

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

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER en PHYSIQUE ENERGETIQUE**

Thème

*Étude et simulation destiné à la production d'éclairage
photovoltaïque de production d'électricité dans l'aéroport
BBM Adrar.*

Soutenu le :26 Juin 2019

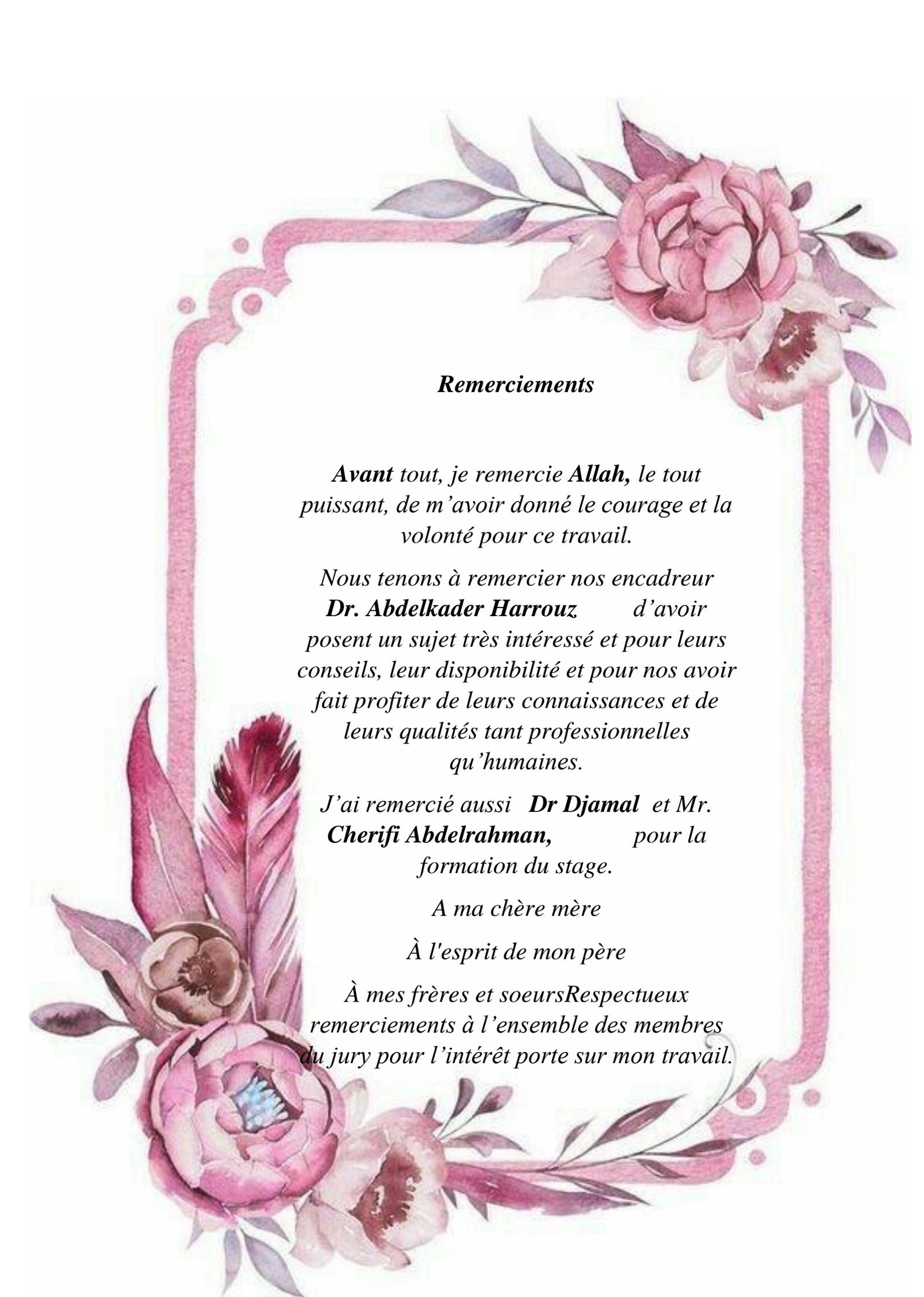
Présenté par : Yaga Nadia

Encadré par : Dr.HarrouzAbdelkader

Président : Dr.Laribi slimane

Examineurs : Mr. Bakko Youcfe

Année Universitaire : 2018 /2019



Remerciements

Avant tout, je remercie Allah, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour ce travail.

*Nous tenons à remercier nos encadreur
Dr. Abdelkader Harrouz d'avoir
posé un sujet très intéressé et pour leurs
conseils, leur disponibilité et pour nos avoir
fait profiter de leurs connaissances et de
leurs qualités tant professionnelles
qu'humaines.*

*J'ai remercié aussi **Dr Djamal** et Mr.
Cherifi Abdelrahman, pour la
formation du stage.*

A ma chère mère

À l'esprit de mon père

*À mes frères et soeurs Respectueux
remerciements à l'ensemble des membres
du jury pour l'intérêt porte sur mon travail.*



Dédicace:

Je dédie ce modeste travail :

Ames très chers parents, que dieu les garde et protège pour leurs
soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les
sacrifices

Qu'ils ont endurés.

