

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila

Institut des Sciences et de Technologie

Département de Sciences et Technologie



N° Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme

de MASTER

Spécialité : Électromécanique

**Dimensionnement et Étude d'une installation photovoltaïque
Pour le site universitaire de Mila**

Réalisé par :

- Souyah Islam
- Messai Sami

Soutenu devant le jury :

**M. Baazi S
M. Yassad D
M. Mehimmedetsi B**

**Président
Examineur
Promoteur**

Année universitaire : 2019/2020

remerciements

Tout d'abord nous remercions notre Dieu de nous avoir guider toute nos études : Primaire, fondamentale, secondaire, universitaire et de m'avoir réalisé ce travail

En commençant par remercier monsieur B. Mehimedetsi le directeur D^r recherche de ce mémoire pour son aide précieuse et pour le temps qui nous a consacré.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de signer à notre soutenance.

Nos vifs remerciements aussi à tous les profs de M2 électromécanique Abdelhafid Boussouf Mila.

Enfinement nous tenons à remercier nos enseignant de spécialité et la promotion 2019/2020

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail ♠ A mes chers parents pour leurs sacrifices et qui n'ont jamais cessé de m'encouragé que dieu me les garde. ♠ A Mes chers frères Mohamed et wail mes chères sœurs ritadj, bouchra, et ces enfants **abdou** et **abidou** ♠ A mon binôme, mon frère **sami** et son famille. A mes amis **lokman diaa aymen mouaad ahmed et haythem** ♠ Ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de prés ou de loin et que j'ai omis de citer*

islam

Dédicace

*Je dédie cet humble travail à mes **chers parents** pour leurs sacrifices et qui n'ont cessé de m'encourager à être préservée par Dieu à mes **chers frères** à mon partenaire et frère **Islam** et à sa famille. À mon ami **Muhammad al-Hadi** et à mon professeur superviseur **B. Mehimmedetsi**, ainsi qu'à toutes les personnes que je connais de près ou de loin et que j'ai oublié de mentionner*

sami

déclaration

1. Ce mémoire est le fruit d'un travail personnel et constitue un document original.
2. Je sais que prétendre être l'auteur d'un travail écrit par une autre personne est une pratique sévèrement sanctionnée par l'Arrêté N°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat.
3. Les citations reprises mot à mot à d'autres auteurs figurent entre guillemets avec la mention, en bas de page, du nom de l'auteur, l'ouvrage et la page.

Nom :..... **Prénom** : **Signature** :.....

Nom : **Prénom** : **Signature** :.....

Résumé :

Dans notre travail, nous allons étudier un système d'Energie photovoltaïque avec batterie visant à produire une Energie électrique propre et non polluante pour alimenter une charge considérable (la charge du centre universitaire Mila)

On va faire simuler le dimensionnement' une installation autonome PV avec batterie dans deux cas :

- PV avec batterie Isolé au réseau électrique
- PV avec batterie connecter au réseau électrique

Pour faciliter ce travail, nous avons utilisé le programme HOMER PRO qui nous permet de choisir l'architecture le plus approprié et le moins cher.

Mots clés : panneau photovoltaïque, convertisseur, batterie, réseau

Summary:

In our work, we will study a photovoltaic energy system with battery aimed at producing clean and non-polluting electrical energy to provide a considerable load (the load of the university center of Mila)

We will simulate the sizing of an autonomous PV installation with battery in two cases:

- PV with battery isolated from the electricity grid
- PV with battery connect to the electricity grid

To facilitate this work, we used the HOMER PRO program which allows us to choose the most suitable and cheapest architecture.

Keywords : photovoltaic panel, converter, battery, network

ملخص :

في عملنا ، سوف ندرس نظام الطاقة الكهروضوئية ببطارية تهدف إلى إنتاج طاقة كهربائية نظيفة وغير ملوثة لتوفير حمولة كبيرة (حمولة مركز جامعة ميلان)
سنقوم بمحاكاة حجم التركيب الكهروضوئي المستقل بالبطارية في حالتين:

- مع بطارية معزولة عن شبكة الكهرباء
 - مع بطارية متصلة بشبكة الكهرباء
- لتسهيل هذا العمل ، استخدمنا برنامج HOMER PRO الذي يسمح لنا باختيار العمارة الأكثر ملاءمة والأرخص.
الكلمات المفتاحية : لوحة كهروضوئية ، محول ، بطارية ، شبكة

Table des illustrations :

Figure 1. Cellule photovoltaïque	03
Figure 2. Le rayonnement solaire	04
Figure 3. Spectre solaire hors atmosphère [5,6]	05
Figure 4. Présentation schématique d'une cellule solaire.	07
Figure 5. Module photovoltaïque	08
Figure 6. Boîte de jonction	08
Figure 7. Panneau solaire	10
Figure 8. Technologies des cellules photovoltaïques	11
Figure 9. Schéma des cellules photovoltaïques en séries	14
Figure 10 : Schéma des cellules photovoltaïques en parallèle	14
Figure 11. Convertisseur survolteur réel	16
Figure 12. Convertisseur dévolteur-survolteur réel	17
Figure 13. Schéma de principe de l'onduleur	18
Figure 14. Alimentation sans coupure	18
Figure 15. Convertisseur de fréquence	18
Figure 16. Montage d'un onduleur en demi-pont	19
Figure 17. Montage d'un onduleur en pont	20
Figure 18. Montage d'un onduleur push-pull	20
Figure 19. Représentation d'un onduleur triphasé	21
Figure 20. Symbole d'un redresseur.	22
Figure 21. Les différents types de redresseurs.	22
Figure 22. Schéma équivalent d'une cellule idéale	23
Figure 23. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle	24

Figure 24 Système autonome PV, Batterie	27
Figure 25. Bibliothèque de Homer	31
Figure 26. localisation géographique de centre universitaire Mila	32
Figure 27. Température moyenne maximale et minimale	33
Figure 28 Température du site étudié.....	33
Figure 29. Irradiance et indice de clarté du site étudié	34
Figure 30. profil de charge du site étudié	34
Figure 31. .profil de charge du site étudié	35
Figure 32. Coût en fonction des composants du système	36
Figure 33. Énergie produite électrique moyenne mensuelle.....	37
Figure 34. état de charge des batteries	38
Figure 35. énergie produite par les panneaux photovoltaïques	39
Figure 36. Schéma bloc du système électrique connecte au réseau.....	40
Figure 37. schéma bloc du système électrique connecté au réseau.....	42
Figure 38. Etat de charge des batteries.....	44
Figure 39.énergie produite par les panneaux photo voltaïques.....	44

Liste des tableaux :

Tableau 01. Rayonnement solaire.....	05
Tableau 02. Comparaison des différentes technologies.....	13
Tableau 03 : les paramètres d'une batterie de plomb acide.....	30
Tableau 04. Résultat de PV avec batterie isolé du réseau.....	35
Tableau 05. Energie produite en kW/an.....	37
Tableau 06. Consommation de la charge totale KWh/an.....	37
Tableau 07. Caractéristique de la batterie isolée du réseau.....	38
Tableau 08. caractéristique des panneaux photovoltaïques isolé du réseau.....	39
Tableau 09. Résultat de PV avec batterie connecte au réseau.....	41
Tableau 10. caractéristique de la batterie connecte au réseau	43
Tableau 11. caractéristique des panneaux photovoltaïques connecte au réseau.....	45

Liste des symboles

V_{pv} : La tension de sortie d'un panneau photovoltaïque.

V_t : Tension thermique ;

R_s : Résistance série de la cellule PV.

R_p : Résistance shunt de la cellule PV.

I : Le courant circulant dans la diode.

$I_{sc} = I_{cc}$: Courant de court-circuit.

I_{or} : est le courant de court-circuit de la cellule à la température de référence T_n et l'éclairement de référence ;

I_p : Le courant circulant dans la résistance RP

I_{pv} : Courant généré par la cellule photovoltaïque.

I_{ph} : Courant de la cellule PV (Photo-Courant).

I_d : Le courant circulant dans la diode.

I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode.

E_g : Énergie de Gap du matériel de la cellule PV en [eV]

E : L'éclairement absorbé par la cellule

E_{ref} : L'éclairement de référence (1000 w/m²)

T_n : Température de référence des cellules PV [°K].

N : Facteur d'idéalité de la photopile

K : Constant de Boltzmann (1,38.10⁻²³J/K)

q : Charge de l'électron (1,6.10⁻¹⁹ C).

Table des matières

Introduction générale.....	01
I.1. Introduction	03
I.2. Description d'une cellule photovoltaïque	03
I.3. Le rayonnement solaire	03
I.3.1. Spectre solaire.....	04
I.3.2. Durée d'insolation	05
I.4. Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque :.....	06
I.4.1. La cellule photovoltaïque	06
I.4.2. Le module photovoltaïque	07
I.4.3. Caractéristiques d'un module	09
I.4.4. Le panneau solaire	10
I.4.5. Principe de fonctionnement du panneau solaire	10
I.4.6. Technologies des cellules photovoltaïques.....	11
I.4.7. Comparaison des différentes technologies	12
I.4.8. Mise en série et en parallèle des cellules photovoltaïques	13
I.4.8.1. Mise en série	13
I.4.8.2. Mise en parallèle	14
I.5. CONCLUSION.....	15
II.	16
II.1. Introduction.....	16
II.2. Les convertisseurs continu/continu (DC/DC).....	16
II.2.1. Hacheur survolteur (Boost)	16
II.2.2. Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)	16

II.3. Les Convertisseur continu-alternatif (DC/AC) Les onduleurs	17
II.3.1. Les types des onduleurs	17
II.3.1.1. Onduleurs autonomes	17
II.3.1.2. Onduleurs non autonomes (ou assistés).....	18
II.3.1.2.1. Onduleur monophasé	19
II.3.1.2.2. Onduleur monophasé en demi -pont.....	19
II.3.1.2.3. Onduleur monophasé en pont (pont H)	20
II.3.1.2.4. Onduleur push-pull.....	20
II.3.1.2.5. Onduleur triphasée.....	21
II.4. Les convertisseurs continu-alternatif (AC-DC) - Les redresseurs	21
II.4.1. Les différents types de redresseurs	22
II.5. Modélisation des cellules photovoltaïques	22
II.5.1. Circuit équivalent d'une cellule solaire	22
II.5.1.1. Cas d'une cellule idéale	22
II.5.1.2. Cas d'une cellule réelle.....	23
II.6. Conclusion	25
III.	25
III.1. Introduction.....	26
III.1.1. Définition des Systèmes d'Energie Hybride (SEH) :.....	26
III.2. Présentation du système photovoltaïque autonome	26
III.3. Principaux composant du système d'énergie hybride photovoltaïque.....	27
III.3.1. Descriptions du composant du système photovoltaïque autonome.....	28

III.3.1.1. Système de stockage.....	28
III.3.1.2. Modélisation de système de stockage	28
III.3.1.3. Modèle de la charge de la batterie.....	28
III.3.1.4. Modèle de la décharge de la batterie	29
III.3.1.5. La tension de la batterie	29
III.3.1.6. Convertisseur.....	30
III.3.1.7. Profils de charge	30
III.4. Conclusion	30
IV.1. Introduction	31
IV.2. Le logiciel HOMER	31
IV.3. Choix de site :.....	31
IV.4. La température.....	32
IV.5. Irradiance du site étudié	33
IV.6. Profile de charge.....	34
IV.7. Cas 1 : PV avec batterie isolé du réseau.....	35
IV.7.1. Résultat de la simulation.....	35
IV.7.2. Étude économique	36
IV.7.3. Etude électrique	37
IV.7.4. Dimensionnement de la batterie	38
IV.7.5. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques	39
IV.7.6. Commentaires	39
IV.8. Cas 2 : PV avec batterie connecte au réseau :.....	40
IV.8.1. Résultats de simulation	41

IV.8.2. Étude économique	42
IV.8.3. Étude électrique	42
IV.8.4. Dimensionnement de la batterie	43
IV.8.5. Dimensionnement des panneaux photovoltaïques	44
IV.8.6. Commentaires	45
IV.8.7. Conclusion :	45
IV.9. Références	47

Introduction générale

Introduction générale

L'approvisionnement en énergie suffisante est indispensable au développement économique durable de n'importe quel pays. Les énergies renouvelables peuvent être une alternative aux énergies fossiles.

La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire qui a une possibilité de développement efficace et durable, tant que le soleil brille encore, c'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires.

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus prometteuse et libre, puissante parmi les autres types d'énergies renouvelables. L'électricité photovoltaïque est le résultat d'une transformation directe de la lumière du soleil en électricité au moyen des cellules PV.

