inflations annuelles et le taux d'intérêt annuel.

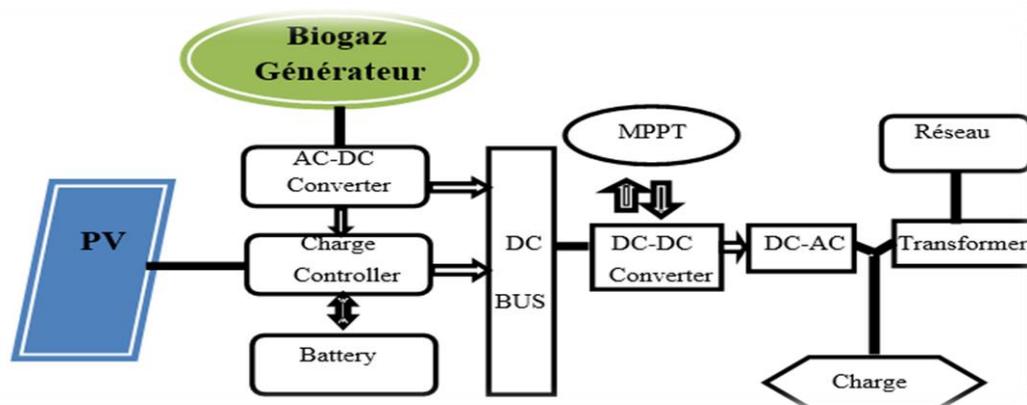


Figure II.18. Diagramme proposé d'un système d'énergie hybride PV-biogaz [33].

## 7. Conclusion.

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur le système d'énergie hybride (S.E.H) qui combine deux systèmes les systèmes photovoltaïques et les systèmes à biogaz. Dans ce contexte, les principales notions liées à la technologie utilisée dans les S.E.H ont été données. Le dimensionnement et le fonctionnement des composantes du S.E.H doivent tenir compte des variations de la charge et des ressources renouvelables disponibles pour maximiser l'utilisation des ressources renouvelables. Dans ce but les sources de S.E.H étudiés sont dans le chapitre suivant.

## **Introduction :**

L'énergie solaire et l'énergie de biogaz dépendent fortement de la disponibilité de matière primaire (ensoleillement, quantité de biogaz) du site d'installation hybride à énergies renouvelables. Ensuite des généralités sur l'énergie solaire et l'énergie de biogaz et leurs caractéristiques techniques des systèmes hybrides, nous allons spécifier ce chapitre à l'élaboration du dimensionnement et l'optimisation du système hybride photovoltaïque (PV) – biomasse pour alimenter la ferme d'élevage de l'université de Mostaganem. Toutefois la procédure de conception nécessite plusieurs étapes. Parmi les plus importantes, l'étude des gisements et potentiel du biogaz, la détermination des besoins en énergie électrique, le choix technique des composants et l'organigramme de la gestion de fonctionnement des différents sous-systèmes d'une centrale hybride.

### **1. Présentation du site d'implantation.**

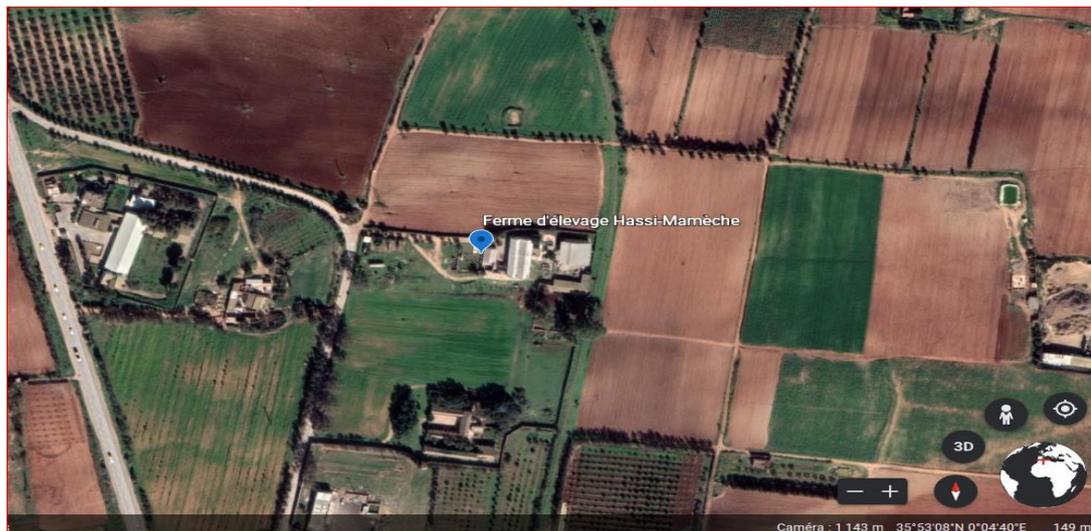
#### **1.1. Situation géographique.**

Mostaganem est située à 104 mètres d'altitude sur le rebord d'un plateau côtier. Son climat semi-aride à hiver tempéré avec un ciel clair ensoleillé la majorité du temps. Elle est marquée en plus de son littoral envoûtant, par la beauté majestueuse et le cadre féerique qu'offre la nature au visiteur, par un paysage où se succèdent les reliefs montagneux, les cours d'eau, les plaines, et les forêts. Pour cette étude, nous avons choisi une ferme d'élevage située à Hassi-Mamèche, commune de la wilaya de Mostaganem pour le dimensionnement d'un système hybride de production d'énergie électrique propre. Cette wilaya est caractérisée par son caractère rural, sa disponibilité des espaces et des surfaces d'agriculture. C'est également une région d'élevage où la production animale s'est fortement développée au cours de ces dernières années [38]. On compte 30.300 têtes de bovins laitiers, 24.820 têtes ovines, 19.100 têtes caprines. La présence de trois (03) centres équestres montre que l'élevage équin occupe une place importante dans le développement de la région. On retrouve également un grand nombre d'élevages avicoles, cunicoles et apicoles [38].

#### **1.2. Environnement du site de travail.**

L'exploitation agricole de l'université de Mostaganem occupe une surface agricole totale (SAT) de 76.16 ha dont une surface agricole utilisée (SAU) de 66.99ha (figure III.1). Elle est subdivisée en trois (03) ateliers agricoles, en l'occurrence :

- Le premier atelier se trouve à Mazagran dont la SAT est de 59.26 ha et la SAU de 55.06 ha ;
- Le deuxième atelier se trouve à Hassi-Mamèche dont la SAT est de 3.98 ha et la SAU de 02ha ;
- Le troisième atelier se trouve à Nehari-Hadjadj, à 32 km du chef-lieu de la ville de Mostaganem dont la SAT est de 12.92 ha et la SAU de 09.93 ha [38].



**Figure III.1.** Situation géographique de l'Atelier Agricole de faculté (SNV)  
Hassi-Mamèche.

**Source :** Etablie par l'auteure, en fonction de la carte de situation de la Wilaya de Mostaganem (Google Earth, 2020).

## 2. Paramètres à déterminer lors de la conception.

D'après la description du système hybride à concevoir et l'analyse de son fonctionnement, il apparaît que le concepteur doit déterminer les paramètres suivants :

1. Les paramètres du gisement solaire et du gisement biomasse du site ;
2. Les besoins énergétique du site ;
3. La puissance du panneau photovoltaïque ; Exprimée en Watt crête ( $W_c$ ), c'est la puissance que fournit le panneau lorsqu'il reçoit un ensoleillement de  $1000 \text{ W/m}^2$  ;
4. Le nombre des panneaux et leur installation ;
5. Le dimensionnement de l'onduleur ;
6. La capacité des batteries : c'est la taille du réservoir dans lequel on peut stoker l'énergie. Ce paramètre est exprimé en Ampère heure(Ah) ;
7. Le dimensionnement de la biomasse.
8. La puissance nominale du groupe électrogène : c'est la puissance que fournit l'électrogène biogaz.

## 3. Analyse du potentiel énergétique solaire et biomasse.

### 3.1. Potentiel solaire.

#### 3.1.1. Données géographique du lieu.

Ce Tableau III.1 résume les coordonnées géographiques du lieu d'implantation.

**Tableau III.1.** Coordonnées géographiques du site.

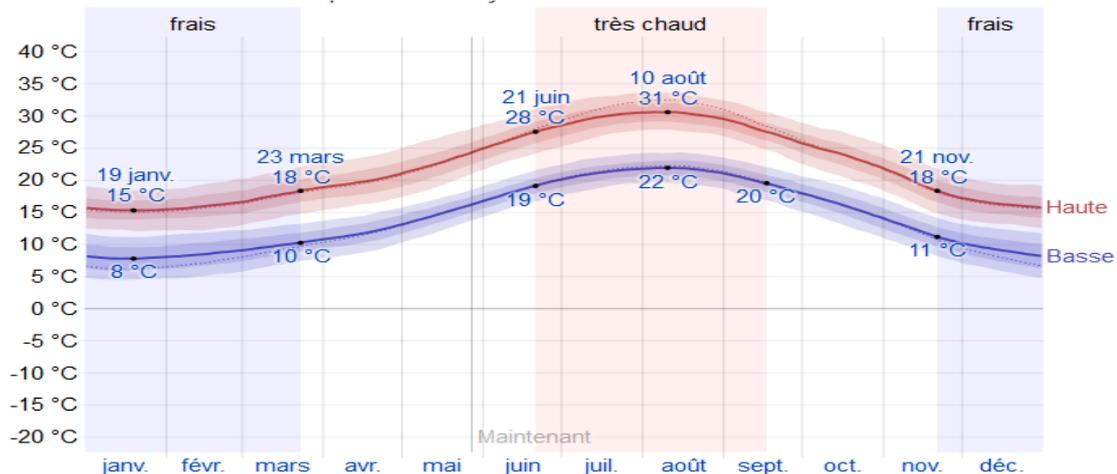
Caractéristiques Site	Longitude	Latitude	Altitude
Hassi- Mamèche(Mostaganem)	0°04'23.55''E	35°51'37.20'' N	137 m

**Source :** Mostaganem, Algérie-DB-City : Toutes les infos sur les Pays, Régions, Villes et Villages (2019).

### 3.1.2. Données météorologiques du lieu.

#### 3.1.2.1. Température.

La période de la saison très chaude est allongée, du 21 juin au 17 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 28 °C. Le jour le plus chaud de l'année est le 10 août, avec une température moyenne maximale de 31 °C et minimale de 22 °C. La durée de saison fraîche est 40 mois, du 21 novembre au 23 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 18 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 19 janvier, avec une température moyenne minimale de 8 °C et maximale de 15 °C (figure III.2).