A mes frères

Ames sœurs

A mes grandes familles YAGA et Sehli.

Tableau de matière

Remerciements

Dédicace

Plan de travail

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction général

Contents

Chapitre 1 Gisement solaire

1.1	Introduction	3
1.2.2	La photosphère	4
1.2.3	La chromosphère et la couronne solaire.....	4
1.3.	Coordonnées géographiques.....	5
1.3.1	L'altitude ϕ	5
1.3.2	Longitude λ	5
1.4.	Coordonnées célestes horizontales	6
1.4.1	Azimute α	6
1.4.2	Hauteur du soleil(h).....	6
1.5.	Coordonnées célestes horaires.....	6
1.5.1.	Angle horaire du soleil	6
1.6.	Mouvement de la terre autour du soleil	7
1.7.	Mouvement apparent du soleil	8
1.8.	Rayonnement solaire sur un plan horizontal	9
1.8.1.	Rayonnement direct	9
1.8.2.	Rayonnement diffus.....	9
1.8.3.	Rayonnement réfléchi	9
1.8.4.	Rayonnement global(ØG)	10
1.9.	Gisement solaire en Algérie	10
1.9.1	Selon l'ensoleillement reçu annuellement :	10
1.10.	Conclusion.....	12

Chapitre2 système photovoltaïque

2.1. Introduction	14
2.2-effet photovoltaïque	14
2.3. Cellule photovoltaïque	15
2.4. Semi-conducteur	15
2.4.1. Formation de la jonction PN	15
2.5. Principe de la conversion photoélectrique	16
2.6. Le module photovoltaïque	17
2.7. Panneau solaire	18
2.8 Différents types de cellules solaires	20
2.8.1. Propriétés photovoltaïque du silicium	20
2.8.2 Le silicium monocristallin	20
2.8.3 Le silicium poly cristallin	20
2.8.4 Le silicium amorphe	21
2.8.5 Cellules à couches minces	21
2.9. Paramètres des cellules photovoltaïques	21
2.9.1 Courant de court-circuit, I_{sc}	21
2.9.2 Tension de circuit ouvert, V_{oc}	22
2.9.3 Point de puissance maximale, P_{max}	22
2.9.4 Facteur de forme, FF	22
2.9.5 Le rendement, η	22
2.10. Influence de paramètre sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque	23
2.11. Regroupement des cellules	23
2.11.1 Regroupement en série	23
2.11.2 Regroupement en parallèle	23
2.11.3 Regroupement (mix)	24
2.12. Convertisseur	24
2.12.1 Définition	24
2.12.2 Hacheur (DC/DC)	24
2.12.3 Onduleurs DC/AC	26
2.13.1 Système PV connecté directement au réseau	32
2.13.2 systèmes à bus continu intermédiaire	33
2.14 .régulateur de charge	34
2.14 les caractéristiques électriques du régulateur sont les suivantes :	35
2.15. Stockage	35
2.16. Conclusion	36

Chapitre3 dimensionnement d'un système photovoltaïque

3.1. Introduction :	38
3.2. Présentation de program de simulation de système photovoltaïque :	38
3.3. Dimensionnement d'un système photovoltaïque :	39
3.3.1. Création du système PV :	39
3.3.3. Données météorologiques :	40
3.3.4. Données de la température :	41
3.4. Résultats de simulation :	43
3.4.2. Différents scénarios :	44
3.5. Conclusion :	48

La liste des tableaux :

Tableau 1.1 : caractéristiques principales du soleil [1].

Tableau 1.2. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.

Tableau.3.1: Caractéristiques géographiques de la station météorologique de BBM.

Tableau.3.2: Données du rayonnement solaire de la région de BBM

La liste des figures :

Figure 1.1 : structure du soleil.

Figure 1.2 : coordonnées géographiques.

Figure 1.3 : les coordonnées célestes horizontales.

Figure 1.4 : repère équatorial.

Figure 1.5 : le mouvement de la terre autour du soleil.

Figure 1.6 : mouvement apparent du soleil observé d'un point de latitude L.

Figure 1.7 : carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.

Figure 1.8 : moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude de lieu.

Figure 1.9 : répartition territoriale des stations météorologiques en A.

Figure 2.11 : exemple de convertisseur DC/DC vers le haut.

Figure 2.12 : convertisseur typique DC/DC vers le bas.

Figure 2.13 : circuit simple utilisant un pont de transistors.

Figure 2.14 : filtrage de la tension par l'inductance de sortie.

Figure 2.15 : typologie des systèmes onduleur centralisé.

Figure 2.16 : typologie des systèmes onduleur chaîne.

Figure 2.17 : typologie des systèmes onduleur chaîne.

Figure 2.19 : architecture du système PV avec un bus en courant alternatif(AC).

Figure 2.20 : architecture du système PV avec un bus en courant continu(DC).

Figure 3 .1 : Présentation de la zone d'étude.

Figure 3.2: Diagrammes de quelques systèmes énergétiques qui peuvent être simulés par HOMER.

Figure 3.3: Bibliothèque et le besoin électrique de l'aéroport proposé par HOMER.

Figure 3.4: Évolution de l'ensoleillement mensuelle.

Figure3.5: Variation de la température journalier moyenne de la région de BBM.

Figure3.6: Variation de la température mensuelle moyenne de la région de BBM.