L'exploitation directe de l'énergie solaire relève une technologie bien distincte c'est de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque, elle provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique, cette conversion d'énergie s'exécute par le biais d'une cellule dite cellule photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée au soleil. La tension générée par une cellule (PV) peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

L'association de plusieurs cellules (PV) en séries/parallèles donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV), qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale, dépendant de niveau d'éclairement et de la température, ainsi que de vieillissement de l'ensemble de composants. L'objet de ce travail est donc l'étude et la modélisation permettent de dimensionner un système photovoltaïque autonome.

Ce travail est organisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons des notions sur le système photovoltaïque, Le rayonnement solaire ainsi le spectre du rayonnement et la durée d'insolation aussi la description des éléments d'un système de captage photovoltaïque. Principe de fonctionnement et de conversion photovoltaïque

Le deuxième chapitre présente la conversion de l'énergie électrique par Hacheur (DC/DC), Onduleur (DC/AC), Redresseur (AC/DC)

Le troisième chapitre présente la description d'un système d'énergie autonome et son système de conversion puis on a parlé du système hybride et ses principaux composants ainsi le système de stockage et sa modélisation, convertisseurs et profile de charge.

Introduction générale

A la fin du chapitre nous avons mentionné les avantages et les inconvénients d'un système autonome.

Le quatrième chapitre est consacré pour le dimensionnement d'une installation autonome photovoltaïque ainsi la simulation par le **logiciel Homer**.

Nous finalisons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

**DESCRIPTION D'UN SYSTEME
D'ENERGIE
PHOTOVOLTAÏQUE**

I.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie [5]. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis Long temps à mettre à profit cette énergie importante et qui est diffusée sur l'ensemble de la planète, la conversion électrique est réalisée par le moyen dit cellule photovoltaïque. Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties : Photo : Lumière. Volt : tension électrique

I.2. Description d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se manifeste par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction entre un métal et un semi-conducteur lorsque le dispositif reçoit un rayonnement lumineux de longueur d'onde adéquate. Ainsi une cellule photovoltaïque peut convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à Base de silicium. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14% pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12% pour le silicium poly cristallin et en fin 7 à 8% pour les siliciums en films minces.[1]
La cellule photovoltaïque est présentée dans la figure 1

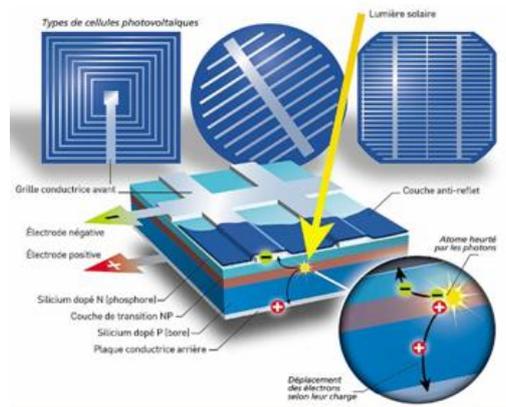


Figure 1. Cellule photovoltaïque

I.3. Le rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant

chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [2].

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa

Distribution spectrale de l'atmosphère présente un maximum pour une longueur d'onde

D'environ $0.5\mu\text{m}$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°K [3]:

-Diamètre de soleil : $D_s = 1.39.10^9 \text{ m}$.

-Diamètre de la terre : $D_t = 1.27.10^7 \text{ m}$.

Le rayonnement solaire sur terre varie avec la position du soleil dans le ciel, donc avec les saisons et avec les conditions météorologiques (ciel clair, nuage, neige...). La position du soleil dans le ciel change constamment pendant la journée, position caractérisée par l'élévation ou altitude et l'azimut. [4]

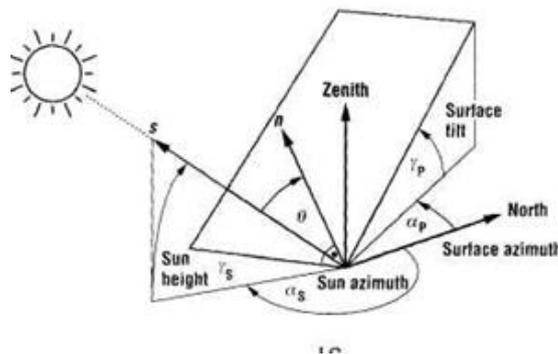


Figure 2. Le rayonnement solaire

1.3.1. Spectre solaire

Le rayonnement électromagnétique est composé de grains de lumière appelés

Photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde par la relation suivante : $E = h \times f = h \times c / \lambda$

Où h est la constante de Planck, f est la fréquence, c est la vitesse de la lumière et λ la Longueur d'onde

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800 K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par Les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie sous dessous [5,6].

Tableau 1 : Le rayonnement solaire

Tableau 1. Rayonnement solaire		
Ultraviolet UV	$0.20 < \lambda < 0.38 \text{ mm}$	6.4%
Visible	$0.38 < \lambda < 0.78 \text{ mm}$	48.0%
Infrarouge IR	$0.78 < \lambda < 10 \text{ mm}$	45.6%

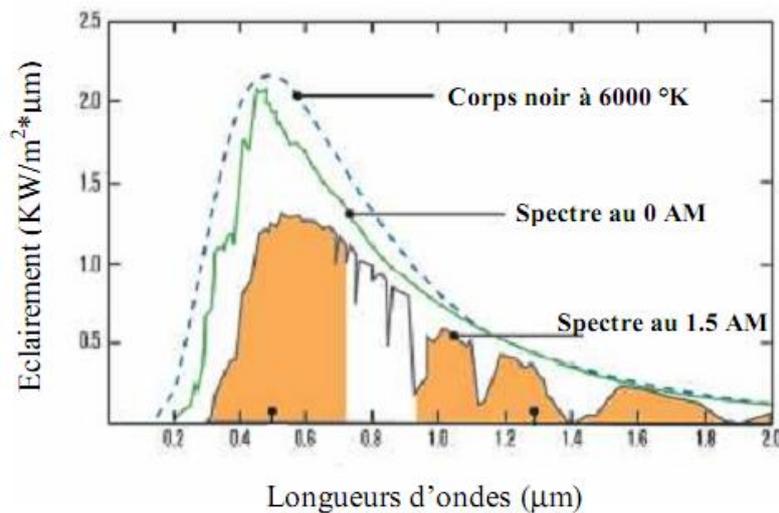


Figure 3. Spectre solaire hors atmosphère [5,6].

I.3.2. Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée

théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qu'elle-même dépend de la période de l'année considérée.

I.4. Description des éléments d'un système de captage photovoltaïque :

I.4.1. La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment Directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé effet Photovoltaïque , a été découverte par E. Becquerel en 1839 [8]. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux Semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre Les conducteurs et les isolants. Il existe trois types de cellules photovoltaïques :

- **Les cellules monocristallines** : elles sont constituées d'un cristal à deux couches, le plus souvent du silicium. Elles ont un rendement entre 15 et 22 % mais elles sont chères à fabriquer.
- **Les cellules poly cristallines** : elles sont constituées de plusieurs cristaux, ce qui diminue leur prix de fabrication. Cependant leur rendement n'est que de 10 à 13 %.
- **Les cellules amorphes** : elles ont un rendement très faible (5 à 10 %) mais leur prix est très bas.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment du même matériau (homo-jonction) ou entre deux matériaux différents (hétérojonction). Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne

Dans la figure (4) un échantillon schématisé d'une configuration de la cellule solaire, elle se compose d'un abri du verre (g), un encapsulant (e), et un métal en arrière contact(m) afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident [9].

La jonction p-n de ces deux matériaux fonctionne comme une diode. Lorsque cette diode est exposée à des photons dont l'énergie ($h\nu$) est supérieure à celle de l'énergie du matériau appelée l'énergie de bande gap (E_g), le nombre d'électrons libres du semi-conducteur de type-p et celui de trous du semi-conducteur de type en augmente considérablement. Si les photons incidents ont une énergie inférieure à E_g , ils ne seront pas absorbés c'est-à-dire leurs énergies ne contribuent pas à la conversion photovoltaïque.

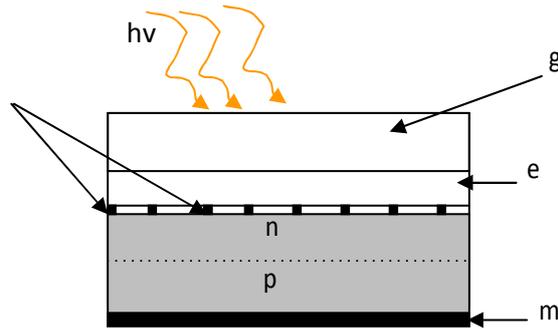


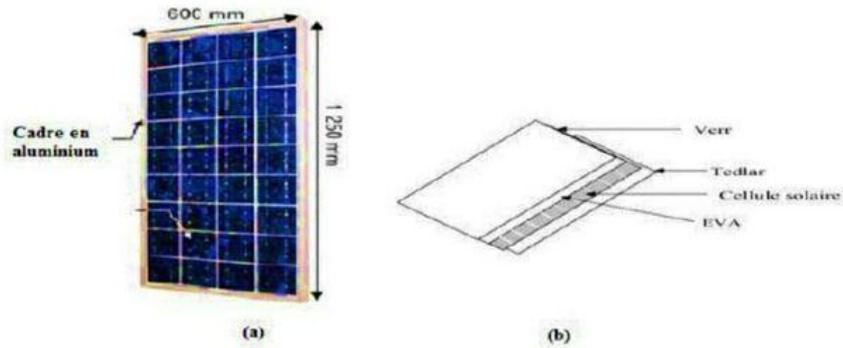
Figure 4.présentation schématique d'une cellule solaire.

Dans une cellule PV, une large fraction de ces électrons et trous atteignent la jonction p- n, et un champ électrique est créé. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les matériaux de type-n et type-p à un circuit extérieur. La direction de ce courant est l'opposé de celle de la cellule lorsqu'elle fonctionne en tant que diode, autrement dit, quand la diode est illuminée, un courant positif I traverse de n vers p. La puissance électrique produite par une cellule industrialisée est très faible typiquement de 1 à 3W avec une tension de moins d'un volt [10].

Le rendement de conversion des cellules commercialisées atteint actuellement 15 à 19% pour le silicium monocristallin, 12 à 16 % pour le silicium poly cristallin, 7 à 9% pour le silicium amorphe.

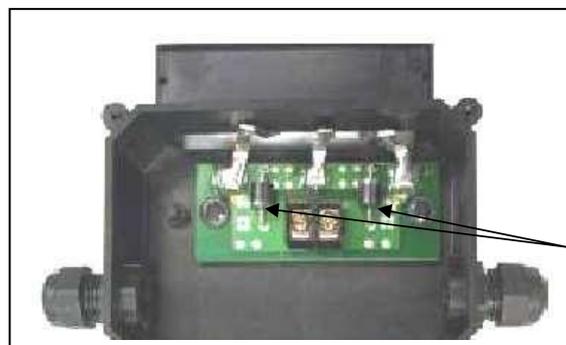
I.4.2. Le module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module figure (I-5). Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène- vinyl- acétate) figure (5-b) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [10].



Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles figure (6). Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [12].



Diodes antiparallèles

Figure 6. Boîte de jonction

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.

Les modules en silicium mono cristallin (c-Si, 64% de marché), poly cristallin ou multi cristallin (xc-Si, 28% du marché) ou silicium amorphe (a-Si, 13% du marché), délivrent des tensions normalisées (12, 24,48) et des puissances entre 10 et 100 WC (watt- crête : puissance obtenue pour (l'ensoleillement maximal) [11].

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, le courant de sortie, et la puissance seront proportionnels à la surface du module

Ils ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20% [13].

I.4.3. Caractéristiques d'un module

La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un édairement de 1000 W/m²).

La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Tension à vide, V_{c0} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement plein soleil.

Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un édairement plein soleil.

Point de fonctionnement optimum, (U_m, I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m I_m$

Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{c0} I_{cc}$. [14]

I.4.4. Le panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. [15]



Figure 7.panneau solaire

I.4.5. Principe de fonctionnement du panneau solaire

Les panneaux solaires convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique. Ils sont composés de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs qui peuvent libérer leurs électrons sous l'action d'une énergie. La libération des électrons des matériaux constituant les cellules sous l'action des photons permet ainsi la production d'un courant électrique.