**Figure III.2.** Profil de température ambiante annuelle.

**Source :** Météo habituelle à Mostaganem, Algérie – WeatherSpark2019.

#### 3.1.2.2. Rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire incident en ondes courtes quotidien moyen connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année. La période la plus lumineuse de l'année dure 3.5 mois, du 1 mai au 17 août, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré supérieur à 6.8 KWh. Le jour le plus lumineux de l'année est le 29 juin, avec une moyenne de 7.9 KWh.

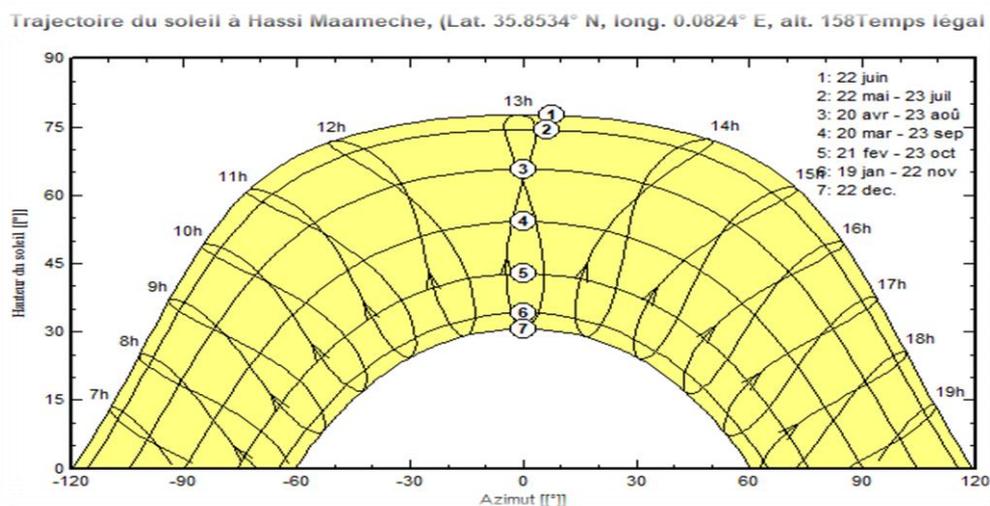
La période la plus sombre de l'année dure 3.3 mois, du 29 octobre au 9 février, avec un rayonnement solaire incident en ondes courtes par mètre carré inférieur à 3.6 KWh. Le jour le plus sombre de l'année est le 15 décembre, avec une moyenne de 2.6 KWh (figure III.3).



**Figure III.3.** Profil quotidien de rayonnement solaire.

**Source :** Météo Mostaganem - Prévisions météo à long terme | dz.freemeteo.com 2017.

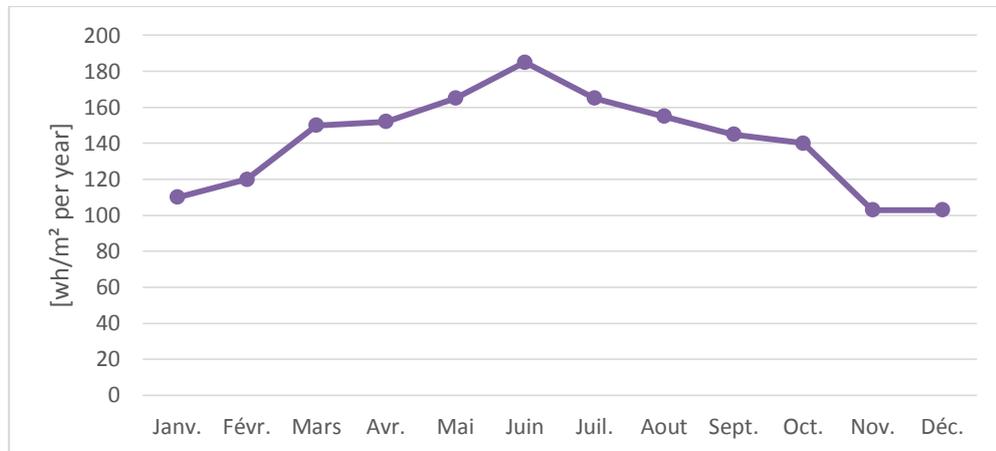
En regardant plus précisément, la valeur de l'azimut à différents moments de l'année, on constate que l'expression "le Soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest" n'est pas exacte. En effet, en décembre, il se lève au sud-est pour se coucher au sud-ouest, tandis qu'il se lève pratiquement au nord-est pour se coucher au nord-ouest. Ceci donne 7 heures d'ensoleillement maximum : ce sont les deux époques des solstices de l'année. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne que la durée du jour est égale à celle de la nuit (figure III.4).



**Figure III.4.** La trajectoire solaire du lieu.

**Source:** Solar database and PV software © 2019 Solargis.

L'irradiation directe moyenne connaît une variation saisonnière extrême au cours de l'année. On observe qu'elle atteint le maximum jusqu'à 180 Wh/m<sup>2</sup> en mois de juin et diminue jusqu'à 110 Wh/m<sup>2</sup> en mois de décembre qui signifie un gisement solaire moyen durant l'année qui traduit un potentiel assez important dans cette zone (figure III.5).



**Figure III.5.** Profil d'irradiation directe.

**Source:** Solar database and PV software © 2019 Solargis.

### 3.2. Potentiel biomasse.

Pour l'estimation du potentiel de la biomasse, nous avons utilisés les coefficients suivants :

- Coefficient des déchets ;
- Coefficient d'émission spécifique du biogaz par unité de poids des déchets d'élevage ;
- Quantité des KWh d'énergies électriques produite par m<sup>3</sup> de biogaz.

**Tableau III.2.** Le potentiel de biogaz et le potentiel électrique [5].

	<b>Production de biogaz</b> à 55% CH <sub>4</sub> (en m <sup>3</sup> )	<b>Potentiel électrique</b> (en KWh)
1t lisier porcin à 6 % MS	21	32
1t lisier bovin laitier à 8,5 % MS	24	36
1t fumier bovin lait à 18 % MS	61	94
1t herbe (ensilage) à 37,5 % MS	200	306
1t maïs à 35 % MS	214	329
1t graisse de flottation	Au moins 400	Au moins 600

Une vache génère approximativement l'équivalent de 10-15 kg de fumier par jour.

Les chercheurs ont estimé que le fumier des vaches produit 25–35 cum /tonnes de biogaz de fumier de vache [5]. 1.2 tonnes de fumier de vache va générer 30–42 cum de biogaz par jour. Cette quantité est équivalent de 45 KWh/ jour. Sachant que la ferme contient 30 vaches laitières.

### **Combien d'électricité produite de 1000kg de fumier de vaches ?**

1000 kg de fumier de vache produit 45 m<sup>3</sup> de biogaz.

1 m<sup>3</sup> de gaz produit 2.8 KWh d'énergie.

126 KWh d'énergie peut-être produit de 1000 kg de fumier de vache.

1 Kg de fumier séché de vache produit 0.1 m<sup>3</sup> biogaz [5].



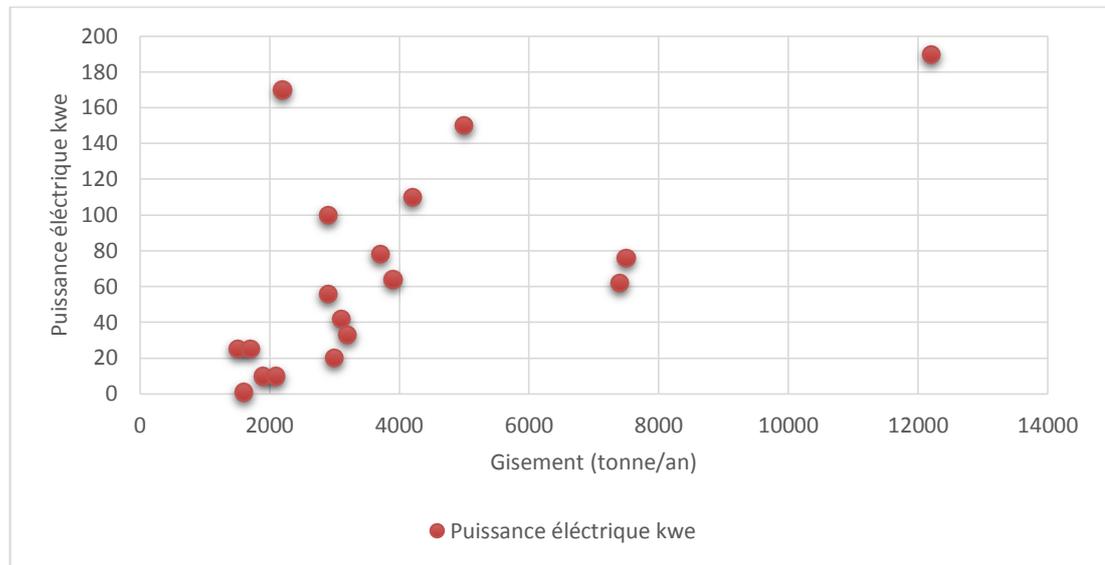
**Figure III.6.** Bovins laitiers.



**FigureIII.7.** Fumiers.

**Source :** Etablie par RECHIDI-SIDHOUM, 2019.

Cette représentation graphique (figure III.8) indique l'évolution des puissances électriques dans plusieurs installations de méthanisations en France, en fonction du gisement de déchets d'élevages qui varie, entre environ 1600 tonnes/an jusqu'à environ 12200 tonnes/an comme équivalent en retour les variations de puissances électriques entre 0 KW et 190 KW. Ces variations au niveau de la courbe sont dues à la nature des déchets des élevages choisis dans chaque installation, en termes de volume de biogaz émis par celui-ci qui détermine au final la quantité d'électricité produite.



**Figure III.8.** Analyse d'un ensemble de cas : les tailles de gisements des déchets d'élevages et les puissances installées [5].

#### 4. Méthodes de dimensionnement d'un système hybride.

##### 4.1. Détermination du profil de charge et besoins électriques domestiques.

La ferme se constitue de différents blocs selon sa fonction et ses besoins énergétiques, l'évaluation de ces besoins permet de dimensionner un système bien adopté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de puissance à mettre en œuvre.