Figure3.7: Configuration du système hybride PV-générateur diesel-Batterie.

Figure 3.8 : Les prix des générateurs de système.

Figure 3.9 : Les prix de l'opération et de la maintenance de système

Figure 3.10: Irradiation solaire mensuelle globale.

Figure 3.11 : La Production énergétique mensuelle du système

Figure3.12 : les caractéristiques techniques des batteries

Figure. 3.13 : profile de Puissance moyenne produite par les panneaux photovoltaïques.

Figure.3.14 : la production de l'énergie photovoltaïque

A decorative border resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top-left and bottom-left corners feature scroll-like curls.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le Soleil est une étoile – notre étoile – située à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène et apparaît sous un angle d'un peu plus d'un demi-degré. Il faudrait donc 93 000 soleils côte à côte pour occuper l'étendue de la voûte céleste. Son rayon est 109 fois celui de la Terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète. La Lune est 400 fois plus petite que le Soleil, mais 400 fois plus près de la Terre, ce qui explique la taille apparente similaire des deux astres dans le ciel, ce dont on peut se rendre compte en particulier lors des éclipses de Soleil.

Sachant que le soleil représente une source fondamentale des énergies renouvelables à la production thermique et l'électrique, qui sont l'énergie éolienne, thermique, hydraulique, biomasse et solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque a l'avantage de convertir directement l'énergie du soleil en électricité. L'un des applications de cette source dans notre vie est l'éclairage public.

L'objectif dans ce travail est l'étude et simulation d'un système d'éclairage photovoltaïque de production d'électricité dans l'aéroport BBM Adrar. (Bordj Badji El Mokhtar).

Pour réaliser ce travail, nous avons réalisé trois (03) chapitres :

- Chapitre 1 : généralité d'un gisement solaire, on va donner une définition général du soleil (la photosphère, les coordonnées célestes horizontales, les coordonnées célestes horaires, le mouvement de la terre autour du soleil, rayonnement solaire et le gisement solaire en Algérien).
- Chapitre 2 : le système photovoltaïque, l'effet photovoltaïque, cellule photovoltaïque avec ces types et le principe de convertir l'énergie solaire par système photovoltaïque.
- Chapitre 3 : dans ce chapitre dimensionnement d'un système PV en utilisant logiciel Homer, cette dimensionnement basées sur les données météorologique et la température.

Et nous allons terminer avec de conclusion et des perspectiv

A decorative border resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top-left and bottom-left corners feature scroll-like flourishes.

Chapitre I

Gisement solaire

1.1 Introduction

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes : énergie non renouvelables, qui sont d'origine fossile, le charbon, le gaz sont parmi les plus connues. et les énergies renouvelables, dont les plus importantes sont : le solaire, l'éolien et la géothermie. Elles trouvent leurs sources dans les différents flux énergétiques naturels incidents sur la terre, qui sont essentiellement :

- le rayonnement solaire, qui procure 99.97% de sa densité thermique.
- La chaleur interne terrestre, qui procure 0.03% de sa densité thermique.
- Les forces de gravitation.

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus éminente, elle est également à l'origine de la plupart des sources d'énergies utilisées par l'homme.

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du Soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du soleil en fonction du temps donc fondamentale [1].

1.2 Le soleil

Le soleil est à l'origine de toute source d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour l'énergie non renouvelables d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont le résultat de la photosynthèse ; que pour les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie géothermique, la biomasse...etc. [2]

Comparable à une immense boule de gaz très chaud, le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique qui se compose principalement de 80%d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments chimiques.

Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil. [2]

Les principales caractéristiques du soleil sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

<i>Caractéristique</i>	<i>Valeur</i>
Masse	$1,989.10^{30}$ Kg
Masse volumique moyenne	$1410\text{Kg}/\text{m}^3$
Diamètre	$13,92.10^5$ km
Distance du centre de la voie lactée	$2,5.10^{17}$ km
Vitesse	217km/s
Température superficielle	5770k
Puissance rayonnée	$3,83.10^{23}$ kw

Tableau 1.1 : caractéristiques principales du soleil [1]

La structure du soleil est illustrée à la figure 1.1. On distingue trois régions particulières [2] :

1.2.1 L'intérieur du soleil

Cette région est divisée en trois zones ; le noyau, la zone radiative et la zone convective. Elle représente 40% de la masse du soleil et elle s'étend sur une épaisseur de 25.104km. Sa température atteint plusieurs millions de degrés et la pression un milliard d'atmosphère.

1.2.2 La photosphère

C'est une couche opaque d'environ 300km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques million de degrés, décroissante très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C.

1.2.3 La chromosphère et la couronne solaire

C'est une région à faible densité où la matière est très diluée, elle représente l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible est très élevée (environ un million de degrés) [2].