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs. En effet, une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur. Ces deux couches sont dopées différemment :

- Pour la couche N, apport d'électrons ;
- Pour la couche P, déficit d'électrons

L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux. Une couche anti-reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée. Sous l'action de la lumière (photons) ces cellules génèrent une tension

électrique qui se mesure en volt. La tension obtenue est de l'ordre de 0,5 V par cellule. Ces cellules sont ensuite assemblées en série et parallèle pour former des panneaux

I.4.6. Technologies des cellules photovoltaïques

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou polycristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium). [16]

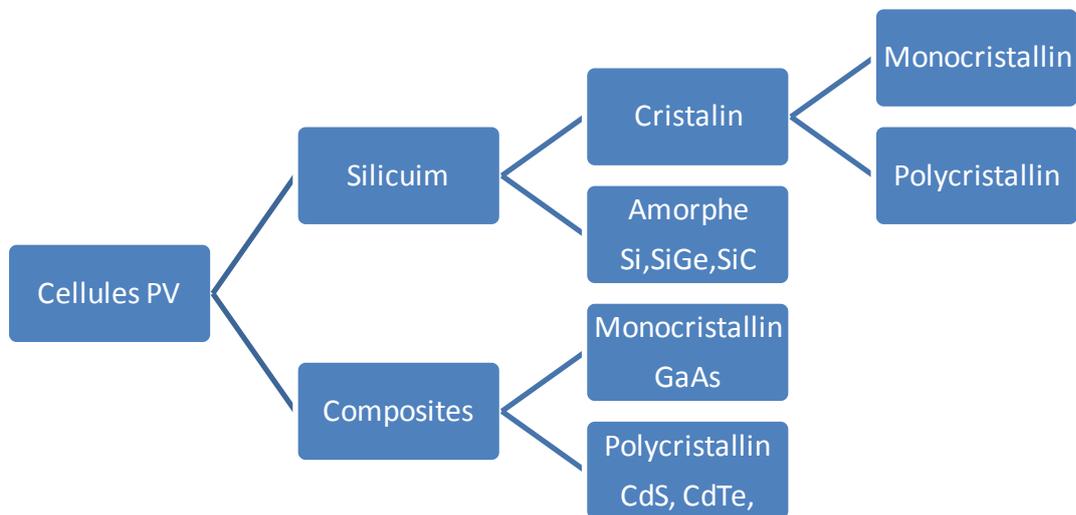


Figure 8. Technologies des cellules photovoltaïques

I.4.7. Comparaison des différentes technologies

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18% <i>(24,7% au Laboratoire)</i>	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Très performant * Stabilité de production d'W * Méthode de production coûteuse et laborieuse. 	Aérospatiale, modules pour toits, façades...
Silicium poly cristallin	11 à 15% <i>(19,8% au laboratoire)</i>	20 à 30 ans	<ul style="list-style-type: none"> * Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché mondial. 	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	5 à 8% <i>(13% en laboratoire)</i>		<ul style="list-style-type: none"> * Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel <p>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.</p>	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment
Composite mono cristallin (GaAs)	18 à 20% <i>(27.5% en laboratoire)</i>		<ul style="list-style-type: none"> * Lourd, fissure facilement 	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)

Composite poly cristallin (CdS, CdTe, CulnGaSe2, etc.)	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment
---	----------------------------	--	--	---

Tableau2. *Comparaison des différentes technologies*

I.4.8. Mise en série et en parallèle des cellules photovoltaïques

I.4.8.1. Mise en série

La tension générée par une cellule étant très faible (de l'ordre de 0.6 - 0.7v), il faudra dans la majorité des cas, associer en série un certain nombre de cellules pour obtenir des tensions compatibles avec les charges à alimenter. C'est ce qui est réalisé dans un module photovoltaïque, où les cellules sont positionnées sous forme d'une guirlande dont les deux extrémités sont ramenées vers une boîte de connexion. Les électrodes supérieures d'une cellule sont connectées à la face arrière de la cellule suivante. La figure (9) donne le schéma d'un module de cellules en série fermé sur sa résistance R' .

Avec :

N_s : nombre de cellule en série

G : groupement de N_s cellules

R' : la charge

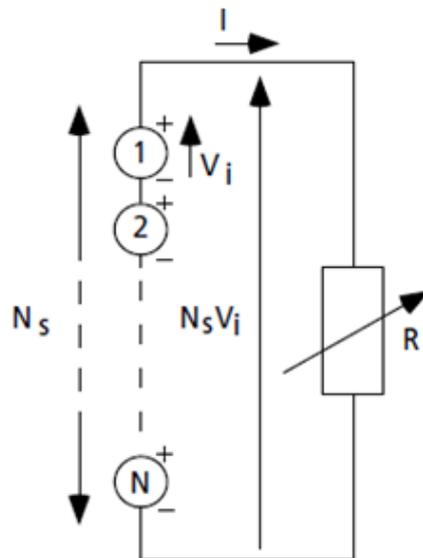


Figure 9. schéma des cellules photovoltaïques en séries

I.4.8.2. Mise en parallèle

Il est possible d'augmenter le courant fourni à une charge en plaçant en parallèle

Plusieurs cellules ou modules photovoltaïques comme indiqué sur la figure (1.10). Sur cette figure, les générateurs de courant représentent soit des cellules individuelles, soit des cellules en série (modules), soit des modules en série (branches). On constate dans ce cas que la tension générée est la même pour toutes les cellules (ou tous les modules ou toutes les branches). Donc il ne faudra connecter en parallèle que des cellules, des modules, ou des branches identiques.

Avec : N_p : nombre de cellule en parallèle

G : groupement de N_p cellules

R'' : la charge

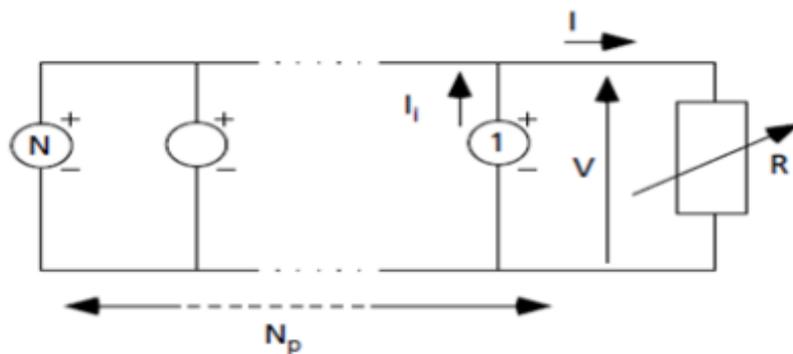


Figure 10 : Schéma des cellules photovoltaïques en parallèle

I.5. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale sur la cellule photovoltaïque, puis nous avons présenté quelques notions sur le rayonnement solaire le spectre du rayonnement et la durée d'insolation, Nous avons décrit le principe de fonctionnement d'une cellule PV et les technologies utilisées.

Chapitre 2

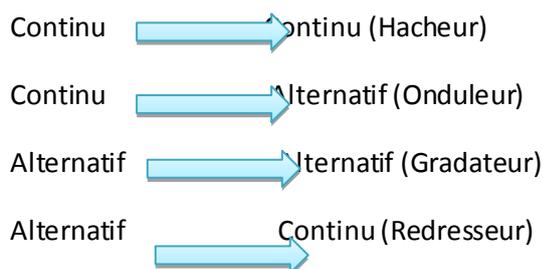
Chapitre 2

Système de conversion de

L'énergie électrique

II.1 Introduction

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant. Les premiers convertisseurs de puissance électrique ont été réalisés avec des machines électriques couplées mécaniquement. Avec l'apparition des semi-conducteurs et de l'électronique de puissance, avec les diodes, les transistors, thyristors etc. Les systèmes de conversion deviennent de plus en plus élaborés et ne nécessitent plus de machines tournantes. C'est l'ère des convertisseurs statiques. On distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques



II.2 Les convertisseurs continu/continu (DC/DC)

II.2.1 Hacheur survolteur (Boost)

Un convertisseur Boost ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. On utilise un convertisseur Boost lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue. Son schéma de principe de base est celui de la **figure 9**. [17]

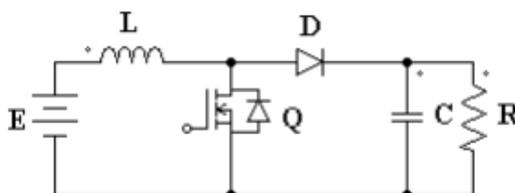


Figure 11. Convertisseur survolteur réel

II.2.2 Hacheur dévolteur-survolteur (Buck-Boost)

Un convertisseur Buck-Boost est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. Un inconvénient de ce convertisseur est que son interrupteur ne possède pas de borne reliée à la masse, compliquant ainsi sa commande. La figure (12) présente le schéma de principe du convertisseur Buck-Boost. [17]

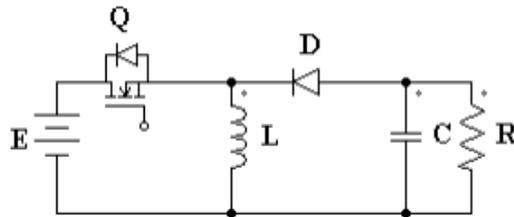


Figure 12. Convertisseur dévolteur-survolteur réel

II.3 Les Convertisseur continu-alternatif (DC/AC) Les onduleurs

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et des courants alternatifs à fréquence fixes ou variables sous forme d'une alimentation alternative monophasée ou triphasée à partir d'une source d'énergie électrique continue. L'onduleur est utilisé pour fournir une tension ou un courant alternatif pour assurer l'alimentation en énergie des charges (micro-ordinateur, station de télécommunication) pendant la coupure du réseau électrique ou une alimentation permanente pour les systèmes autonomes (centrales photovoltaïques, engins aérospatiaux. [18]. La représentation symbolique d'un onduleur est donnée par la **figure (11)**

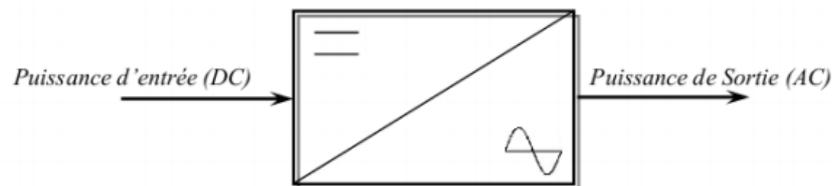


Figure 13. Schéma de principe de l'onduleur

II.3.1 Les types des onduleurs

Les onduleurs sont classés selon le type d'application et leurs performances, en deux grandes catégories : les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes

II.3.1.1 Onduleurs autonomes

L'onduleur autonome est un système de commutation à transistors ou à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits externes, il n'a pas besoin le réseau électrique pour fonctionner. Ils sont de différente taille de 100W pour alimenter un ordinateur portable à 10 kW, les onduleurs autonomes utilisent des batteries pour le stockage et des contrôleurs de charge pour assurer la durabilité de ces batteries, La fréquence et la forme d'onde (amplitude et phase) de la tension de sortie sont imposées à la charge, c.-à-d. elles sont propres à ce type d'onduleur. Dans cette catégorie, on distingue aussi :

A fréquence fixe : utilisé comme source de secours ou alimentation sans coupure, Il est alimenté le plus souvent à partir d'une batterie d'accumulateurs (cas de PC, salles d'informatique...) comme il est montré sur la **figure (14). [18]**

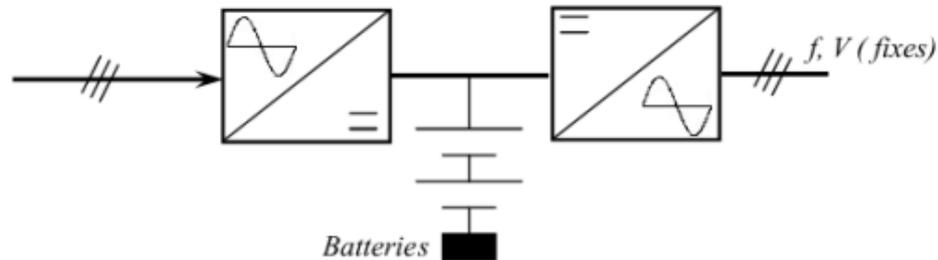


Figure 14. Alimentation sans coupure

Il est utilisé aussi pour l'alimentation des charges inductives (fours à induction) mais dans ce cas tous les onduleurs sont monophasés.

- A fréquence variable : dans ce cas il est utilisé pour la variation de vitesse des moteurs asynchrones triphasés, figure (15), **[18]**.