**Tableau III.3.** Profil de charge.

Heures D'utilisations	0-5	6-7	8	9-10	11-13	14-15	16	17	18-23
Charge(KW)	1.290	1.170	1.366	1.296	1.221	1.356	1.500	1.170	1.290

**Tableau III.4.** Estimation des besoins énergétiques journalière d'une journée Hivernale et estivale données de la ferme expérimentale de l'université de Mostaganem.

Appareils	Nombre d'appareils	Durée d'utilisation(h)	Puissance(W)	Energie (Wh/j)
Lampes intérieur	34	05	05	850
Lampes extérieur	20	12	05	1200
Chariot trayeur	01	02	160	320
PC Ordinateur	03	04	45	540
Réglage de température	02	24	150	7200
Pompe à oxygénation	04	12	05	240
Timer	02	24	350	16800
Lampes LED	02	08	18	288
<b>Total réel</b>	68	91	588	27438
<b>Extension prévus (15%)</b>	-	-	-	4115,7
<b>Total</b>	-	-	-	31553,7

#### 4.2. Calcul du nombre de panneaux photovoltaïques.

Le dimensionnement du système photovoltaïque dépend de la consommation journalière de la (charge entre 8h et 18h), l'énergie consommé dans cette intervalle est : **14293 Wh/j.**

Le nombre des panneaux solaires est calculé par les critères suivants :

- L'énergie du mois le plus défavorable (décembre) est : 2600WH/j ;
- $Ne = Esol \text{ (du pire mois)}/1000 \Rightarrow Ne = 2600 / 1000 = \mathbf{2.6 \text{ h/j.}}$  (III.1)

Avec,

$Ne$  : Nombres d'heures d'ensoleillement (h/j) ;  $Esol$  : ensoleillement du pire mois (Wh/m<sup>2</sup>/j) ;

- $Pc = Ec / (Ne * Cp) \Rightarrow Pc = 14293 / (2.6 * 0.65) = \mathbf{8457.39Wc = 8.457kwc.}$  (III.2)

Avec,

$Pc$  : Puissance crête (W) ;

$Ec$  : Energie journalière consommé (de 8h à 18h), (Wh/j) ;

$Ne$  : Nombre d'heures d'ensoleillement (h/j) ;

$Cp$  : Facteur d'efficacité.

### 4.3. Choix des panneaux.

Pour des raisons de disponibilité nous avons choisi la technologie de panneaux qui a une puissance de (500W ; 75.7 V). Le choix des panneaux est effectué par :

$$\bullet \quad NT = P_c / P_{\text{panneau}} \Rightarrow NT = 8457.39W / 500 = \mathbf{16.91478 \text{ panneaux} = 17 \text{ panneaux}}$$

Avec, (III.3)

NT : Nombre total des panneaux ;

P<sub>c</sub> : Puissance crête (W) ;

P<sub>panneau</sub> : Puissance de panneau (W).

Donc on déduit que le nombre total des panneaux est de : **17 panneaux.**

• La puissance réelle crête de dimensionnement sera égale à :

$$\bullet \quad P_c = NT * P_{\text{panneau}} \Rightarrow P_c = 17 * 500 = \mathbf{8500Wc = 8.5 KWc.} \quad \text{(III.4)}$$

Pour avoir une tension de 220 volts de fonctionnement nominale des appareils utilisés dans la ferme expérimentale en doit mettre la valeur de nombre des panneaux en série NS égale à 03.

$$\bullet \quad U_{\text{SORTIE}} = NS * V_{\text{OC}} \Rightarrow U_{\text{SORTIE}} = 03 * 75.7 \text{ v} = \mathbf{227.1 \text{ Volts.}} \quad \text{(III.5)}$$

Avec,

U<sub>SORTIE</sub> : La tension de sortie nominale (Volts) ;

V<sub>OC</sub> : La tension de circuit ouvert (V).

Nombre de panneaux en parallèle est égale :

$$\bullet \quad NP = NT / NS \Rightarrow NP = 17 / 03 = \mathbf{5.66 \text{ String} = 6 \text{ string.}} \quad \text{(III.6)}$$

Le nouveau nombre total des panneaux (NT nouveau) devient donc égale :

$$NT \text{ (nouveau)} = NP * NS \Rightarrow NT \text{ (nouveau)} = 6 * 03 = \mathbf{18 \text{ Panneaux.}} \quad \text{(III.7)}$$

On aura donc une puissance crête a installée qui égale :

$$P_c = NT \text{ (nouveau)} * P_{\text{panneau}} \Rightarrow P_c = 18 * 500 = \mathbf{9000 \text{ Wc.}} \quad \text{(III.8)}$$

### 4.4. Orientation et inclinaison des modules.

- L'orientation idéale de nos modules sera vers le sud, car le site d'étude se localise dans l'hémisphère Nord.
- L'inclinaison optimale des panneaux photovoltaïques, selon le logiciel PV système, dans la région de Hassi-Maméche est de 32°, cette inclinaison est optimale pour diminuer les pertes.

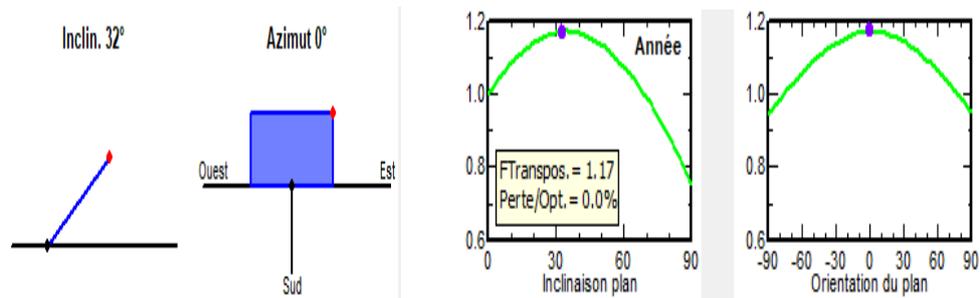


Figure III.9. Inclinaison et Orientation du site.

#### 4.5. Choix de l'onduleur.

Le choix de l'onduleur est effectué en fonction des paramètres suivants :

La puissance de l'onduleur est égale à :

- $P_{ond} = P_t * 1.1 \Rightarrow P_{ond} = 9000 * 1.1 = \mathbf{9900W}$ . (III.9)

Avec,

$P_{ond}$  : Puissance de l'onduleur (W) ;  $P_t$  : Puissance totale (W) ; 1.1 : Facteur de sécurité.

#### 4.6. Choix du régulateur.

Le choix du régulateur est effectué en fonction des paramètres suivants :

$$I_{reg} = I_{cc} * 1.25 * NP \Rightarrow I_{reg} = 8.68 * 1.25 * 6 = \mathbf{65.1 A}$$
 (III.10)

$$V_{reg \max} = 1.2 * V_{oc} * NS \Rightarrow V_{reg \max} = 1.2 * 75.7 * 03 = \mathbf{227.16 V}$$
 (III.11)

Avec,

$I_{cc}$  : Courant de court-circuit (A) ;  $V_{oc}$  : Tension de circuit ouvert (V) ; NP : Nombre de panneau en parallèle ; 1.25 : Facteur de sécurité ; 1.2 : Facteur de sécurité ; NS : Nombre de panneau en série ;  $I_{reg}$  : Courant de régulateur (A) ;  $V_{reg \max}$  : Tension de régulateur maximum (V).

#### 4.7. Choix de la batterie.

Le dimensionnement de la batterie consiste à calculer le nombre de batteries nécessaires pour un système d'énergie hybride permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires. Cela dépend principalement des jours d'autonomie souhaitée, la profondeur maximale de décharge de la batterie et la température atmosphérique.

Sachant que le model de batterie choisie est : (Discover AES : 6.6kWh ; 48VDC). Ce choix de batterie est basé sur les critères suivants :

- $C_{batterie} = (E_c (Wh / j) * N_j) / (VDC * D)$ ;
- $C_{batterie} = (14293Wh/j * 2) / (227.1 * 0.85 * 0.8) = \mathbf{185.10Ah}$ . (III.12)

Avec,

$C_{batterie}$  : Capacité de batterie (Ah) ;

$E_c$  : Consommation journalière (Wh /j) ;

$N_j$  : Nombre de jours d'autonomie ;

VDC : Tension du système (V) ;

D : Décharge maximal admissible.

#### 4.8. Dimensionnement des câbles.

La plus part des installations PV ont un courant relativement élevé, les pertes en lignes sont proportionnelles à la valeur de la relation suivante : (Pertes =  $R.I^2$ ).

- Les modules utilisés présentent les propriétés électriques suivantes :
  - $U_{MPP}=63.1V$  ;
  - $I_{MPP}=8.14A$  ;
  - $I_{CC}=8.68A$ .
- Le champ photovoltaïque est constitué de 13 chaînes de 3 modules en série, soit un total de 39modules. La jonction des chaînes est effectuée dans une boîte de jonction au niveau du champ photovoltaïque.
- Les câbles utilisés sont en cuivre tel que la valeur de résistivité du cuivre soit :

$$\rho_1 = 0.02314\Omega.\text{mm}^2/\text{m}.$$

Le calcul de la section de câble est effectué par la relation suivante :

$$S = \frac{\rho_1 \times L \times I}{\epsilon \times V_A} \quad (\text{III.14})$$

Avec,

**S** : Section du câble ( $\text{m}^2$ ) ;

$\rho_1$  : La résistivité du cuivre ( $0.02314\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$ ) ;

**L** : Longueur totale (aller+retour) ( $\text{m}^2$ ) ;

**I** : Intensité de courant (A) ;

$\epsilon$  : Chute de tension (0.03 V) ;

**V** : Tension (V).

Les 04 paramètres calculés ci-dessous sont effectués par l'équation (III.14) :

- **Détermination de la section de câble entre la de boîte jonction du champ photovoltaïque et les panneaux :**

$$S=(0.02314*10*8.14)/(0.03*63.1)=1\text{m}^2 ; \quad (\text{III.15})$$

- **Détermination de la section de câble entre la boîte jonction du champ photovoltaïque et le régulateur :**

$$S=(0.02314*10*105)/(0.03*189.3)=4 \text{ m}^2 ; \quad (\text{III.16})$$

- **Détermination de la section de câble entre l'onduleur et le régulateur :**

$$S=(0.02314*10*158)/(0.03*120)=\mathbf{10\ m^2}; \quad (\text{III.17})$$

- **Détermination de la section de câble entre la boîte jonction des batteries et le régulateur :**

$$S=(0.02314*10*395)/(0.03*144)=\mathbf{21\ m^2}. \quad (\text{III.18})$$

#### 4.9. Volume du bio-digesteur.

Le volume du bio digesteur est calculé en fonction de deux paramètres suivants :