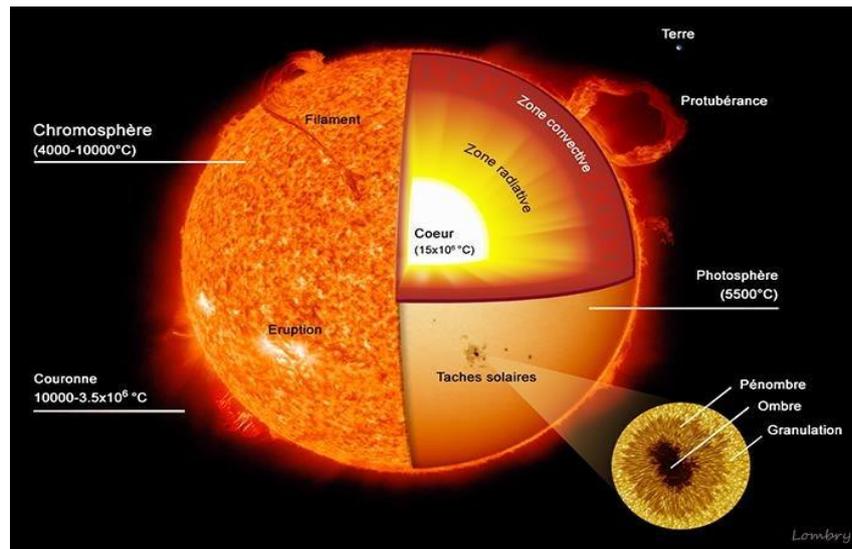


Figure 1.1 : structure du soleil [3]

1.3. Coordonnées géographiques

Ce des coordonnées angulaire qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

1.3.1 L'altitude ϕ

C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considère. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et la pole sud par la latitude -90° [4]

1.3.2 Longitude λ

C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. On a choisi pour méridien (origine 0°), le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe(+) le méridien situé à l'est de ce méridien, et du signe(-) les méridien situé à l'ouest. [4]

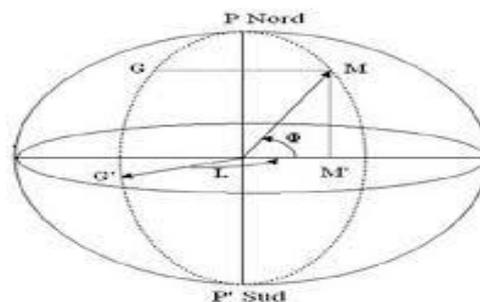


Figure 1.2 : coordonnées géographiques [3]

La latitude(L) est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre +90° au pôle Nord et -90° au pôle sud. [5]

1.4. Coordonnées célestes horizontales

1.4.1 Azimute α

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du sud et il désigne l'orientation de la surface de telle sorte que : [6]

$\alpha = -90^\circ$ pour une orientation Est

$\alpha = 0$ pour une orientation Sud

$\alpha = 90$ pour une orientation Ouest

$\alpha = 180^\circ$ pour une orientation Nord

1.4.2 Hauteur du soleil(h)

Est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal (figure 1.5), elle est donnée par la formule [5] :

$$\sin(h) = \sin(L) \times \sin(d) + \sin(L) \times \cos(d) \times \cos(\omega) \quad (1.1)$$

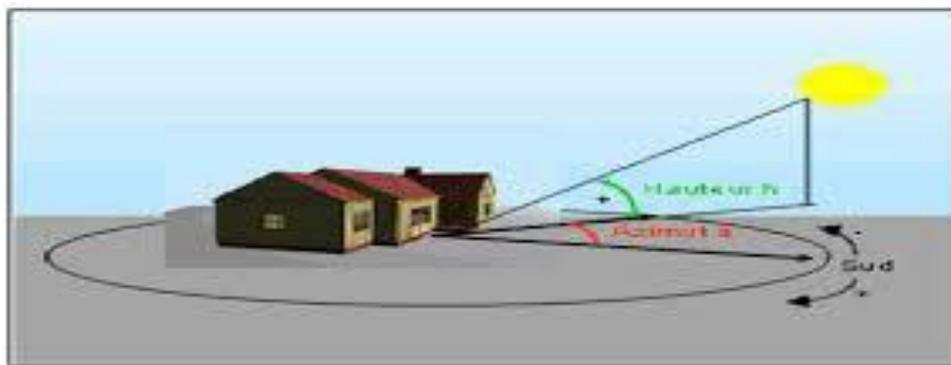


Figure 1.3. Les coordonnées célestes horizontales. [3]

1.5. Coordonnées célestes horaires

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (\square , H) (fig.2.3).

1.5.1. Angle horaire du soleil

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. [7]

$$H=15(TSV-12) \quad (1.2)$$

Dans le modèle R.sun, l'angle horaire est donné par l'équation suivante :

$$H=0.261799 \times (TSV-12) \quad (1.3)$$

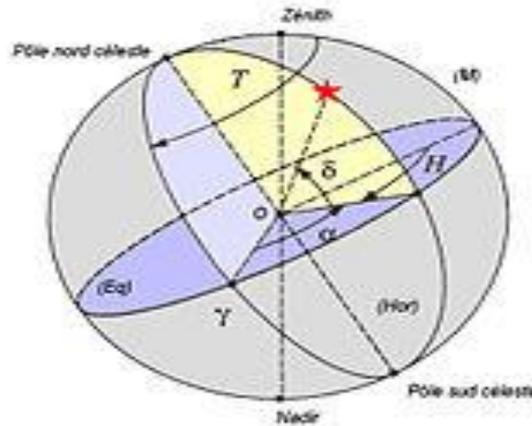


Figure 1.4 : Repère équatorial [3]

1.6. Mouvement de la terre autour du soleil

Le mouvement de la terre autour du soleil s'effectue dans un plan nommé le plan de l'écliptique. L'axe des pôles, autour duquel s'effectue le mouvement de rotation de la terre, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. [6]

Le centre de gravité de la terre décrit une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers figure 1.1.

La terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles et le plan équatorial, perpendiculaire à cet axe. Ainsi, la rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Elle tourne autour du soleil en 365 jours 5h 48 mn 40s ≈ 365,25 jours.

La terre tourne avec une vitesse moyenne 29,77Km/s (vitesse maximale en hiver 30,27Km/s et minimale en été 29,77Km/s). Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique et provoque le cycle des saisons. [6]

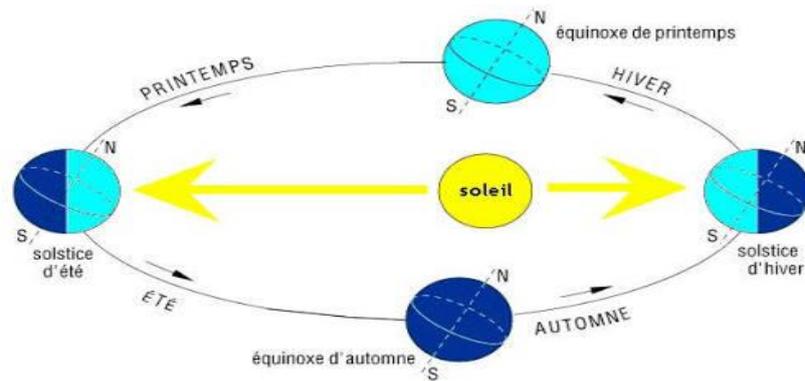


Figure 1.5 : le mouvement de la terre autour du soleil. [7]

1.7. Mouvement apparent du soleil

Le mouvement que paraît faire le soleil en une journée vu par un observateur situé sur terre est appelé "le mouvement apparent du soleil". En dehors des régions polaires, de l'Équateur et des tropiques : [2]

- Le matin ; le soleil est à l'Est, bas sur l'horizon, c'est le « lever du soleil »
- À midi ; le soleil est positionné au sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent ;
- Le soir ; le soleil apparaît à l'Ouest, bas sur l'horizon, c'est le « coucher du soleil »

Le mouvement apparent du soleil observé par un homme fixe en un point de latitude L au Nord de l'Équateur est schématisé sur la figure (1-3). [2]

L'angle que fait la direction du soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à $(L-d)$.

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12 entre le 21 mars et le 21 septembre.

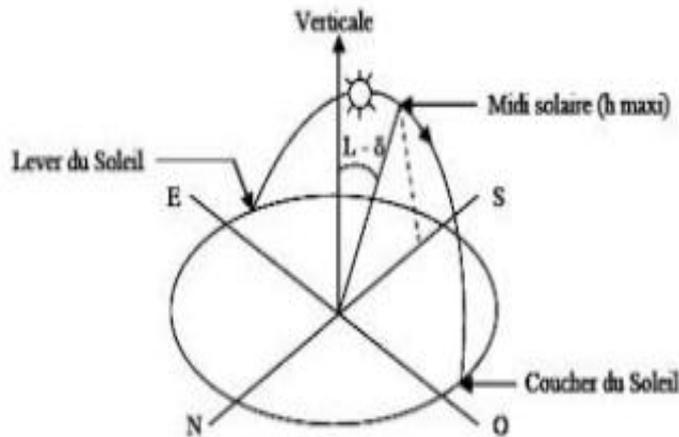


Figure 1.6 : Mouvement apparent du soleil observé d'un point de latitude L.[8]

1.8. Rayonnement solaire sur un plan horizontal

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales :

1.8.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère. Après des mesures pour des heures (i) nous avons l'équation statique pour le rayonnement direct.

$$S_H = 1367 \cdot C(j) \cdot \sin(h(i)) \exp\left(\frac{-T(L)}{(0.9)(9.41)(M(i))}\right) \quad (1.4)$$

1.8.2. Rayonnement diffus

C'est la partie du Rayonnement provenant du soleil, ayant subi de multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. Pour un observateur le rayonnement diffus(D) par l'heur i est statistiquement donné par

$$D_H(i) = \frac{1367}{3} \cdot C(j) \cdot \sin(h(i) - 2) \cdot \exp\left[-0.5 \cdot \log 2 \left(\frac{-T_L}{22 \cdot M(i)^{-0.65}}\right)\right] \quad (1.5)$$

8.3. Rayonnement réfléchi

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable.....).Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo(ξ) tq : $0 \leq \xi \leq 1$

1.8.4. Rayonnement global(ØG)

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions directes, diffus et réfléchi :

$$\varnothing_G = S_H + D_H + R_H \quad (1.6)$$

1.9. Gisement solaire en Algérie

Gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure 1.7 :