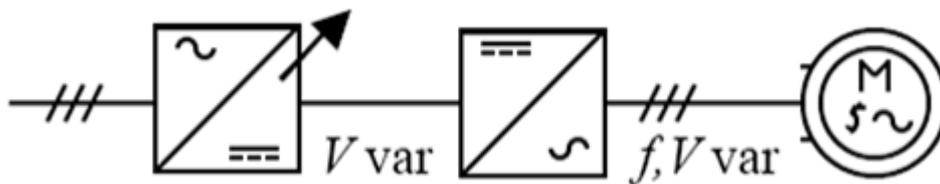


Figure 15. Convertisseur de fréquence

II.3.1.2 Onduleurs non autonomes (ou assistés)

Un onduleur non autonome est un système de commutation à thyristors, dont les instants de commutation sont imposés par la charge. Dans ce cas, la fréquence et la forme d'onde de la tension de sortie sont imposées au réseau alternatif sur lequel débite ce type d'onduleur.

- Le transport d'énergie en courant continu, on peut transporter de grandes puissances à très haute tension (de l'ordre du million de volts) par lignes aériennes sur des distances élevées (500-1000 Km) pour lesquelles, les lignes à courant alternatif posent des problèmes délicats (stabilité, pertes...). De plus, le transport sur des plus faibles distances par câbles souterrains dont la capacité très élevée, limite leur emploi en courant alternatif, **[18]**.
- Le freinage par récupération pendant les phases de freinage les moteurs à courant continu. Peuvent fonctionner en génératrices et l'énergie mise en jeu, dans ce cas, peut être récupérée et transférée au réseau alternatif par un onduleur assisté (domaine de la traction électrique à courant continu).

La cascade hypo synchrone pour le réglage de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones à rotor bobiné.

Dans ce travail on s'intéresse aux onduleurs autonomes. Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion

- Onduleur Monophasé
- Onduleur Triphasé

II.3.1.2.1 Onduleur monophasé

Ce type d'onduleur qui délivre en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Trois classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie.

II.3.1.2.2 Onduleur monophasé en demi -pont

La figure (16) qui présente l'onduleur en demi -pont ne comporte que deux interrupteurs T1 et T2 et connecte la charge au point milieu de l'alimentation réalisé à l'aide de deux condensateurs, à tout instant le courant i_{ch} se partage à égalité entre les deux capacité en supposant que la tension au borne des capacité est constant et égale à $V/2$, [18].

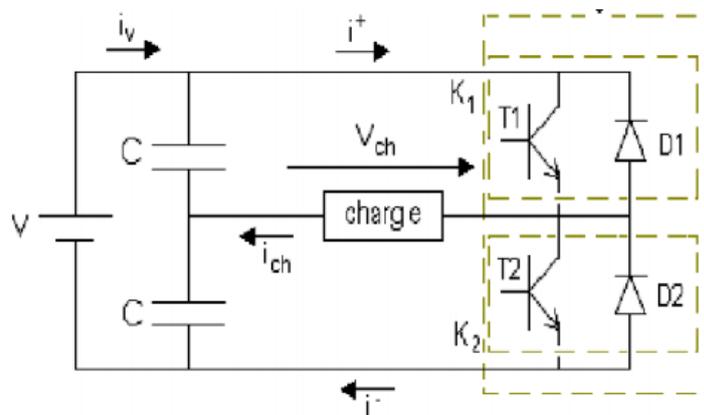


Figure 16. Montage d'un onduleur en demi -pont

II.3.1.2.3 Onduleur monophasé en pont (pont H)

L'onduleur en pont est représenté en figure (17) il comporte quatre interrupteurs de puissance désignée par T1, T2, T3 et T4 quand les interrupteurs T1 et T4, sont fermés simultanément la tension imposée aux bornes de la charge prend la valeur +E, et de -E lors de la fermeture simultanée des deux autres interrupteurs T2 et T3. Pour éviter le court-circuit de la source de tension continue, Deux interrupteurs du même bras ne peuvent pas conduire simultanément, [18].

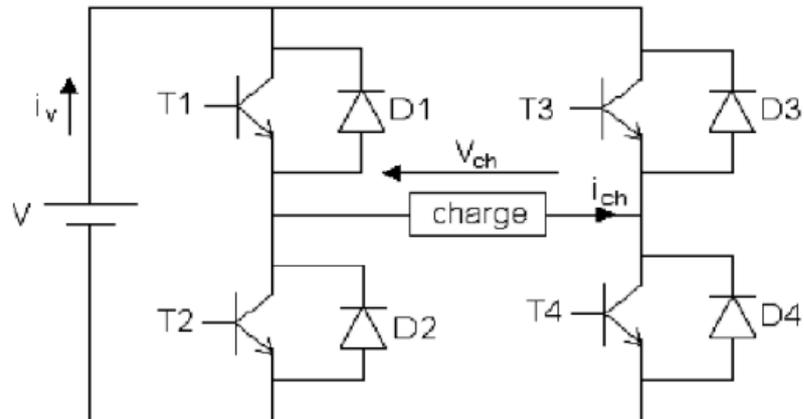


Figure 17. Montage d'un onduleur en pont

II.3.1.2.4 Onduleur push-pull

L'onduleur push-pull, dont le schéma est donné par la figure (18) comporte un transformateur pour lequel on posera $m=N'/N$. Chaque interrupteur conduit à tour de rôle pendant une demi-période. L'approximation du transformateur idéal résistances et inductances de fuite est nulles. [20].

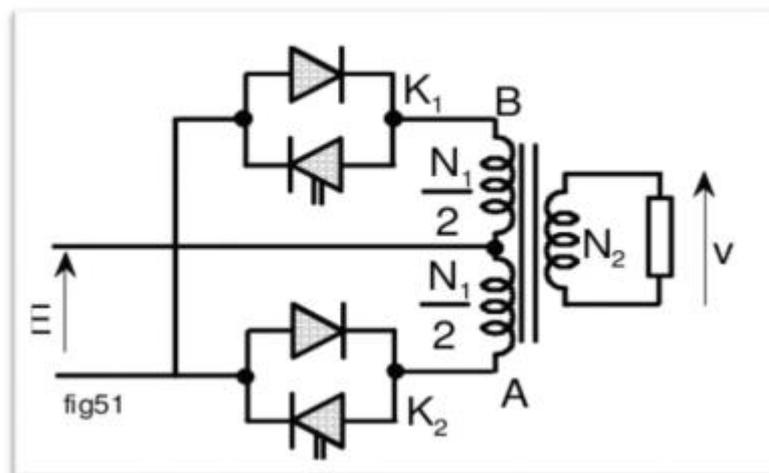


Figure 18. Montage d'un onduleur push-pull

II.3.1.2.5 Onduleur triphasée

L'onduleur triphasé se comporte de trois phases dont les ondes de tension sont déphasées respectivement de 120° l'une par rapport à l'autre, nous intéresserons uniquement à la structure de l'onduleur à trois bras et à interrupteurs en série. Il faut représenté par la figure (19)

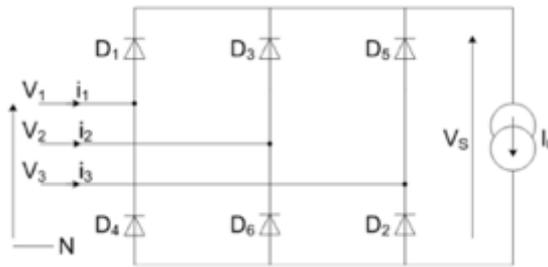


Figure 19. Représentation d'un onduleur triphasé

II.4. Les convertisseurs continu-alternatif (AC-DC) - Les redresseurs

Un redresseur est un convertisseur alternatif continu permettant de fournir, à partir d'une Tension alternative monophasée ou triphasée, une tension continue fixe ou variable. Pratiquement, on rencontre les redresseurs dans les variateurs de vitesse pour moteurs à Courant continu, dans les chargeurs de batteries, les postes de soudure ou encore comme étage d'entrée d'un onduleur autonome...etc.

Les redresseurs peuvent être classés en deux grandes familles :

- Les redresseurs non commandés, qui sont à base de diodes. Ils fournissent une tension Redressée à valeur moyenne constante.
- Les redresseurs commandés, qui sont à base de thyristors et diodes. Ils délivrent une Tension redressée à valeur moyenne ajustable.

A noter que dans un redresseur, la fréquence du signal de sortie est au moins égale à celle du Réseau alternatif. [21]

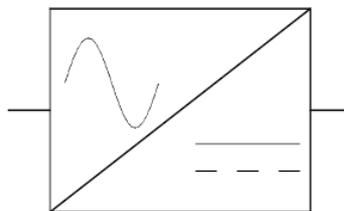


Figure 20. Symbole d'un redresseur

II.4.1 Les différents types de redresseurs

- Il existe trois types de redresseurs, qui sont résumés dans le schéma de la figure ci-dessous : [21]

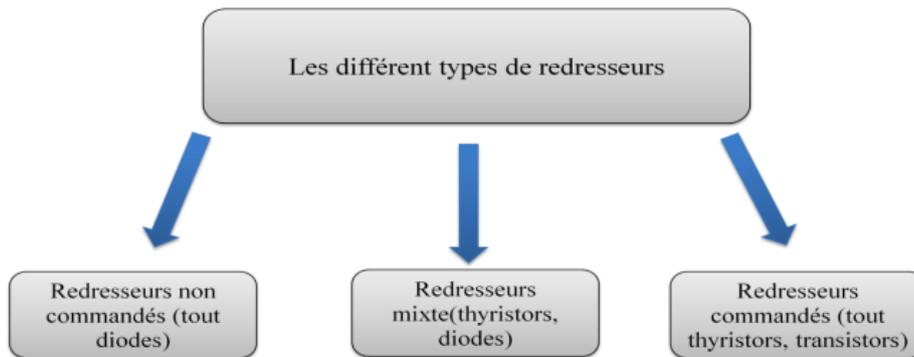


Figure 21. les différents types de redresseurs.

II.5 Modélisation des cellules photovoltaïques

II.5.1 Circuit équivalent d'une cellule solaire

II.5.1.1 Cas d'une cellule idéale

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connectée à une charge peut être schématisée par un générateur de courant I_{ph} en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure (22), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [22].

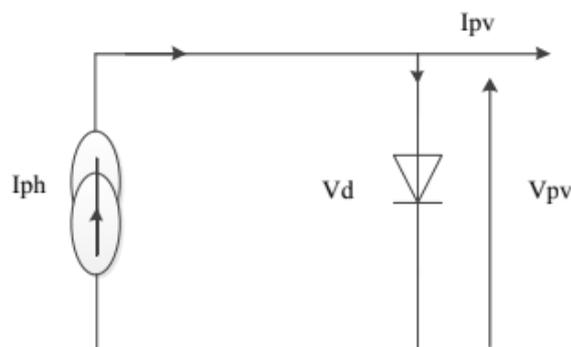


Figure 22. Schéma équivalent d'une cellule idéale.

Les équations retenues de ce modèle sont : [22]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (2.1)$$

Le courant I_{ph} est assimilé au courant I_{sc} avec $V_{pv} = 0$, courant de court-circuit obtenu en court circuitant la charge.

$$I_{ph} = I_{sc} = \frac{E}{E_{réf}} \quad (2.2)$$

E : L'éclairement absorbé par la cellule ;

$E_{réf}$: L'éclairement de référence (1000 w/m²) ;

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode ;

$$V_t = \frac{NKT}{q}$$

V_t : Tension thermique ;

N : Facteur d'idéalité de la photopile ;

K : Constant de Boltzmann (1,38.10⁻²³J/K) ;

q : Charge de l'électron (1,6.10⁻¹⁹ C).

II .5.1.2 Cas d'une cellule réelle

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (23). Ce schéma

équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant (I_{ph}) caractérisant le photo-courant, une résistance série (R_s) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte (R_{sh}) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à (R_s) [22].

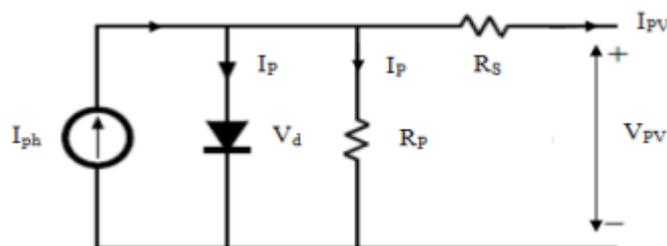


Figure 23. Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle mathématique du module solaire à exponentiel simple. Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante. [22]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (2.4)$$

I_{pv} : Courant générer par la cellule photovoltaïque ;

I_{ph} : Photo courant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident)

I : Le courant circulant dans la diode.