**1-**La quantité de fumier de vache qui doit alimenter le digesteur pour générer la quantité d'énergie électrique demandé en matière sèche est de :

- La ferme expérimentale contient 30 vaches sachant qu'une seule vache laitière génère **10, 19 Kg/jour** donc on aura la quantité de fumier produite total égale :
- Quantité de fumier =  $30*10.19 = \mathbf{305.78\ kg/jour}$  (MS, kg/jour). (III.19)

**2-**Le débit d'eau à alimenter dans le digesteur pour produire le biogaz (ma, kg / jour) est qui égale à **305 kg/jour** équivalent à **305 l/jour** ;

Le taux d'alimentation total du digesteur (mt, kg / jour) est donné par la relation suivante :

- $Mt = \text{Quantité fumier} + \text{Débit d'eau} \Rightarrow Mt = 305.78+305=\mathbf{610\ Kg/jour\ du\ lisier}$ . (III.20)

En assumant que le temps de rétention de cette biogaz sera de 40 jours (Plus la température est élevée, plus le temps de rétention est court, en mois de décembre le temps de rétention doit être plus long). Donc le volume du digesteur sera égal :

$$V_{\text{digesteur}} = Mt * 40 \Rightarrow V_{\text{digesteur}} = 610 * 40 = \mathbf{24.400l} = \mathbf{24.4\ m^3}. \quad (\text{III.21})$$

#### 4.10. Choix de groupe électrogène.

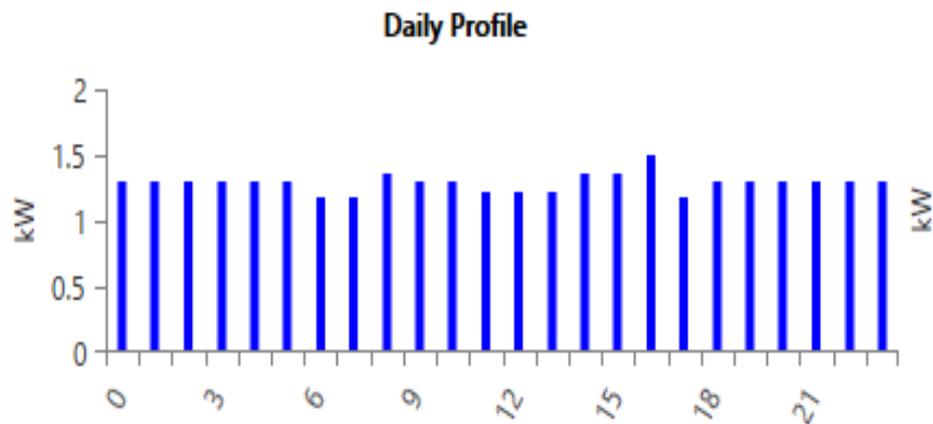
Le type de groupe électrogène qui sera utilisé sera un générateur de 1.5 kW qui fonctionnera jusqu'à 14 heures à la fois, ce qui représente un total de 21 kWh par session de 14 heures, le groupe étant un petit générateur, il ne peut pas fonctionner plus de 8 heures sans temps d'arrêt. Il serait donc préférable d'avoir 2 générateurs de 1.5 kW, au cas où l'un tomberait en panne. Il faut savoir qu'il existe des générateurs conçus pour fonctionner 24 heures sur 24, mais ils sont beaucoup plus grands et plus chers soit environ 8 000 \$ pour une unité de 10 KW.

### 5. Résultat de la simulation.

#### ❖ Présentation du profil de charge horaire quotidienne de la ferme.

La demande de charge électrique quotidienne de la ferme a été estimée à presque 31 kWh / j, La demande de charge électrique quotidienne la plus basse a été estimée à 1kW et la demande énergétique la plus haute à 1.35 kW. Les heures de la journée montrent une consommation de

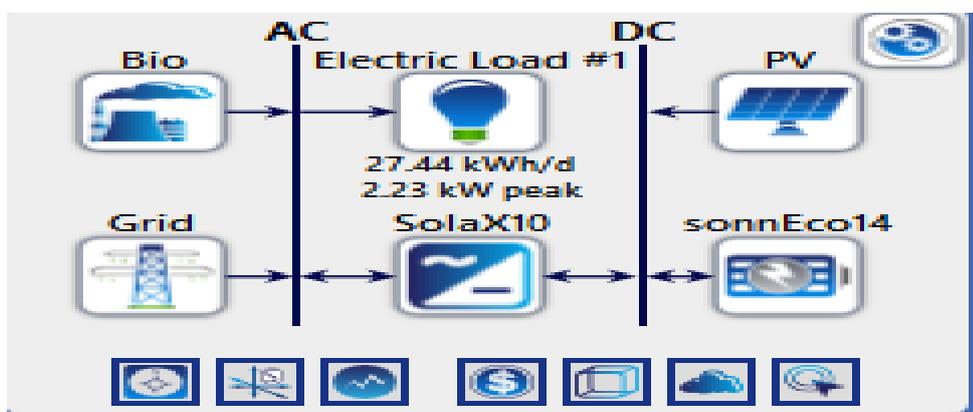
charge électrique sont presque constantes. Dans cette étude, les charges en semaine sont supposées être les mêmes que les charges électriques du week-end. La (figure III.10) montre la demande de la charge horaire quotidienne de la ferme.



**Figure III.10.** Profil de puissance quotidien.

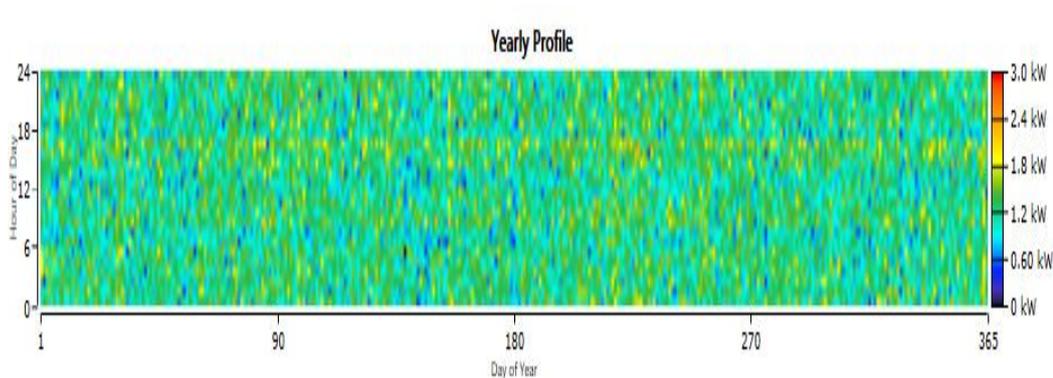
#### ❖ Construction du schéma de conception du système.

Sur l'environnement HOMER, nous avons défini chaque élément de notre installation, en se basant sur toutes les données et les caractéristiques fournis. En amont de l'installation, on définit le potentiel renouvelable disponible (solaire et biomasse). La mise en œuvre de la simulation sous l'environnement HOMER nous a permis de répondre à des objectifs définis dans la proposition du sujet et de démontrer la faisabilité de la mise en œuvre du système hybride conçu. Nous présentons sur la (figure III.11) l'installation relative au système hybride PV-biomasse relié au réseau sur l'interface HOMER.



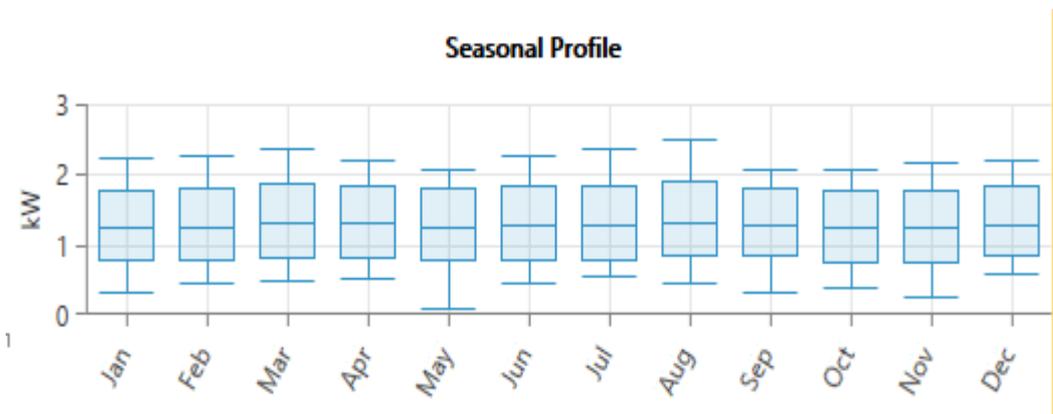
**Figure III.11.** Architecture du système hybride (PV/biogaz) connecté au réseau.

La (figure III.12) montre la demande de la charge horaire annuelle de la ferme.



**Figure III.12.** Profil de charge annuelle.

La figure (III.13) montre la demande de la charge horaire mensuelle de la ferme.



**Figure III.13.** Profil de charge mensuelle.

❖ **Résultats d'optimisation de la configuration du système d'alimentation la plus optimale et réalisable pour la ferme.**

La procédure logicielle HOMER a recherché les solutions optimales entre les nombreuses tailles considérées pour la demande de charge électrique estimée. De plus, les solutions les plus réalisables ont été classées selon LCOE et NPC. Les résultats de l'optimisation montrent que la configuration du système qui comprend qui comprend : (le réseau, 4 batteries, un convertisseur de 10.9kw de panneaux solaires, un générateur biogaz de puissance 1.5kw) est la solution optimale. La (figure III.14) illustre les meilleures configurations du système optimal.

Architecture										Cost			System			
⚠	🔌	🌞	🌿	PV (kW)	PV-MPPT (kW)	Bio (kW)	sonnEco14	Grid (kW)	SolaK10 (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (tons/yr)
				9.00	1.00	1.50	4	999,999	100	LF	\$73,470	\$0,565	\$804,97	\$63,064	95.5	18.0

**Figure III.14.** Les différentes combinaisons faisables.

Les résultats obtenus dans cette étude et concernant le système d'alimentation optimal de la combinaison, sont analysés puis seront pris en compte pour la mise en œuvre.