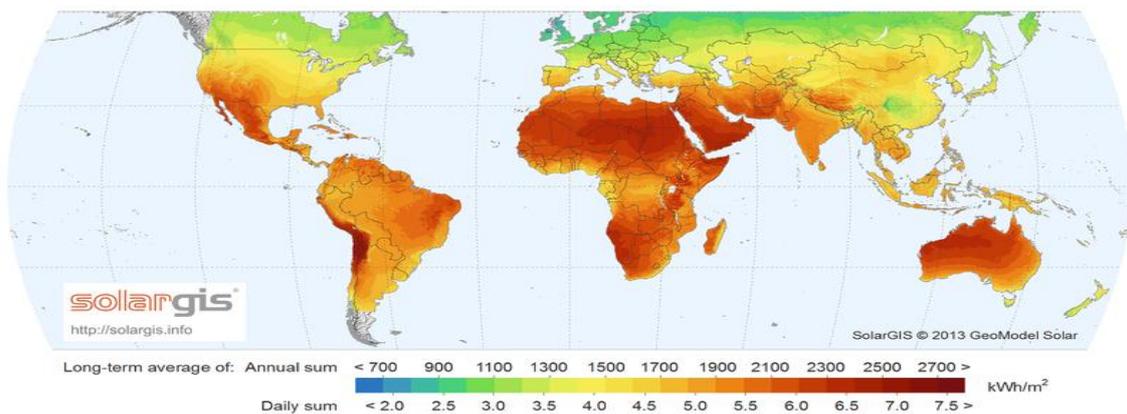


Figure 1.7 carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [14]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisement de gras naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau

1.9.1 Selon l'ensoleillement reçu annuellement :

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie(%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (KWh/m/an)	1700	1900	2650

Tableau 1.2 ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud ou elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale.

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure 1.8).

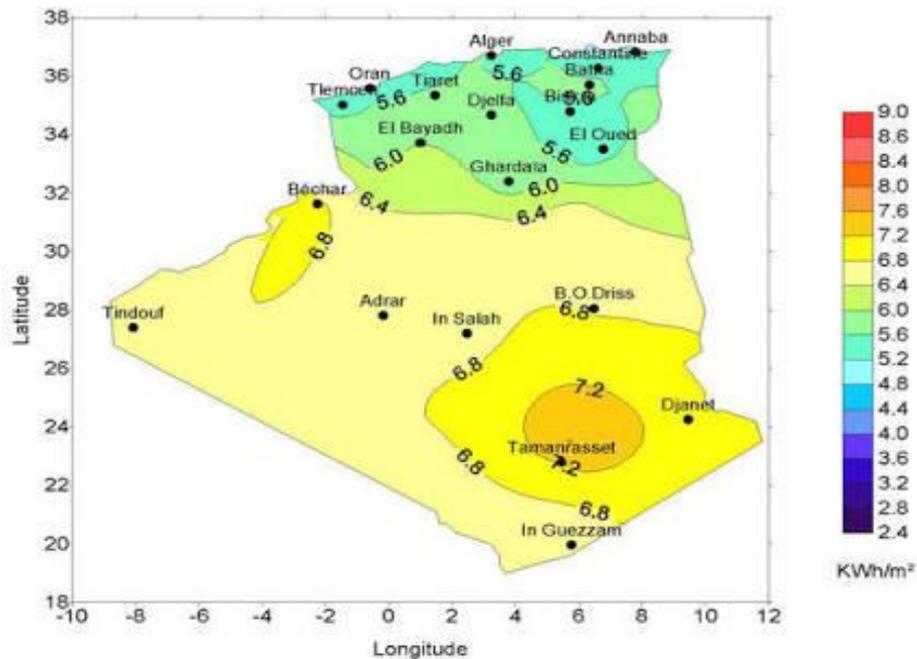


Figure 1.8 moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue un plan incliné à la latitude du lieu [8]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure 1.9) [16]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre [5].