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1 \right) \quad (2.5)$$

$$I_0 = I_{or} \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\left[\frac{E_g}{Bk} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (2.6)$$

I_{or} : est le courant de court circuit de la cellule à la température de référence T_n et l'éclairement de référence ;

T : Température de la jonction des cellules PV [°K] ;

T_n : Température de référence des cellules PV [°K] ;

B : facteur d'idéalité de la jonction

E_g : Énergie de gap [ev]

$$V_d = V_{pv} + R_s I_{pv}$$

R_s : résistance série symbolise la résistance de masse du matériau semi-conducteur, ainsi les

Résistances ohmiques et de contact au niveau des connexions des cellules

V_{pv} : La tension de sortie ;

I_p : Le courant circulant dans la résistance R_p

R_p : Résistance shunt représente les fuites autour de la jonction p-n dues aux impuretés et sur les coins de cellule.

Les résistances R_s et R_p sont calculées par une boucle de programmation.

En substituant les équations (2.6 ; 2.7) dans l'équation (2.5) le I_{pv} devient :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (2.8)$$

$$\text{Donc : } I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} - I_{pv} = 0 \quad (2.9)$$

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de convertisseurs (hacheur, onduleur, redresseur), avec une explication de leur fonctionnement. Et nous avons fait la

modélisation d'une cellule photovoltaïque, les caractéristiques du générateur PV avec ses performances. Ainsi, l'influence de quelques paramètres sur ses caractéristiques

Chapitre 3

Description d'un système

D'énergie autonome

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu du système électrique hybride (S.E.H) et du système autonome qui permet la production d'énergie électrique à partir de sources renouvelables et de systèmes photovoltaïques.

III.1.1 Définition des Systèmes d'Énergie Hybride (SEH) :

Les systèmes d'énergie hybrides (SEH) associent au moins deux technologies complémentaires une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable.

Les sources d'énergie renouvelable, comme l'éolienne et le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leurs associations avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les systèmes d'énergie hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.[23]

Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable, tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie. De plus, l'économie de carburant et la baisse de prix obtenues par la génération hybride doivent au moins couvrir l'investissement fait pour les générateurs d'énergie renouvelable et les autres composants auxiliaires du système.

Du point de vue technologique, il faut assurer la maintenance, compte tenu des conditions particulières des régions isolées. Les systèmes isolés sont souvent caractérisés par une infrastructure (communication, services, etc.) pauvre, un accès difficile et un manque de personnel qualifié.[23]

Les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie, sont influencées en partie par sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants, l'architecture etc., et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ses performances sont : l'économie de carburant, le coût du kW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien etc.

La durée de vie des composants d'un SEH peut être beaucoup plus courte que la durée de vie normale des composants individuels (fonctionnement en connexion aux réseaux interconnectés). Les points les plus critiques sont en général la dégradation des batteries.

III.2 Présentation du système photovoltaïque autonome

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau.

Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes ont les possibilités de couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique.

Le couplage direct implique un fonctionnement au fil du soleil, donc à puissance essentiellement variable au cours de la journée. Les charges typiques à courant continu qui peuvent satisfaire le critère (tension constante à puissance variable) sont les accumulateurs électrochimiques. Les charges alternatives sont les pompes à eau, c'est le pompage au fil du soleil, le stockage est néanmoins présent sous la forme d'eau emmagasinée (dans un réservoir).

Dans la plupart des cas une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre le générateur et sa charge électrique un dispositif électronique qui permet de forcer le système à fonctionner à sa puissance maximale. [24]

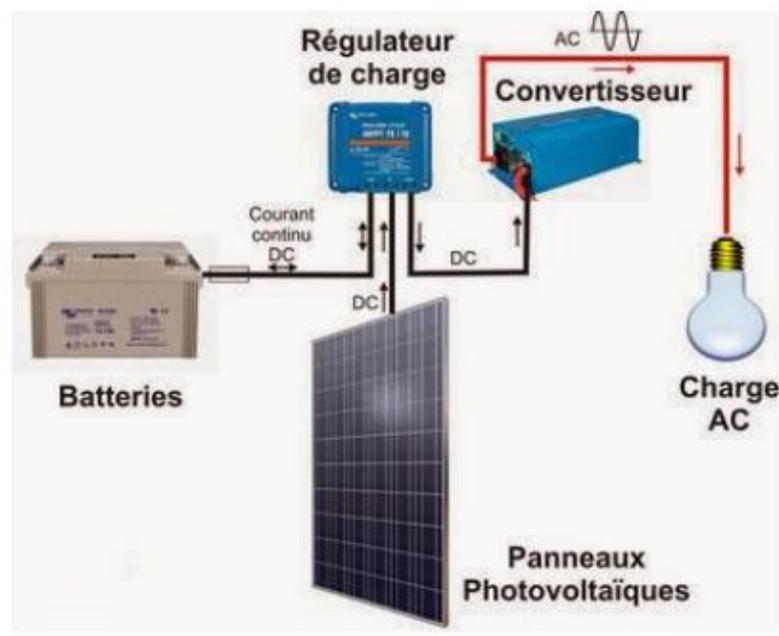


Figure 24. Système autonome PV, Batterie

III.3 Principaux composant du système d'énergie hybride photovoltaïque

Les systèmes hybrides photovoltaïques comprennent généralement :

- Un système générateur.
- Un système de régulation.
- Un système des stockages.
- Des équipements de puissance.
- Une charge.

Le système générateur est composé par les modules photovoltaïques ou/et les Aéro-générateurs.

III.3.1 Descriptions du composant du système photovoltaïque autonome

III.3.1.1 Système de stockage

Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides afin de pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à des grands réseaux de courant alternatif isolés. Dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme.

Le stockage d'énergie est généralement réalisé grâce aux batteries. Ces batteries sont, d'habitude, du type plomb acide. Les batteries nickel cadmium sont rarement utilisées. Il y a d'autres formes de stockage, mais peu utilisées, comme le pompage de l'eau, les volants d'inertie et le stockage de l'hydrogène. Dans le cas de stockage par pompage de l'eau, l'énergie produite sert à remplir un réservoir de stockage dont l'eau sera turbinée pour restituer l'énergie. Le principe du volant d'inertie est simple. Il s'agit d'emmagasiner l'énergie en mettant en rotation une masse importante. L'énergie cinétique obtenue peut être restituée à la demande sous forme d'énergie électrique, en utilisant une machine électrique en régime générateur. L'hydrogène alimente les piles à combustible. Il possède un grand pouvoir énergétique gravimétrique (120 MJ/kg) en comparaison au pétrole (45 MJ/kg), au méthanol (20 MJ/kg) et au gaz naturel (50 MJ/kg). Cependant, il est aussi le gaz le plus léger. Ceci pose un véritable problème de stockage. La densité énergétique volumétrique de l'hydrogène n'est intéressante qu'à l'état liquide ou comprimé (700 bars). Il existe de multiples modes de stockage de l'hydrogène : comprimé, liquéfié, hydrures métalliques, charbon actif, nano fibres et nanotubes en carbone etc. Si les deux premiers modes de stockage sont actuellement les plus utilisés, ils sont loin d'être satisfaisants. [1]

III.3.1.2 Modélisation de système de stockage

Vue la grande diversité de type d'éléments de batterie ainsi le nombre très varié de paramètres qui interviennent, une représentation très empirique du comportement de la batterie peut être établie. Il existe plusieurs modèles de la charge de batterie Pour notre étude, nous avons utilisé le modèle de Bogdan et Salmeh 1996) qui permet de Calculer la capacité de stockage en fonction de la puissance produite par le système hybride éolien –photovoltaïque et la charge Demandée. [1]

III.3.1.3 Modèle de la charge de la batterie

Quand la puissance de générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, la capacité des batteries au temps t peut s'écrire par

$$C_{bat(t)} = C_{bat}(t-1) \cdot (1 - \sigma) + \left(P_{pv}(t) - \frac{P_L(t)}{\eta_{ond}} \right) \cdot \eta_{bc}$$

$C_{bat(t)}$ et $C_{bat}(t-1)$ sont les quantités de la charge et la décharge des batteries au temps (t) et (t-1) respectivement, σ est le taux horaire de la charge spontanée, P_{pv} est la puissance de Générateur PV, P_L est la charge demandée au temps t, η_{ond} et η_{bc} sont les rendements de l'onduleur et de la batterie successivement.

Pendant la charge de la batterie, le rendement est entre 0.65,0.85 selon le courant de charge par contre pendant le processus de décharge, le rendement de batterie a été mis égal à 1. [1]

III.3.1.4 Modèle de la décharge de la batterie

Quand la demande de charge est plus grande que la puissance produite, la capacité des batteries au temps t peut exprimer comme suite

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) \cdot (1 - \sigma) + (P_L(t)/\eta_{inv} - P_{pv}(t))$$

➤ À tout moment, la quantité de charge des batteries est sujette aux contraintes suivantes

$$C_{bat\ min} \leq C_{bat}(t) \leq C_{bat\ max}$$

Ici, la capacité de la batterie maximale prend la valeur de la capacité nominale de la batterie ($C_{bat\ max} = C_{bat\ min}$), et la capacité minimum est déterminée par la profondeur de la charge (DOD). [1]

$$C_{bat\ min} = DOD \cdot C_{bat} \cdot N$$

La valeur maximale de l'état de charge (SOC) est égale à 1, et le minimum est déterminé par le maximum profondeur de décharge, $SOC_{min} = 1 - DOD$.

Selon les caractéristiques des fabricants, la durée de vie des batteries peut être prolongée au maximum si DOD prend les valeurs de 30-50%.

III.3.1.5 La tension de la batterie

Le modèle suivant, décrit la relation entre le voltage, courant et l'état de charge. Ce modèle basé sur le schéma électrique de la figure (25). [1]

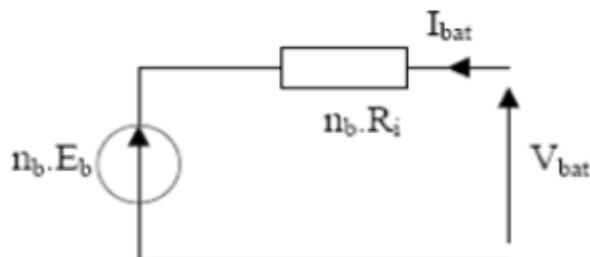


Schéma électrique équivalent de n b élément de batterie en série

Pour nb batteries en série, nous pouvons écrire l'équation :

$$V_{bat} = nb.V_{co} + nb.R_{bat}(t).I_{bat}(t) \quad (3.15)$$

V_{bat} et I_{bat} : sont la tension et le courant batterie au temps T.

R_i : la résistance interne de batterie.

$$V_{co}(t) = VF + b.\log(SOC(t)) \quad (3.16)$$

Ou VF est la force électromotrice, b est une tension empirique.

Pour une batterie de plomb acide, les paramètres sont regroupés dans le tableau suivant. [1]

Paramètre	Mode de charge	Mode de décharge
VF	13.250V	12.662 V
B	0.810	0.724

Tableau 3 : les paramètres d'une batterie de plomb acide.

III.3.1.6 Convertisseur

Dans un système PV, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le CC en CA et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent utilisés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement. Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais sont aussi les plus

III.3.1.7 Profils de charge

L'application ici considérée correspond à une charge destinée à alimenter le centre universitaire MILA (autonome sur une année de fonctionnement). La puissance moyenne du système est fixée à environ 1011.76 kW.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux types de systèmes PV. Système hybride et système autonome, les deux derniers sont des systèmes de distribution d'énergie indépendants et sont souvent situés dans des régions éloignées. Nous avons également parlé des convertisseurs et du système de stockage d'énergie.

Chapitre 4

Dimensionnement d'une installation autonome

IV. 1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons défini les différents besoins énergétiques de notre installation et différentes études sur le centre universitaire de Mila sont proposées, dans le but de faire le dimensionnement et l'optimisation du système photovoltaïque par le logiciel Homer, et nous étudierons deux méthodes :

- PV avec batterie isolé du réseau
- PV avec batterie connecte au réseau

IV.2 Le logiciel HOMER

Le logiciel HOMER (Hybrid Optimisation of Multiple Electric Renewables), a été développé par le U.S. National Laboratoire des énergies renouvelables (NREL). HOMER, qui est un logiciel d'ordinateur. Ce logiciel est un outil puissant, pour la conception et analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, il utilise différentes combinaisons de technologies et applications telles que les sources d'énergie renouvelable, les sources d'énergie traditionnelle, le stockage et la charge. Nous trouvons des systèmes multi-hybride avec ou sans réseau. Tout au long de projet, existe plusieurs éléments qui sont liés aux coûts tels que les coûts d'investissement, de remplacement et de maintenance, et il permet d'évaluer et de comparer les avantages et les inconvénients des aspects techniques et économiques des projets.