❖ **Production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques optimaux et d'un générateur de biogaz et le réseau.**

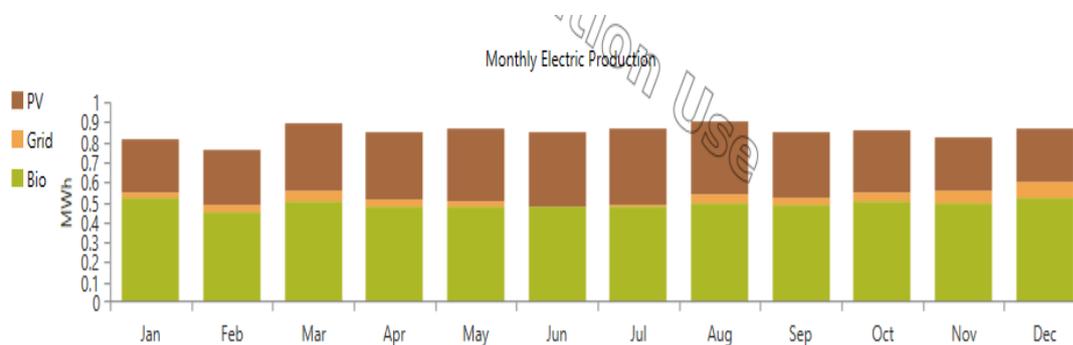
La production annuelle totale d'électricité à partir du système électrique est estimée à 10194 kWh/an, où les panneaux solaires photovoltaïques contribuent à 3855 kWh/an, (37.8%) et le générateur de biogaz à 5891 kWh / an (57.8%), le réseau contribue avec 448kWh/an, (4.93%).

**Tableau III.5.** Production annuelle des générateurs.

Générateurs	Production (KWh/an)
<b>Générateur PV</b>	3855
<b>Générateur Biogaz</b>	5891
<b>Réseau</b>	448
<b>Total</b>	10194

La production annuelle d'électricité d'un générateur de biogaz et le PV solaire domine la production du réseau en raison de la quantité élevée de matière première de la biomasse et de L'irradiation solaire dans la région d'étude. De plus, la production d'électricité à partir du générateur de biogaz est constante durant tous les mois à cause de la disponibilité du fumier. À partir du mois de juin le générateur PV est plus produisant d'énergie en raison de la forte irradiation solaire pendant ces périodes. La consommation d'énergie par les charges AC est %99.6 de la production annuelle totale d'électricité et l'énergie vendu au réseau est estimée à 0.4%. De plus, la charge non satisfaite que le système d'alimentation ne peut pas à servir est estimée à 0kWh /an, l'excès de l'énergie est 0 kWh/an. La pénurie annuelle de capacité qui explique la faisabilité du système électrique est

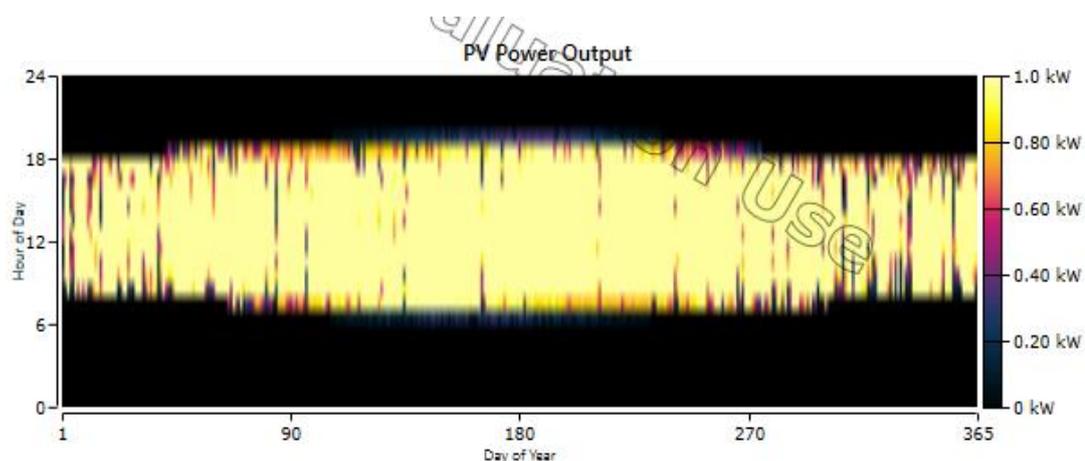
estimée à 0 kWh / an. Néanmoins, la pénurie de capacité annuelle des systèmes électriques réalisables doit être comprise entre 0.5 et 5%. Cependant, ce système électrique hybride solaire PV-biogaz est faisable car il présente une très faible pénurie de capacité annuelle de 0%, ce qui est inférieur à la valeur estimée dans l'étude.



**Figure III.15.** Contribution des générateurs dans la production en fonction des mois.

#### ❖ Performances optimales des panneaux photovoltaïques solaires.

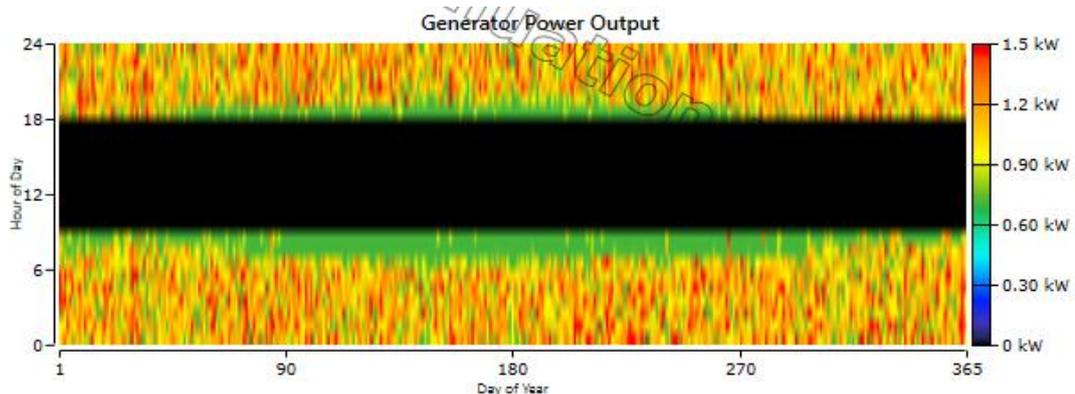
La capacité nominale du générateur photovoltaïque est de 9kW avec une puissance moyenne de 10 kWh / j et un facteur de capacité de 4.89%. Ce générateur photovoltaïque devrait fonctionner pendant 4386 heures/an. De plus, la production d'énergie photovoltaïque commence vers 8h00le matin et se termine à 18hle soir, avec un pic de production d'électricité à midi. Les gammes de puissance produites est entre 0.20 kW à 1 kW. La performance de la production de panneaux photovoltaïques devrait être la même tout au long de la journée. L'électricité produite à partir de la production PV diminue à partir du mois de septembre en raison à une faible irradiation solaire qui résulte de pluies fréquentes et d'une atmosphère nuageuse au cours de cette saison (figure III.16).



**Figure III.16.** Production des panneaux PV en fonction des heures.

### ❖ Performances optimales du générateur de biogaz.

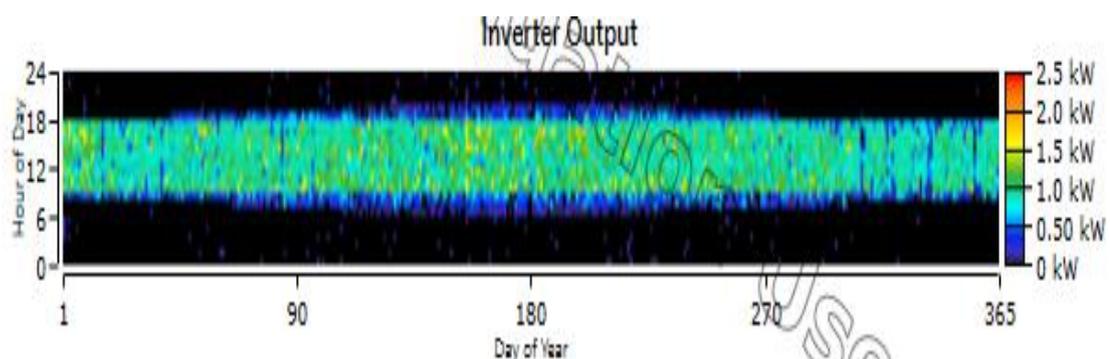
La puissance électrique totale maximale, minimale et moyenne du générateur de biogaz est dans la gamme de puissance entre (0.60kW à 1.5kw), ainsi, le générateur de biogaz peut produire environ 5981kWh / an d'électricité. Le fonctionnement annuel du générateur de biogaz est de 5475 heures / an avec 366 démarrages / an. Il fonctionne pendant 3.65ans avant le remplacement. De plus, il a un facteur d'efficacité de 44.8%. Le générateur de biogaz consommera 18 tonnes / an de biogaz et fonctionne au maximum de 18h00 à 08h00 toute l'année (figure III.17).



**Figure III.17.** Production du générateur de biogaz en fonction des heures de la journée.

### ❖ Fonctionnement et performances optimales du convertisseur.

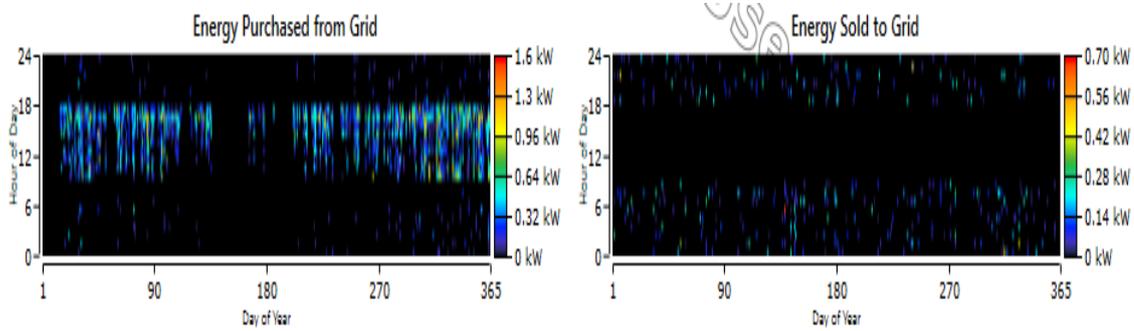
Le convertisseur optimal convertira les charges CC (courant continu) en CA (courant alternatif). L'onduleur a une capacité de 10Kw, avec un facteur de puissance de 4.24%. De plus, les durées de fonctionnement annuelles de l'onduleur est 4479h/an. L'énergie d'entrée et de sortie de l'onduleur est de 3831kWh / an et 3716kWh / an. L'onduleur a des pertes de 115 kWh / an. D'après la (figure III.18), il montre que l'onduleur a un fonctionnement maximale de 8h00 à 18h00 avec une puissance de 0.30 KW à 2 kW. Ce sont les heures du jour où les panneaux PV produisent de l'électricité à courant continu qui est convertie en électricité à courant alternatif pour alimenter les appareils électriques.