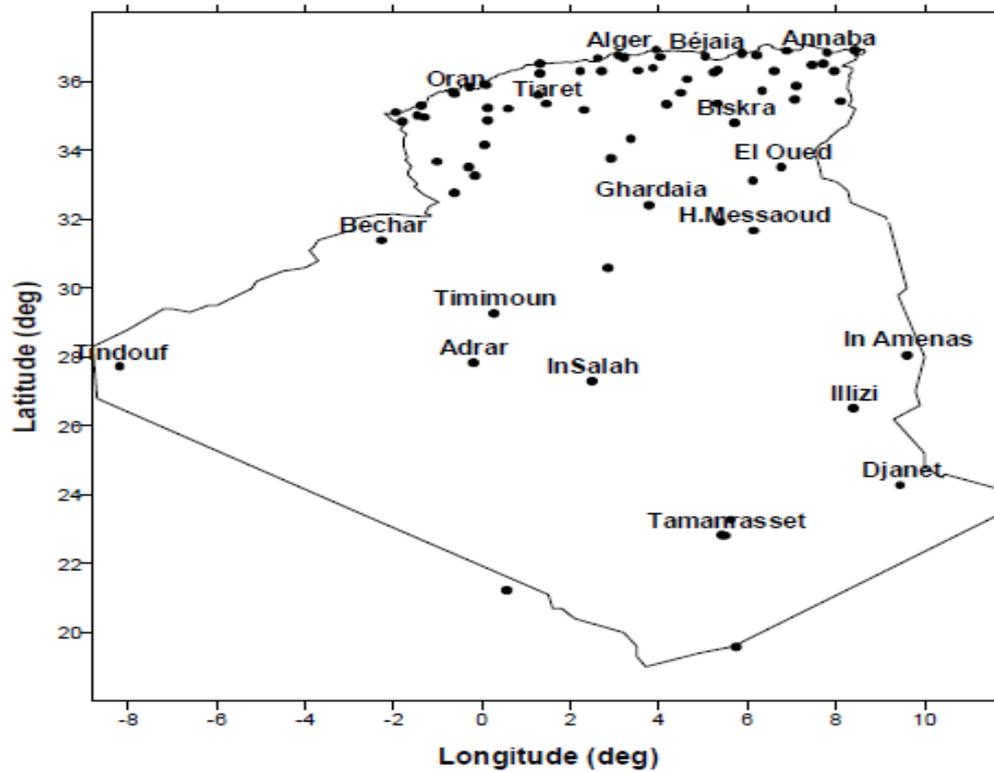
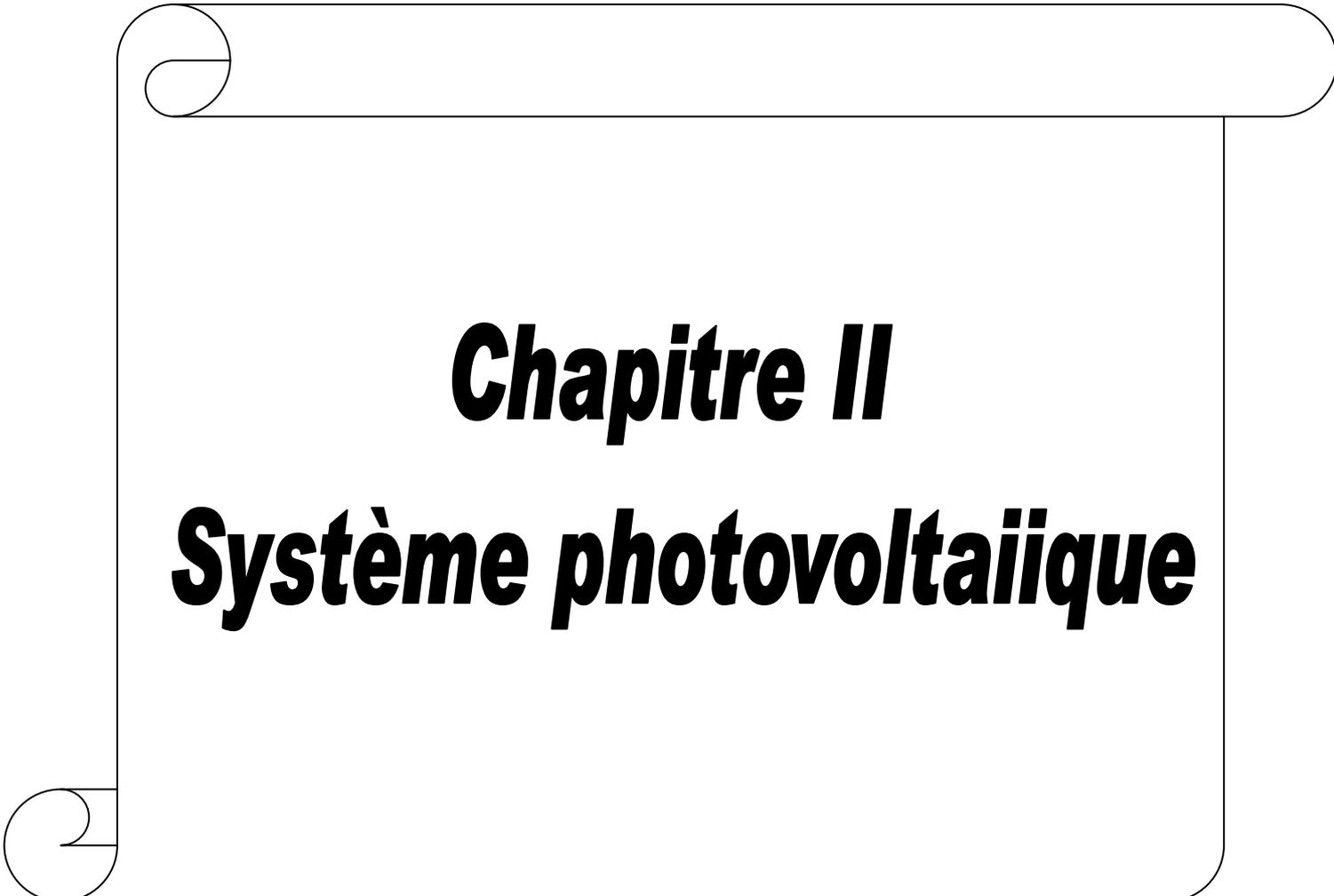


Figure 1.9 repartitions territoriale des stations météorologique en A [9]

1.10. Conclusion

L'utilisation de l'énergie solaire est un des axes prioritaires de recherche en ALGERIE qui dispose d'un gisement solaire important

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur description du soleil, le gisement solaire en Algérie et les paramètres de position ainsi que mouvement de la terre et rayonnement solaire sur un plan horizontal, ce qui permet d'introduire à le PV système, ce qui on voir dans le 2eme chapitre.