HOMER effectue trois tâches principales : la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité. Dans le processus de simulation, HOMER modélise les performances d'un micro centrales de production d'électricité chaque heure de l'année pour déterminer le coût de faisabilité et du cycle de vie. Dans le processus d'optimisation, HOMER simule de nombreux système de configurations différentes à la recherche de celui qui satisfait les contraintes techniques au coût le plus bas du cycle de vie. [25]

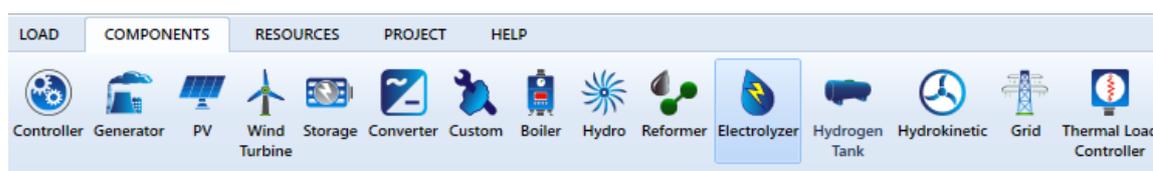


Figure 25. Bibliothèque de Homer

IV.3 Choix de site :

Dans notre travail on a appliqué les données de charge industrielle pour la ville de Mila qui est caractérisé par une énergie solaire intéressant

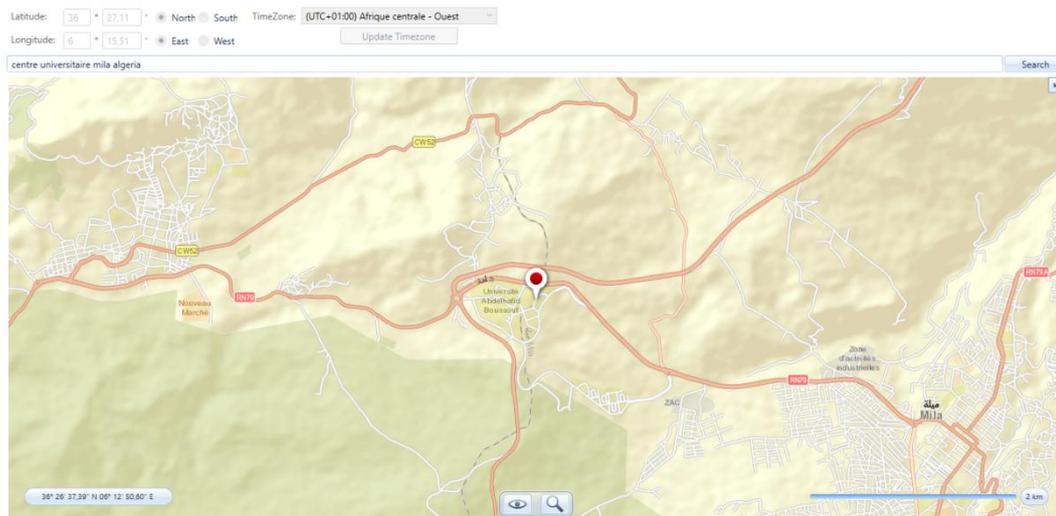


Figure 26.localisation géographique de centre universitaire Mila

IV.4 La température

La saison très chaude dure 2,8 mois, du 16 juin au 10 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 30 °C. Le jour le plus chaud de l'année est le 3 août, avec une température moyenne maximale de 34 °C et minimale de 20 °C.

La saison fraîche dure 4,1 mois, du 19 novembre au 22 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 17 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 20 janvier, avec une température moyenne minimale de 4 °C et maximale de 13 °C. [26]

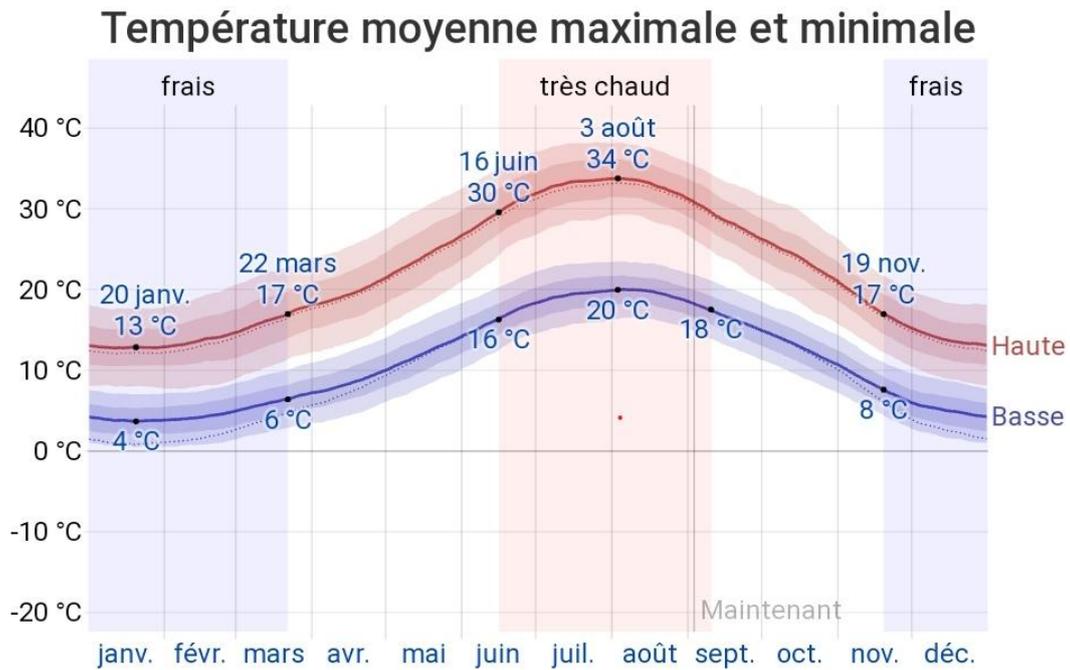


Figure 27. Température moyenne maximale et minimale



Figure 28. Température du site étudié

IV.5 Irradiance du site étudié

Pour modéliser un système contenant un générateur photovoltaïque, on doit fournir les données sur la ressource solaire pour l'emplacement étudié. Les données sur les ressources solaires indiquent la quantité de rayonnement solaire global (rayonnement de faisceau provenant directement du soleil, plus rayonnement diffus provenant de toutes les parties du ciel) qui frappe la surface de la Terre au cours d'une année typique. Les données peuvent se présenter en,

rayonnement solaire moyen mensuel sur la surface horizontale (kWh /m²/jour) ou indice de clarté moyen mensuel. L'indice de clarté est le rapport du rayonnement solaire frappant la surface de la terre au rayonnement solaire frappant le sommet de l'atmosphère. Un nombre compris entre 0 et 1, l'indice de clarté est une mesure de la clarté de l'atmosphère.



Figure 29. Irradiance et indice de clarté du site étudié

IV.6 Profile de charge

La charge primaire AC au cours de l'année est la quantité totale d'énergie consommée par les différents équipements.

Le profil de charge horaire mesuré n'est pas disponible pour le site étudié, mais nous avons la consommation d'une journée estimée à 13450 kWh/j.

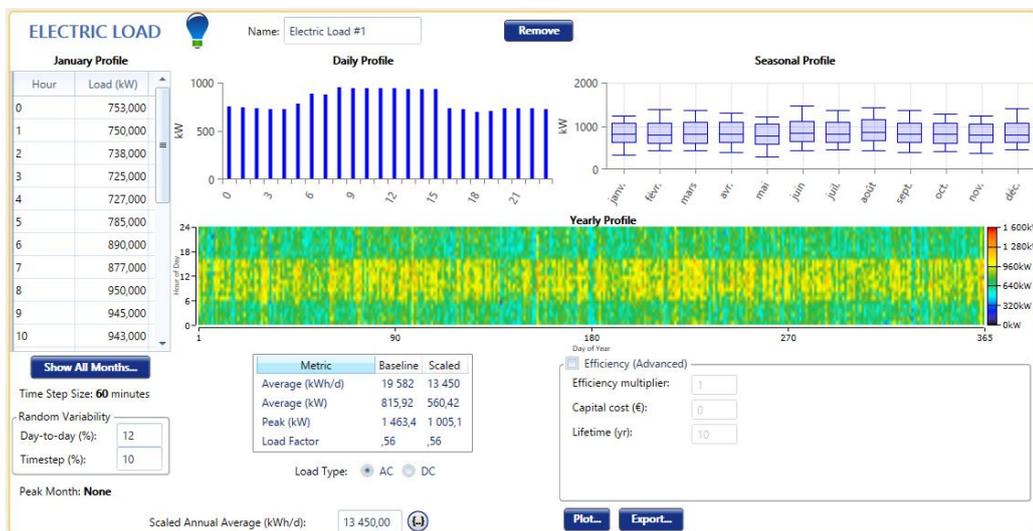


Figure 30. profil de charge du site étudié

IV.7 Cas 1 : PV avec batterie isolé du réseau

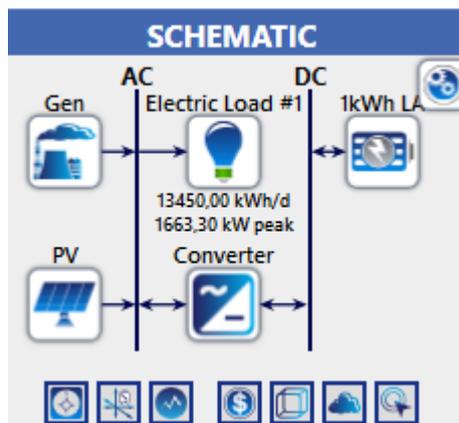


Figure 31. .profil de charge du site étudié

IV .7.1 Résultat de la simulation

02 architectures sont proposées par un réseau hybride

Tableau 3. Résultat de PV avec batterie isolé du réseau.

	   	  
Architecture/PV (kW)	2234	7005
Architecture/ Gen	1900	
Architecture/LA (kwh)	6533	33677
Architecture/Converter (kW)	961	2904
Architecture/Dispatch	CC	CC
Cost /COE (€)	0.402	0.584
Cost /NPC (€M)	34.4	48.1
Cost/Operating cost (€/yr)	1.41 M	922502
Cost/Initial capital (€)	9.90 M	32.0 M
System/Ren Frac (%)	43.5	100
System/Total Fuel (L/yr)	769968	0
PV/Capital Cost (€)	6703418	21015748
PV/Production (kWh/yr)	3251383	10193346
Gen /Hours	2565	
Gen /Production (kWh)	2775321	
Gen/ Fuel (L)	769968	
Gen/O&M Cost (€/yr)	146205	
Autonomy (hr)	7.00	36.1
Annual Throughput (kWh/yr)	1094961	2692758
Nominal Capacity (kWh)	6538	33704
Usable Nominal Capacity (kWh)	3923	20222
Converter/Rectifier Mean Output (kW)	140	341
Converter/Inverter Mean Output (kW)	106	261

L'architecture sélectionnée est :

Simulation Results

System Architecture: Generic 1kWh Lead Acid (6 533 strings)
 Generic flat plate PV (2 234 kW) System Converter (961 kW)
 Autosize Genset (1 900 kW) HOMER Cycle Charging

IV .7.2 Étude économique

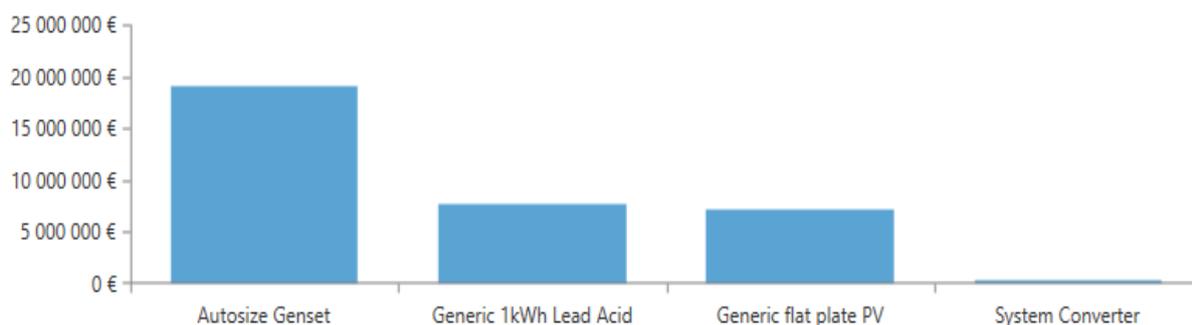


Figure 32. Coût en fonction des composants du système

Fuel Price (1 €/L)	Total NPC:	34 371 080,00 €
NominalDiscountRate (3,00 %)	Levelized COE:	0,4021 €
	Operating Cost:	1 405 225,00 €

NPC : net present cost : Le coût actuel net (ou coût du cycle de vie) d'une composante est la valeur actuelle de tous les coûts d'installation et d'exploitation de la composante pendant la durée de vie du projet, moins la valeur actuelle de tous les revenus qu'elle génère pendant la durée de vie du projet. HOMER calcule le coût actuel net de chaque composant du système et du système dans son ensemble.