**Figure III.18.** Performance de l'onduleur en fonction des heures de la journée.

### ❖ Fonctionnement et performances optimales du réseau.

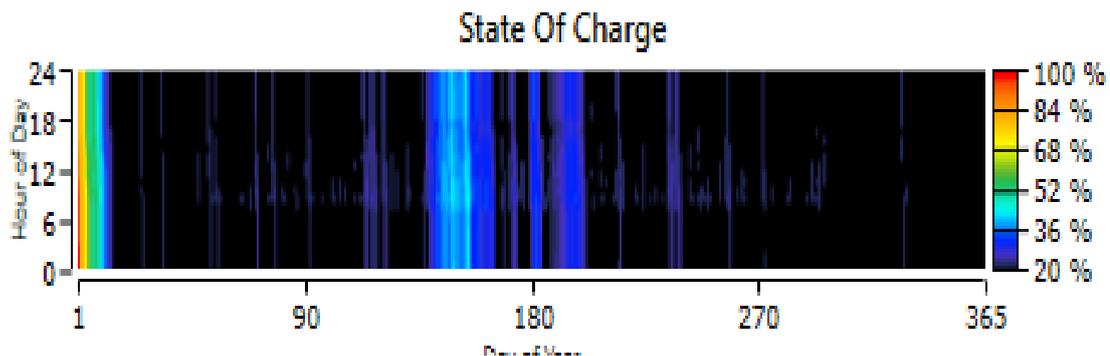
L'énergie achetée du réseau est de 0.32 kW à 0.96 kW, dans une journée de 08h à 18h, l'énergie totale vendue au réseau est de 0.14 kW à 0.28 de 18h à 8h. Ce système est rentable et productif. (Figure III.19).



**Figure III.19.** L'énergie vendue et achetée du réseau en fonction des heures de la journée.

### ❖ Fonctionnement et performances optimales du stockage de la batterie.

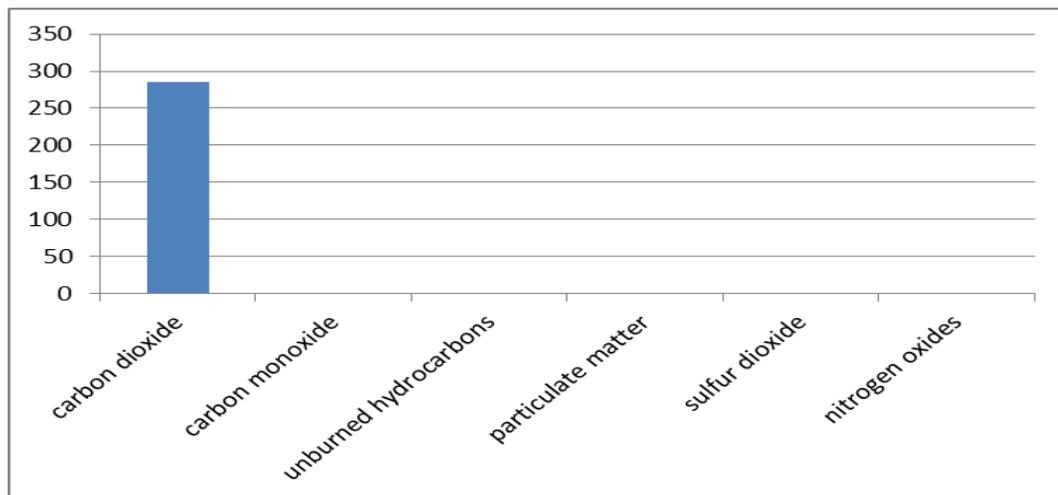
L'énergie totale de stockage de la batterie en (charge) et l'énergie (décharge) sont de 469 kWh / an et 445 kWh/an. (Figure III.20). Le stockage de la batterie a une autonomie de 39.2 heures pour répondre à la charge électrique lorsque les panneaux photovoltaïques et les générateurs de biogaz ne génèrent pas d'électricité ou une instabilité généralisée du réseau, des dégâts matériels (côté production, transport, distribution et clients) et/ou la mise hors tension d'une partie ou de l'ensemble du réseau (blackout). L'état de charge (SOC) décrit le niveau de charge d'une batterie, c'est donc l'inverse de la profondeur de décharge. Un SOC de 100% signifie que la batterie est complètement chargée et 0% signifie que la batterie est vide. Pendant le mois de janvier, le SOC de stockage de la batterie pendant 24h se situe entre 20% et 100%. Le stockage de la batterie a un SOC qui se situe entre 20% et 52% pendant les mois mai, juin, juillet. De plus, le SOC est de près de 20% à 25% pendant les autres mois.



**Figure III.20.** L'état de charge des batteries.

❖ **Analyse des émissions.**

Le PV solaire n'émet aucun polluant dans l'atmosphère mais le biogaz émet une partie des polluants dans l'atmosphère. Le générateur de biogaz émettra 268 kg/an de dioxyde de carbone, 0.0360 kg/an de monoxyde de carbone, 1.23kg/an d'oxyde de soufre, 0.623 kg/an d'oxyde d'azote. Cependant, le dioxyde de carbone libéré dans l'atmosphère sera absorbé par la photosynthèse, faisant ainsi du biogaz une source d'énergie propre (figure III.21).

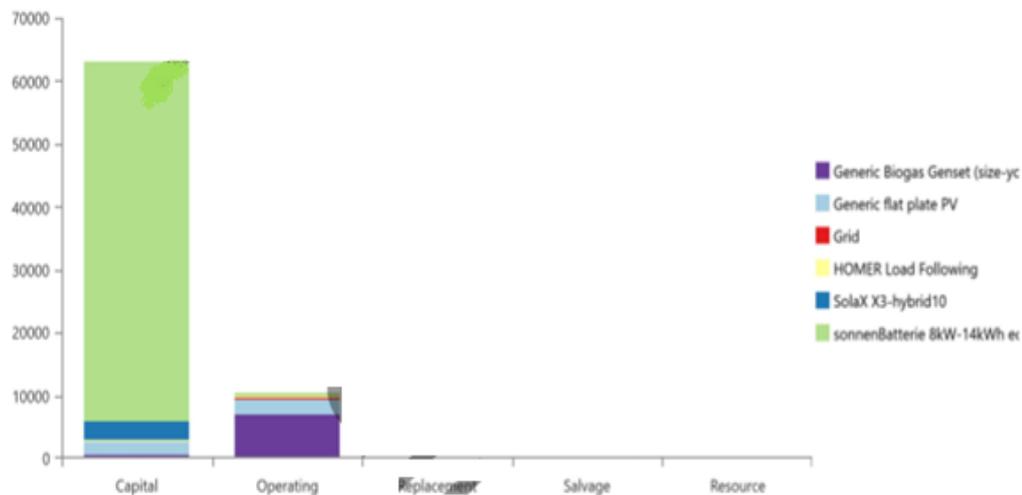


**Figure III.21.** Emissions propagés par le digesteur de biogaz.

## 6. Etude économique.

Coût actuel net du système hybride optimal (NPC) et coût actualisé de l'énergie (LCOE) :

Le système d'alimentation hybride solaire PV-biogaz optimal a un NPC global de 73.470 \$ US, un LCOE de 0.565 \$ US / kWh et un coût opérationnel de 804.97 US \$ / an. Sur le NPC total qui inclut le cout (du capitale, du remplacement, de la maintenance, du carburant et de sauvetage) le stockage des batteries a le NPC le plus élevé de 57.631.94\$ US, suivi du générateur de biogaz7, 557.82 \$ US, le PV est de 4486.95 \$ US, l'onduleur de 3228.49\$ US et le MPPT de 339.28\$ US respectivement. À partir de la figure suivante, on peut voir que plus de la majorité du système d'alimentation hybride NPC est consommée par le stockage de la batterie. De plus, les coûts d'opération et de maintenance (O&M) du générateurs de biogaz représentent plus de la moitié du (O&M) global du système électrique hybride. De plus, l'onduleur a un très faible coût d'exploitation et de maintenance, mais un coût d'investissement élevé par rapport au biogaz (figure III.22).



**Figure III.22.** : Répartition du système d'alimentation optimal NPC par composants

## 7. Gestion de l'énergie du SHPV-BIO.

Le système hybride est composé de deux sous-systèmes (PV/Biogaz) connecté au réseau et égale à la puissance maximale consommée :

A partir des données météorologiques et données de potentiel biomasse disponibles et des modèles pour décrire le comportement du générateur biogaz et photovoltaïque que nous avons décrits précédemment, on calcul pour chaque heure  $i$  l'énergie produite ( $E_{PV}(i) + E_B(i)$ ). Celle-ci est comparée avec la charge électrique ( $E_{charge}$ ). Sachant qu'il y a : 24 heures par jour, 720 heures par mois, 8760 heures par an.