COE : cost of Energy : HOMER définit le coût normalisé de l'énergie (COE) comme le coût moyen par kWh d'énergie électrique utile produite par le système.

Operating Cost : Le coût de fonctionnement est la valeur actualisée de tous les coûts et revenus autres que les coûts en capital initial.

IV .7.3 Etude électrique

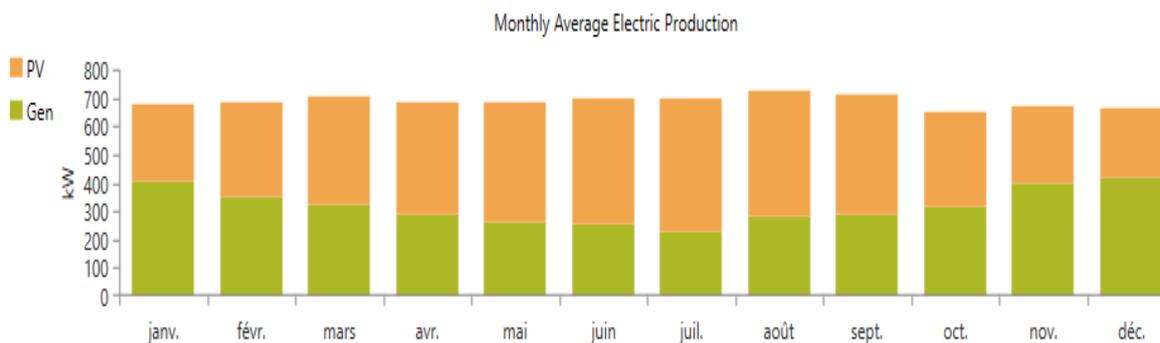


Figure 33. Énergie produite électrique moyenne mensuelle

Tableau 05. Energie produite en kW/an

Production	KWh/an	%
Géneric flat plate PV	3251383	53.9
Autosize Genset	2775321	46.1
Total	6026704	100

Tableau 06. Consommation de la charge totale KWh/an

Consommation	KWh/an	%
AC primary load	4909520	100
DC primary load	0	0
Total	4909250	100

Quantité	KWh/an	%
Excess Electricity	688393	11.4
Unmet Electric load	0	0
Capacity shortage	0	0

Quantité	Valeur
Renewable Fraction	43.5
Max. Renew. Penetration	803

IV .7.4 Dimensionnement de la batterie

Tableau 07. Caractéristique de la batterie isolée du réseau

Quantité	Valeur	Unité
Batteries	6533	qty.
String Size	1.00	Batteries
Strings in Parallèle	6533	Strings
Bus Voltage	12.0	V
Autonomy	7.00	hr
Storage Wear Cost	0.335	€/kWh
Nominal Capacity	6538	KWh
Usable Nominal Capacity	3923	KWh
Lifetime Throughput	5226400	KWh
Expected Life	477	yr
Average Energy Cost	0.196	€/kWh
Energy In	1223510	KWh/yr
Energy Out	979363	KWh/yr
Storage Depletion	620	KWh/yr
Losses	244767	KWh/yr
Annual Throughput	1094961	KWh/yr



Figure 34.état de charge des batteries

IV .7.5 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

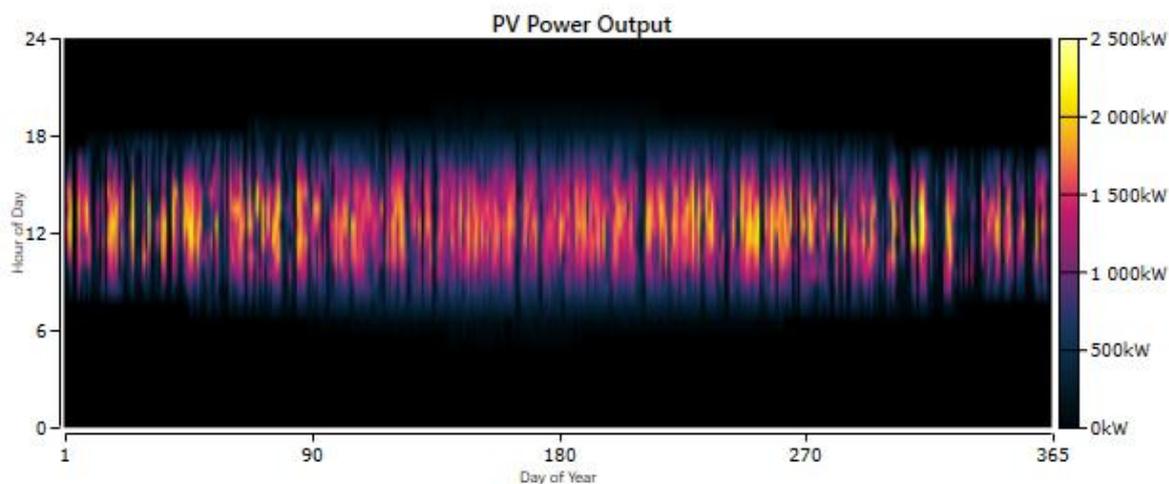


Figure 35.énergie produite par les panneaux photovoltaïques

Tableau 08. caractéristique des panneaux photovoltaïques isolé du réseau

Qantité	Valeur	Unité
Rated Capacity	2234	KW
Mean Output	371	KW
Mean Output	8908	KWh/d
Capacity Factor	16.6	%
Total Production	3251383	KWh/yr
Minimum Output	0	KWh
Maximum Output	2312	KWh
PV Penetration	66.2	%
Hours of Operation	4377	hrs/yr
Levelized Cost	0.125	DA/kWh

IV .7.6 Commentaires

- La méthode de dimensionnement présentée dans ce cas PV avec batterie isolé du réseau au centre universitaire Mila utilisé pour calculer le nombre optimal de modules photovoltaïques, des batteries dans un système hybride pour produit l'électricité à un cout acceptable nous avons eu suffisamment d'énergie satisfaisant le besoin de centre universitaire, sans recourir au réseau.
- Le choix de l'architecture (PV+Gen+ batterie) est le meilleur car il présente le **NPC** le plus bas d'après l'étude économique (**34.4 €M**).
- Le prix de **COE** pour ce cas est estimé à **0.402 €/KWh** ce qui est acceptable dans une certaine mesure.
- Après avoir obtenu le statut de consommation électrique de l'installation et les normes 01, le PV obtient 53,9% de la production

IV.8 Cas 2 : PV avec batterie connecte au réseau :

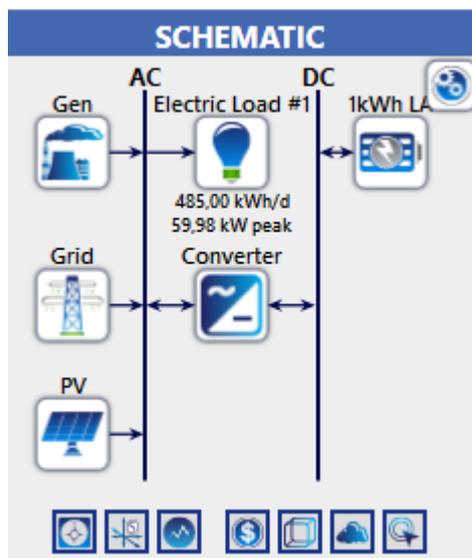


Figure 36. Schéma bloc du système électrique connecte au réseau

IV.8.1 Résultats de simulation

02 architectures sont proposées :

Tableau 09. Résultat de PV avec batterie connecte au réseau

	    	 
Architecture/PV (kW)	324	324
Architecture/Gen	66.0	
Architecture/LA (kwh)	539	808
Architecture/Grid (Kw)	999999	999999
Architecture/Converter (kW)	90.0	30.0
Architecture/Dispatch	cc	Lf
Cost/COE (€)	0.178	0.194
Cost/NPC (€M)	1.27	1.38
Cost/Operating cost (€/yr)	5993	12598
Cost/Initial capital (€M)	1.19	1.22
System/Ren Frac (%)	84.5	84.5
System/Total Fuel (L/yr)	0	0
PV/Capital Cost €)	972000	972000
PV/Production (kWh/yr)	471465	471465
Gen /Hours	0	
Gen /Production (kWh)	0	
Gen/O&M Cost (€/yr)	0	
Gen/ fuel (L)	0	
Autonomy (hr)	16.0	24.0
Annual Throughput (kWh/yr)	0	0
Nominal Capacity (kWh)	539	809
Usable Nominal Capacity (kWh)	324	485
Converter/Rectifier Mean Output (kW)	0	0
Converter/Inverter Mean Output (kW)	0	0
Grid/ Energy Purchased (kWh)	86543	86543
Grid/Energy Sold (kWh)	380983	380983

L'architecture sélectionnée est :     

Simulation Results

System Architecture: Generic 1kWh Lead Acid (539 strings) HOMER Cycle Charging
 Generic flat plate PV (324 kW) System Converter (90,0 kW)
 Autosize Genset (66,0 kW) Grid (999 999 kW)

IV.8.2 Étude économique

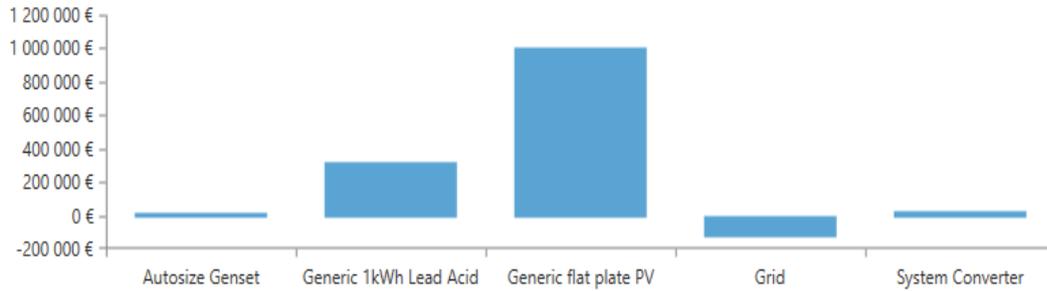


Figure 37. schéma bloc du système électrique connecté au réseau

Total NPC:	1 270 310,00 €
Levelized COE:	0,1781 €
Operating Cost:	5 992,97 €

Le tableau suivant donne une étude comparative entre le réseau proposé et un réseau conventionnel :

	Architecture							Cost				
	⚠	☀️	🏠	🔋	⚙️	PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA	Grid (kW)	Converter (kW)	NPC (€)	Initial capital (€)
Base system									999 999		226 297 €	0,00 €
Current system						324	66,0	539	999 999	90,0	1,27 €M	1,19 €M

Figure 1. étude comparative entre le réseau proposé et un réseau conventionnel.