Si la différence entre l'énergie produite et l'énergie consommée appelée  $D$  est positive, alors l'excès d'énergie  $E_{toSTOCK}$ , est stocké dans le stockage ; et vendu au réseau. Si cette différence est négative, il y a donc une pénurie d'énergie et le dispositif de stockage doit fournir l'énergie nécessaire manquante  $E_{fromSTOCK}$  ; Si l'énergie stockée n'est pas suffisante pour assurer cette différence, l'énergie qui provient du réseau est utilisé, sinon une avarie est enregistrée et les paramètres suivant sont calculés – énergie non satisfaite, nombre et durée des pannes. La méthode ainsi décrite est présentée dans le paragraphe ci-dessous. Les calculs réalisés pour chaque heure de l'année, ensuite les paramètres annuels seront calculés par :

- La différence absolue annuelle entre l'énergie produite et la charge  $D_{an}$  est :

$$D_{an} = \sum_{n=1}^{8760} (E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}).$$

- L'énergie stockée  $E_{STOCK}$  et sa valeur maximale  $E_{STOCK, max}$  est donnée par :

$$E_{stock} = \sum_{n=1}^{8760} (E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i)) \text{ si } E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i) > 0;$$

$$E_{stockmax} = \sum_{n=1}^{8760} (E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i)) \text{ si } E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i) > 0.$$

- La pénurie réglée (un petit manque d'énergie réglé par l'énergie stockée) est :

$$E_p = \sum_{n=1}^{8760} (E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i)) \text{ si } E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) - E_{charge}(i) >= 0.$$

- Ou bien La pénurie est réglée par le réseau (en cas d'absence du stockage) est :

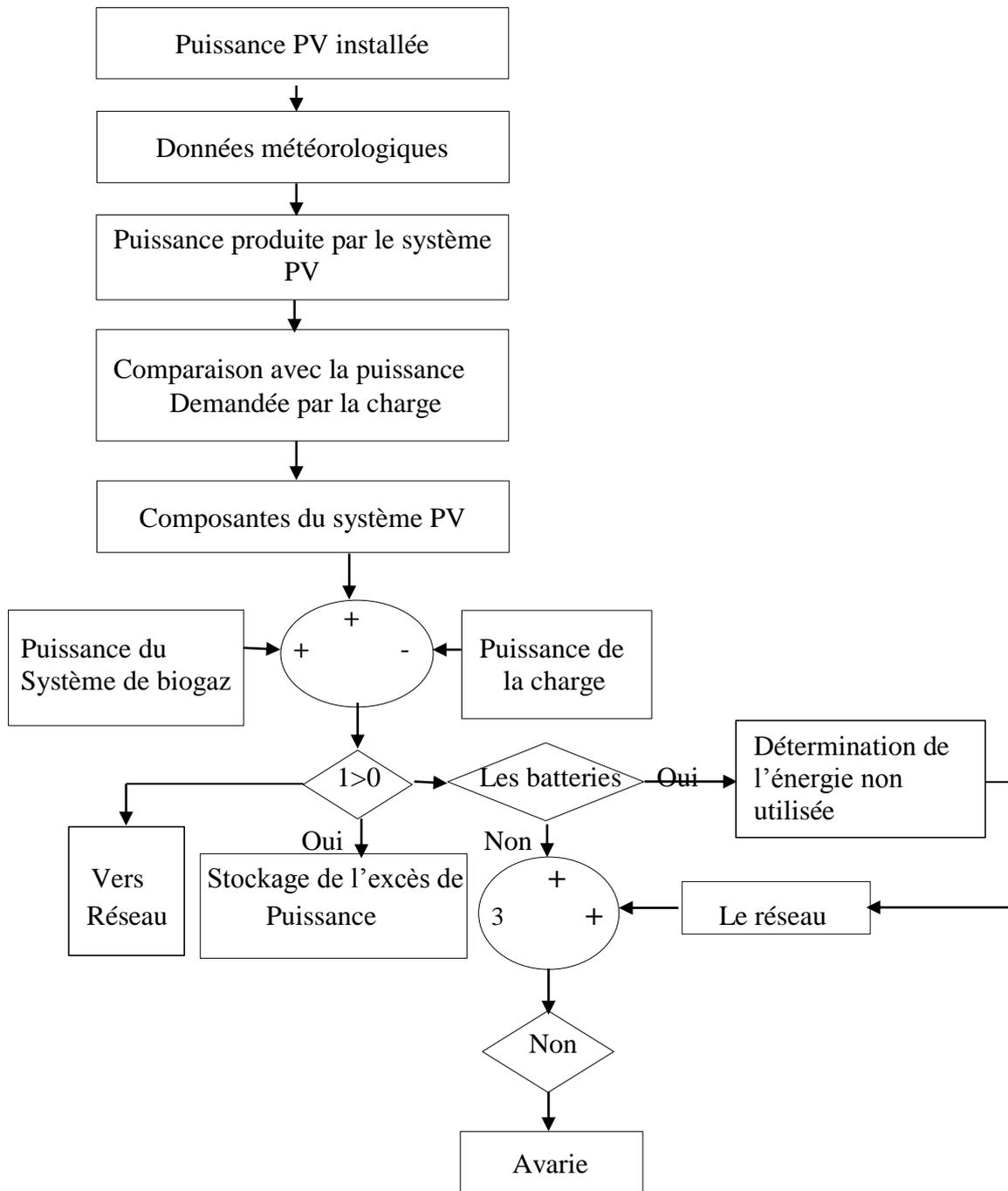
$$E_p = \sum_{n=1}^{8760} (E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i)) \quad \text{si} \\ E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i) >= 0.$$

- L'avarie (le stockage n'as pas réglé le manque nous avons une coupure).

- L'énergie totale non satisfaite  $E_{fault}$  et la durée des avaries au cours de l'année  $T_{fault}$  sont :

$$E_{fault} = \sum_{n=1}^{8760} (E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i)) \quad , \text{si}, \\ E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i) < 0;$$

$$T_{fault} = \sum_{n=1}^{8760} (E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i)) / E_{charge}(i) \quad , \text{si}, \\ E_{from\ stock} + E_{pv}(i) + E_b(i) + E_R(i) - E_{charge}(i) < 0.$$

**7.1. Organigramme.****Figure III.23.** : Stratégie de gestion du système.**7.2. Interprétation.**

La définition de la stratégie de gestion de notre système hybride (PV-Biogaz) connecté pour la production d'énergie électrique nous a permis de conclure plusieurs points importants, notamment :

- Une partie de l'énergie produite par le système photovoltaïque est ajoutée à la production provenant du système de biogaz. Ainsi, la somme des forces produites est comparée à la force appelée par la charge. En cas d'excès, il est sauvegardé avec le reste de l'énergie produite par le système hybride et vendu au réseau ;
- On a recourt au stockage des batteries si l'énergie de biogaz et photovoltaïque ne satisfont pas la puissance demandé par la charge ;
- Si la production du système photovoltaïque et celle de Biogaz et le Stockage ne sont pas suffisantes pour couvrir la charge ou dans un cas d'incendie, on aura recourt au réseau.

Si toutes les sources d'énergie disponibles ne sont pas suffisantes pour la satisfaction de la consommation une avarie est enregistrée et l'énergie non satisfaite est calculée. La stratégie de fonctionnement est illustrée sur la (figure III.23).

## **8. Conclusion.**

Les simulations numériques présentées dans cette partie ont permis de montrer que le, système de génération étudié pouvait fonctionner sur différentes configurations.

Logiciel HOMER détermine que le système est faisable, il peut servir les charges électriques demandées. On peut alors envisager l'installation d'un système de production à base d'énergie solaire photovoltaïque et biogaz. En effet, les équipements ont une bonne efficacité énergétique, ce qui permet de tirer le meilleur bénéfice du système. Les solutions recherchées sont réalisables techniquement parlant. Dans cette étude, un système d'alimentation hybride composé d'un générateur solaire photovoltaïque et de biogaz connecté au réseau a été modélisé et optimisé avec succès. Le potentiel technique et du fumier animal disponible à la ferme pour la production de biogaz a été évalué. En outre, les données mondiales sur l'irradiation solaire pour la ferme ont été récupérées de la base de données des ressources solaires de la base de données de Homer. Les résultats de l'optimisation HOMER ont montré que le système d'alimentation hybride qui comprend des panneaux PV capacité de 9 kW, capacité du générateur de biogaz de 1.5 kW et convertisseur 10kW, connecté au réseau, est un système d'alimentation productif.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le secteur agricole offre la possibilité de développement des nouvelles ressources en énergies renouvelables qui demeurent, à ce jour, insuffisamment exploitées dans le pays. La valorisation de la biomasse agricole s'avère être une ressource sûre, dans la mesure où cette énergie est disponible sous des formes diversifiées dans les exploitations, et peut être génératrice d'une autosuffisance énergétique renouvelable à petite et moyenne échelle.

Les travaux présentés dans ce mémoire concernent le dimensionnement d'un système hybride (PV-Biomasse) avec un système de stockage relié au réseau pour alimenter la ferme d'élevage de l'université de Mostaganem par l'énergie électrique.

En premier temps, nous avons étudié le principe et l'influence de chaque composant constituant le système PV et le digesteur anaérobie de biogaz. Ce chapitre nous a permis d'approfondir nos connaissances sur le gisement solaire en Algérie et les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et le potentiel de biogaz disponible qui sert à diminuer l'émission du gaz à effet de serre par le processus de méthanisation qui peut valoriser la production électrique. Nous avons acquis beaucoup d'information sur l'algorithme de dimensionnement des installations PV, l'organigramme de conception des systèmes biomasses et la gestion d'un système hybride.

Dans le deuxième chapitre du mémoire on a présenté les caractéristiques et la modélisation de chaque composant du système hybride biomasse- photovoltaïque, nous avons conclu la stratégie et les paramètres à considérer comme les variations de la charge, le potentiel énergétique et les étapes d'application et implémentation.

Dans le dernier chapitre nous avons étudié une configuration optimale d'un système hybride (PV-Biomasse) selon les données météorologiques du site (Hassi-Mamèche-Mostaganem) afin de satisfaire les charges de la ferme agricole.

Le système conçu peut satisfaire tous les besoins AC pendant toute l'année sans pénurie, ce qui explique la faisabilité du système. Un taux de 0.4% de l'énergie produite pendant l'année est injectée dans le réseau destinée pour la vente.

En fin, pour contribuer à la solution aux problèmes d'énergie, il est intéressant de développer des sources décentralisées de ces énergies. Dans la recherche de telles solutions, le système hybride développé pourra constituer un moyen très économique pour l'énergie d'électrification rurale et améliorer les performances et les techniques pour la distribution des réseaux électriques à l'échelle nationale. Cependant, à l'échelle universitaire la réalisation de ce système au niveau de la ferme peut aménager un plateau technique et un support pour la formation pratique des étudiants.