IV.8.3 Étude électrique

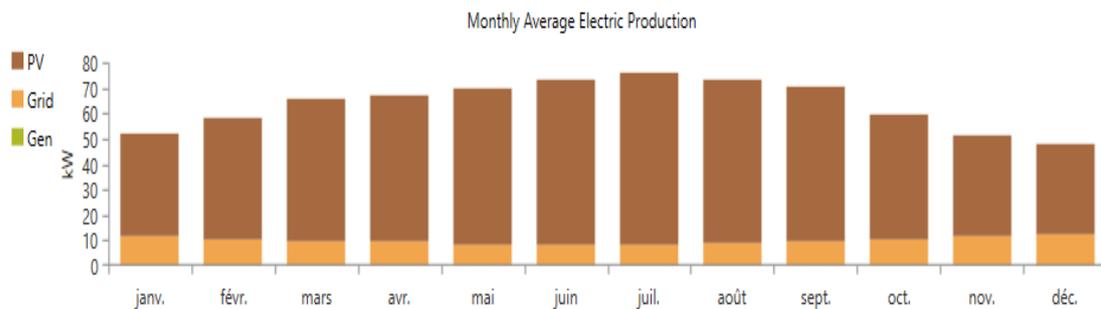


Figure 2. production électrique moyenne mensuelle

Production	KWh/an	%
Genséric plat PV	471465	84.5
Auto-size genset	0	0
Grid purchases	86543	15.5
Total	558008	100

Consumation	KWh/an	%
AC primary load	177025	31.7
DC primary load	0	0
Grid sales	380983	68.3
Total	558008	100

Quantité	KWh/an	%
Excess Electricity	0	0
Unmet electric load	0	0
Capacity shortage	0	0

Quantité	Valeur
Renewable fraction	84.5
Max-Renew penetration	100

IV .8.4 Dimensionnement de la batterie

Tableau 10. caractéristique de la batterie connecte au réseau

Quantité	Valeur	Unité
Batteries	539	qty.
String Size	1.00	Batteries
Strings in Parallel	539	Strings
Bus Voltage	12.0	V
Autonomy	16.0	hr
Storage Wear Cost	0.335	€/KWh
Nominal Capacity	539	KWh
Usable Nominal Capacity	324	KWh
Lifetime Throughput	0	KWh
Expected Life	10.0	Yr
Average Energy Cost	0	€/KWh
Energy In	0	KWh/yr
Energy Out	0	KWh/yr
Storage Depletion	0	KWh/yr
Losses	0	KWh/yr
Annual Throughput	0	KWh/yr

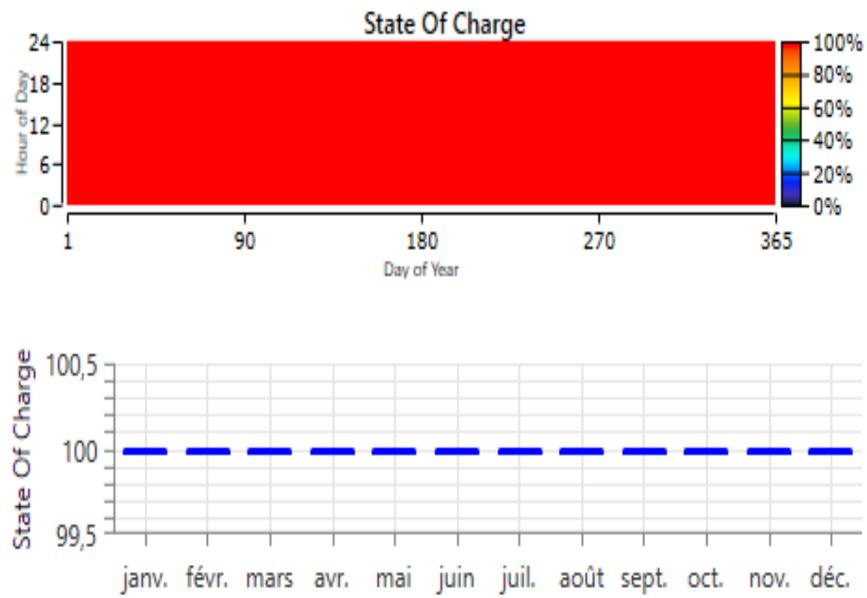


Figure 38. Etat de charge des batteries

IV.8.5 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques

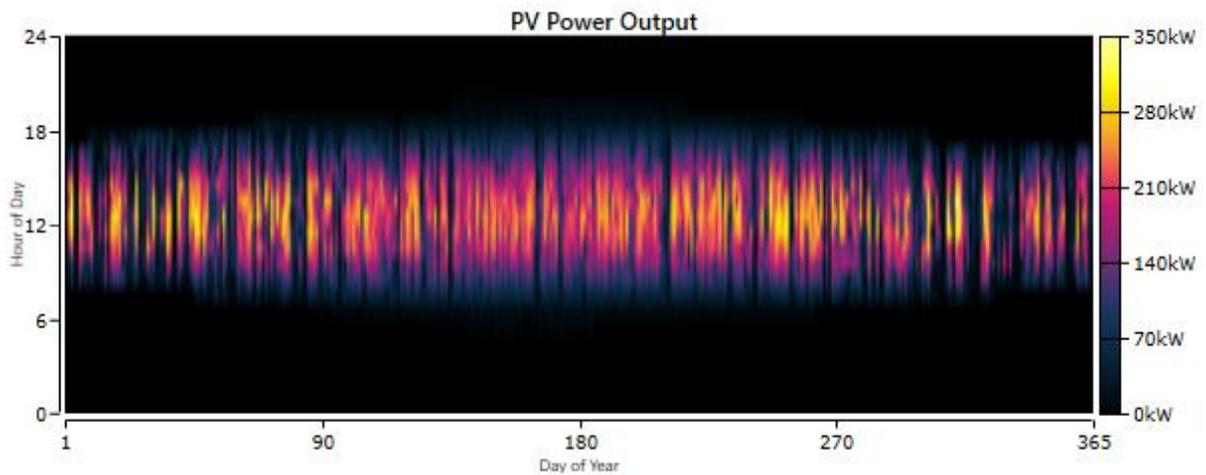


Figure 3. énergie produite par les panneaux photovoltaïques

Tableau 11. caractéristique des panneaux photovoltaïques connecte au réseau

Quantité	Valeur	Unité
Rated Capacity	324	KW
Mean Output	53.8	KW
Mean Output	1292	KWh/d
Capacity Factor	16.6	%
Total Production	471465	KWh/yr
Minimum Output	0	KW
Maximum Output	335	KW
PV Penetration	266	%
Hours of Operation	4379	hrs /yr
Levelized Cost	0.168	€/kWh

IV.8.6 Commentaires

D'après l'étude des deux architectures précédentes :

- Le choix de l'architecture PV+Gen + batterie +réseau est le meilleur choix à cause **NPC** le plus bas d'après l'étude économique.
- Excellent prix kWh **COE** 0.1781 €/kWh.
- Il est possible d'obtenir un surplus de production pendant les vacances car la consommation diminue surtout en été, ce surplus peut être vendu.

IV.8.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un dimensionnement d'une installation autonome, où nous avons choisi le Centre universitaire Mila pour mener ces études, qui ont été établies dans deux cas, PV avec batterie isolé au réseau et PV avec batterie connecte au réseau, où nous avons pu mener des études électriques et économiques.

Pour faciliter ce dimensionnement du système, nous avons utilisé le logiciel **Homer pro** qui optimise et analyse les systèmes hybrides où nous pouvons constater les résultats suivants :

- Une faible consommation d'électricité du réseau et un surplus de production d'électricité solaire, donc on peut envisager une éventuelle vente d'énergie au réseau durant toute l'année.
- Nous avons essayé autant que possible d'obtenir une énergie propre et non polluante

Dans notre pays, nous avons des prix du diesel moins chers par rapport à d'autres pays, et à partir de là, le générateur peut être utilisé comme une aide aux panneaux solaires pour produire de l'énergie, mais il ne peut pas être totalement utilisé pour éviter les émissions.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les énergies renouvelables vont assurer une grande partie de notre avenir énergétique. Il permet un développement futur et est une solution à nos problèmes énergétiques et environnementaux. Ils sont respectueux de l'environnement. Il aide également à lutter contre les effets du réchauffement climatique et de la pollution atmosphérique. Dans ce contexte, les travaux de recherche présentés dans ce mémoire portent sur le dimensionnement du système PV avec la batterie. Ce travail nous a permis de :

Fournir une description des systèmes d'énergie renouvelable et ensuite simuler plusieurs états et structures. Les résultats montrent également que l'utilisation du système PV comme système principal améliore le coût du système autonome et la rentabilité économique des sites sélectionnés. Surtout lorsque les coûts d'électricité augmentent légèrement, les coûts de rachat d'électricité du réseau seront attractifs.

Quelques notions sur le rayonnement solaire et les différents paramètres intervenant dans les calculs ont été passés en revue. Le principe de fonctionnement d'une cellule PV, ainsi que les technologies de fabrication utilisées ont été abordés.

Nous avons optimisé et analysé avec le logiciel Homer le système hybride qui dimensionne les différents composants de l'installation Photovoltaïque à savoir les panneaux photovoltaïques, les batteries, le générateur diesel, le dimensionnement c'est fait en utilisant les deux méthodes qui sont :

- PV avec batterie isolé du réseau
- PV avec batterie connecte au réseau

D'après les résultats obtenus dans les deux cas (PV avec batterie connectée et isolée du réseau), en utilisant le deuxième cas :

- PV avec batterie connecter au réseau est le choix le plus approprié car il est moins cher et sans émissions par rapport au premier. Il contient de :

- 324 PV au lieu de 2234 PV
- 539 batteries au lieu de 6533 batteries

References

Références

- [1] Mr Bouafia Fateh et Mr Dib Achref "Dimensionnement d'un système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien avec batterie " Université Des Frères Mentouri Constantine : Prom
- [2] : Mukund, R.P., Wind and solar power systems. Ed CRC Press. New York (1999)
- [3] M. dahbi, 2007 « étude et optimisation d'une installation hybride pv_eolienne », these de doctorat, universite de bechar 2008
- [4] : Docteur-Naim Hocine Date du transfert le Aug 03, 2015 l'énergie solaire photovoltaïque
- [5] : Labouret, A., M.P. Viloz, Energie solaire photovoltaïque: le manuel du professionnel (Série électrotechnique). Ed Dunod. (2003).
- [6] : Belhadj, M. *Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque autonome*. Mémoire de Magister, Université de Béchar, (2008)
- [7] : Alain Ricaud, Convertisseurs photovoltaïques. Nov. 2007..
- [8] : « Les piles solaires, le composant et ces applications » Edition.Masson (1985).
- [9] : A. buyers « les système photovoltaïques » guide, Canada 2002 .ARTICLE PDF.
- [10] : A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef « Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin » Rev .Energ. Ren : physique Energétique (1998pp.95-100).
- [11] : T. Fogelman, « Système photovoltaïque pour les pays en déventement, manuel d'installation et d'utilisation, Agence Française pour la Maîtrise de l'énergie,(AFME)
- [12] : C. Bernard, J.Chauvin, D. Lebrun, J.F Muraz, P. Stassi « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger ».2006
- [13] :A. Guen, « contribution à l'étude des système de télécommunications mobiles Alimentés par énergie solaire », thèse de magister, Université de Tlemcen, février 1992.
- [14] : www.solarelectripower.org
- [15] : www.dmseducation.com
- [16] : Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07 ,2012
- [17] : GOAR Noureddine et MAHMOUDI Abdelkader : « Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque »université deAin el Beida le: Juin 2017.
- [18] : SaouSouhila ** Etude et réalisation d'un onduleur solaire sinusoïdal ** uneversite de Ain el Beida le : Juin 2016

Références

[19] : Mr. ANDRIABANJIMANALINA TENDRY RINASOA. CONVERTISSEUR MULTINIVEAUX. Mémoire d'ingénieur université d'Antananarivo école supérieur polytechnique 2004.

[20] : Hervé LABORNE. Convertisseurs assistés par un réseau alternatif (tom1 et 2)

EYROLLES 1989-1992

[21] : Melle LAOUEDJ Fethia et Melle ZEBBAR Hadjer : étude et simulation d'une commande numérique (discrète) d'un pont redresseur à IGBT/MOSFET :le 16 juin 2015

[22] : M. SLAMA Fateh « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique » UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF- (le 01 /04/2011)

[23] Mr BENMESSAOUD MOHAMMED TARIK « SYSTÈME D'ÉNERGIE HYBRIDE PV-SOFC Étude de cas de réalisation stationnaire à l'USTO » université MOHAMED BOUDIAF-ORAN le 30/30/2302

[24] Mlle ZERROUKI Zolikha , Mlle BEREKSI REGUIG Rym " Dimensionnement d'un système photo voltaïque autonome UNIVERSITÉ ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN : 2016 – 2017.

[25] : (<https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.12/index.html>).

[26] : <https://fr.weatherspark.com/y/53044/M%C3%A9t%C3%A9o-habituelle-%C3%A0-Mila-Alg%C3%A9rie>

Annex :

PV :



Name: Generic flat plate PV

Abbreviation: PV

Name : generic flat plate PV

Abréviation : PV

Panel type : flat plate

Rated capacity (kw) : 1

Manufacteur :generic

Générateur :



Name: Autosize Genset

Abbreviation: Gen

Name : autosize Genset

Fuel : diesel

Fuel curve intercept :28.4 l/hr

Fuel curve slope : 0.251 l/hr/kw

CO (g/l fuel) : 16.5

Unburned HC (g/l fuel) : 0.72

Particulates (g/l fuel) : 0.1

Fuel sulfur to PM (%) : 2.2

Nox(g/l fuel) : 15.5

Lower heating value (MJ/Kg) : 43.2

Density (Kg/m3) : 820

Carbon content (%) : 88

Sulfur content (%) : 0.4

Batteries :

STORAGE



Name: Generic 1kWh Lead Acid

Abbreviation: 1kWh L

Name :kinetic battery model

Nominal voltage (V) : 12

Nominal capacity (KWh) : 1

Maximum capacity (Ah) : 83.4

Capacity ratio : 0.403

Rate constant (1/hr) : 0.827

Round trip efficiency (%) : 80

Maximum charge current (A) : 16.7

Maximum discharge current (A) :24.3

Maximum charge rate (A/Ah) : 1