Pour ce sujet nous avons une simple recommandation c'est élargir le dimensionnement et la réalisation de ce système hybride en ajoutant d'autres sources tel que les éoliennes et les concentrateurs solaires pour éviter le déplacement des étudiants pour les stages.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BOUBOU-BOUZIANI N, (Potential and development of renewable energies in Algeria); Communication Science & technology vol 19. July 2017 COST, pp. 123-125-126.
- [2] BOUDEN A. « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque» Mémoire de magistère, Université de Constantine, Algérie 2008, pp.31-32-33.
- [3] PETIBON S. “Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques,” Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, Janvier, 2009.
- [4] SCHILLER E. «le pompage photovoltaïque» .Manuel de cours, Université d’Ottawa, Canada. MAI 2017, pp. 8-22-28-30-31.
- [5] CHIKH M, A. Malek et M. Drif, ‘Corrélation de la Fraction Diffuse de l’Irradiation Solaire en Algérie’, Revue des Energies Renouvelables, Valorisation, Tlemcen, pp. 125 - 129, 1999.
- [6] MEKIDECHE M, « Énergies renouvelables, quels bouquet énergétique pour l’Algérie », In NOOR, Revue trimestrielle du Groupe SONELGAZ, N°7, Algérie, Décembre 2008.
- [7] « Produire plus propre », Centre National des Technologies de Production plus Propre, Ministère de l’aménagement du territoire et de l’environnement, N°08, Mai-Juin 2011.
- [8] « HYDROPLUS», Environnement magazine, Victoires Édition, Hors-série pays arabes, Mai 2010, P 54.
- [9]<https://terresolaire.com/comprendre-le-solaire/photovoltaique/histoire-du-photovoltaique/>.3 implantations en France : Vernon (Ouest) - Lyon (Sud Est) - Montpellier (Sud) © Terre Solaire 2020.
- [10] cours dimensionnement des installations PV ,2017/2018, 3ème année licence université de Biskra.pp.13-15.
- [11] Cours dimensionnement et réalisation des installations-école Ifeg. Février 2020, pp. 4-5-8.
- [12]<http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/11510/1/Ms.ELN.Zerrouki%2BBereksi20Reguig.pdf>.pp, 10-11.
- [13] Zighed L. Etude de l'influence de nouveaux films anti réfléchissants sur la conversion photovoltaïque. Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie 2007. P 11.
- [14] C CABAL Optimisation énergétique de l’étage d’adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque. Thèse de Doctorat de l’Université de Toulouse France 2008.pp.20-21.

- [15] BEKKOUCHE B. 2019-2020. Cours sur les systèmes multi-sources en énergies renouvelables. Master 2, université de Mostaganem.
- [16] PETIBON S. Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse France 2009.pp.15-17.
- [17] Séminaire 2010 de l'Ecole Doctorale RP2E « Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits et Environnement », Nancy, 28 janvier 2010– ISBN 2-9518564-8 2\_PRODUCTION\_DU\_BIOGAZ\_PAR\_DIGESTION\_ANAEROBIE\_ASPECTS\_TECHNOLOGIQUES\_ET\_ENVIRONNEMENTAUX.pp.2-4-5-7-8.
- [18] Chadefaux S. Service Energies Renouvelable Miel Vert – 11 janvier 2017.pp.8-27.
- [19] <https://oxfamilibrary.openrepository.com/bitstream/handle/10546/136537/tbn21-biogas-generators-24062011-en.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.biogas@zorg biogas.com.
- [20]<https://www.conserve-energy-future.com/advantages-and-disadvantages-of-biogas.php>.© 2020. Conserve Energy Future . All Rights Reserved.
- [21] <http://eagri.org/eagri50/AENG352/lec14.pdf>.pp.1-2-3.
- [22] Rapport systèmes de production des énergies renouvelables Biogaz/digesteur (Université Sidi Mohamed Ben Abdellah – FES 2017).pp.2-3-11.
- [23] <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1083428/FULLTEXT>.
- [24] Malin F. Simulation and Optimization of a Hybrid Renewable Energy System for application on a Cuban farm UPTEC STS 17005 Examensarbete 30 hp Januari 2017 pdf.pp.8-9-10-18.
- [25] Atelier bovin lait (2003), TRAME, biogaz Lorraine,6p, [http://doc.ruraleurope.org/public/Web/Evenements/2004/Biomethanisation/\\_France.pdf](http://doc.ruraleurope.org/public/Web/Evenements/2004/Biomethanisation/_France.pdf).
- [26] Baserga U. (2000), « Fermentation de déchets organiques dans les installations agricoles de biogaz », FAT Rapports, n°546. Tänikon. : Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), CH-8356 — 12p.
- [27] Borowy, B.S., Salameh, Z.M., (1996). Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a Wind/PV hybrid system. IEEE Transactions on energy\* conversion, vol. 11, pp. 367-375, 1996.
- [28] Azbe, V., Mihalic, R., (2006). Distributed generation from renewable sources in an isolated DC network. Renewable Energy, vol. 31, pp. 2370–2384, 2006.
- [29] <https://www.youtube.com/channel/UCkXdyAGKs9dakJlgdJ5vfw>.
- [30] [https://www.appropedia.org/Biogas\\_as\\_fuel](https://www.appropedia.org/Biogas_as_fuel).
- [31] Cours machines électrique licence 2017/2018 université de biskra.

- [32] Cours de stockage Master2 2019/2020 université de Mostaganem.pp.2-3-5.
- [33] Bioenergie. (2011). La méthanisation reconnue en France comme une activité agricole. Consulté le 2 mai 2019, sur BIOénergie : <https://www.bioenergie-promotion.fr>.
- [34] Chanakya, H., Venkatsubramaniam, R., & Modak, J. (1997). Fermentation and methanogenic characteristics of leafy biomass feedstocks in a solid phase biogas fermentor. *Bioresource Technology*, 62 (3), pp. 71-78.
- [35] Cartographie des unités de méthanisation et de biogaz, SINOE Déchets.
- [36]<http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome-1/exemple-calcul-section-cables.php>.
- [37] Solargis global solar radiation data / Time Series and TMY / Untitled Content Page | Solargis 2019.
- [38] RECHIDI-SIDHOUM N. 1. Proposition de valorisation de la biomasse agricole comme source d'énergie renouvelable. Cas de l'exploitation de l'Université de Mostaganem ; (Algérie):01/03/2020.pp.55-56-60-62.
- [39] K. Kety 1, K.A. Amou 1, K. Sagna 1 \*, K. Tepe 1,2, Y. Lare 1 et K. Napo1 ; Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque : Cas du module polycristallin Ecoline LX-260P installé au dispensaire de Sévagan (Togo) ; *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 19 N°4 (2016) 633 – 645.pp.3-4.
- [40] 1\*AKPOJARO, J; 2OFUALAGBA, G; 2AKPOJARO, MA; Electricity Generation from Cow Dung Biogas. July 2019.pp.3-4-5.

## ANNEXES

### 1- Caractéristiques électriques du module photovoltaïque.

Puissance Max (w)	500
Vmp(V)	63.1
Imp(A)	8.14
Voc(V)	75.7
Isc(A)	8.68
Module Efficiency	14.9%
Number of bypass diodes	10
Power Tolerance	+5%

### 2- Caractéristiques électriques de l'onduleur.



INPUT (DC)	A 3000/B 3000	A 4000/B 4000	A 6000/B 4000	A 8000/B 5000
Max.PV array power [Wp]	A 3000/B 3000	A 4000/B 4000	A 6000/B 4000	A 8000/B 5000
Max.DC voltage [V]	1000	1000	1000	1000
Nominal DC operating voltage [V]	720	720	720	720
Max. input current [input A/input B] [A]	11/11	11/11	20/11	20/11
Max. short circuit current [input A/input B] [A]	14/14	14/14	23/14	23/14
MPPT voltage range[V]	180-950	180-950	180-950	180-950
Start operating voltage[V]	180	180	180	180
No. of MPP trackers	2	2	2	2
Strings per MPP tracker	A 1/B 1	A 1/B 1	A 2/B 1	A 2/B 1
<b>INPUT AC</b>				
Max. apparent AC power[VA]	5000	6000	8000	10000
Max. AC current[A]	8,0	9,6	12,8	16,0
Nominal grid voltage(AC voltage range)[V]	400/230,380/220	400/230,380/220	400/230,380/220	400/230,380/220
Nominal grid Frequency/range[Hz]	50/60	50/60	50/60	50/60
<b>OUTPUT AC</b>				
Nominal AC power [VA]	5000	6000	8000	10000
Max. apparent AC power [VA]	5000	6000	8000	10000
Nominal grid voltage(AC voltage range) [V]	400/230,380/220			
Nominal grid frequency/range [Hz]	50/60			
Nominal AC current [A]	7,2	8,7	11,6	14,5
Max. AC current [A]	8,0	9,6	12,8	16,0
Displacement power factor	0,8 leading ... 0,8 lagging			
THDi, rated power [%]	<3			
<b>OUTPUT DC (BATTERY)</b>				
Battery voltage range [V]	160-800			
Max.continuous charge/discharge current [A]	25			
Communication interfaces	CAN/RS485			
Reverse connect protection	Yes			

### 3-Caractéristiques électriques de la batterie.



#### Technical Data sonnenBatterie

	eco 8/2	eco 8/4	eco 8/6	eco 8/8	eco 8/10	eco 8/12	eco 8/14	eco 8/16
Usable battery capacity (kWh)	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0
Cell chemistry	LFP (Lithium Iron Phosphate)							
Variety <sup>1</sup> (2-10 kWh)								
Weight kg	53	88	115	142	169	-	-	-
Dimensions H/W/D cm	70/64/22	137/64/22	137/64/22	137/64/22	137/64/22	-	-	-
Variety <sup>1</sup> (2-16 kWh)								
Weight kg	53	93	120	147	174	201	228	255
Dimensions H/W/D cm	70/64/22	184/64/22	184/64/22	184/64/22	184/64/22	184/64/22	184/64/22	184/64/22
Rated inverter power (W) (charging/discharging)	1,500	2,000	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
Maximum inverter efficiency				93 %				
Maximum battery efficiency				98 %				
Ambient temperature range				5° - 30°C				
Dust & water protection				IP 21				
Operating mode				single phase				

### 4-Caractéristique technique du générateur biogaz.



### Quick Details

Place of Origin:	Guangdong, China	Brand Name:	PUXIN
Model Number:	1.5KW-5KW	Rated Voltage:	12V
Rated Current:	8.3A	Frequency:	50Hz, 50HZ/60HZ
Output Type:	DC/AC	Generator Type:	Single-phase Brush Motor
Suitable gas:	Biogas/LPG	Engine Type:	CC168F
Gas consumption:	1.4 m3/h	Bore X Stroke:	68 x 45mm
life span:	more than 10 years	cost:	economical
description:	1.5kw biogas generator for electricity generating		