A decorative border resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a rounded right end and a small scroll-like detail on the left. The vertical bar has a scroll-like detail at the bottom. The text is centered within the space defined by these bars.

Chapitre II
Systeme photovoltaïque

2.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffuse sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Le nom photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties :

Photos : lumière.

Volt : Unité de tension électrique, du nom Alessandro volta.

Ce phénomène fut découvert au 19ème siècle par le physicien [Alexander Edmond Becquerel]. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres à début des années 70. Les photovoltaïques furent utilisées pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications.

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons rappelé dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs ; matériaux de base des cellules photovoltaïques.

Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet et à ses trois types à savoir [10] :

- Les systèmes autonomes,
- Les systèmes connectés au réseau ,

2.2-effet photovoltaïque

Lorsque la lumière atteint une cellule solaire, une partie de l'énergie incidente est convertie directement en électricité. Cette propriété remarquable est au cœur de toute installation photovoltaïque elle est appelée l'effet photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propose à certains matériaux appelés "semi-conducteur" qui, expose à la lumière, produisent de l'électricité. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin qui est utilisé aujourd'hui dans 90% des panneaux solaires produits dans le monde.

Cet effet fut observé pour la première fois par Becquerel en 1839 des électrodes plongées dans un électrolyte à la lumière .C'est en 1876 que l'on observa un phénomène photoélectrique dans un solide, le sélénium et ce matériau furent utilise pour la mesure de la lumière avant que le silicium ne soit développe.

-Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (pompage PV)

2.3. Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est l'élément fondamental d'un générateur solaire, elle est fabriquée à l'aide d'un matériau semi-conducteur comme les diodes. [11]

2.4. Semi-conducteur

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industrielle est la réalisation de cellule à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilise car il est peu couteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique. [11]

2.4.1. Formation de la jonction PN

Le silicium , comme tous les semi-conducteurs , a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide .Mais grâce à une apport énergétique suffisant , il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres, figure (2.1).[11]

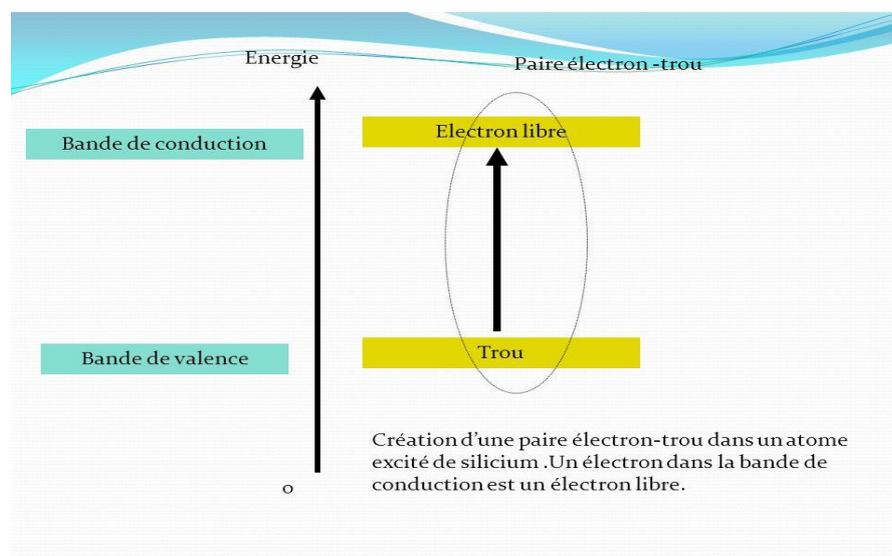


Figure 2.1 génération de la paire électron-trou.[12]

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo-générateur afin d'entraîner les charges positives d'un cote et les charges négatives de l'autre. Centre opération est possible par dopage du silicium .Une jonction PN est créer par l'assemblage de deux barreaux de silicium de type N et P .Le composant ainsi crée est appelé diode.[10]

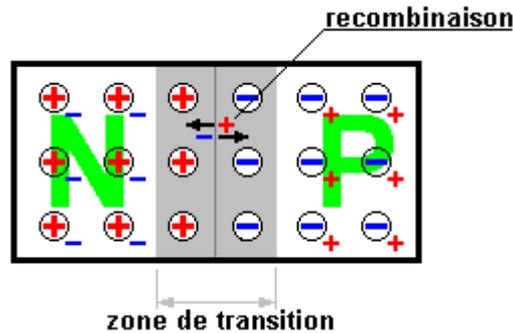


Figure 2.2 la jonction PN [13]

2.5. Principe de la conversion photoélectrique

Le phénomène mis en jeu dans l'effet photovoltaïque consiste en l'apparition d'une différence de potentiel quand on génère des porteurs de charges par excitation lumineuse au voisinage d'une jonction entre deux zones. L'une de ces zones présente un excédent d'électrons et l'autre un déficit, elles sont dites respectivement, dopée n et p. Le dopage peut être dans le même matériau (homo jonction) ou de deux matériaux différents (hétéro jonction).

La jonction p-n formée est le siège d'un champ magnétique dirige de la zone p vers la zone n. lorsque les photons heurtent la surface mince des semi-conducteurs, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Si l'énergie transmise par les photons est suffisante (au moins égale à l'énergie d'extraction d'un électron), les électrons se mettent alors en mouvement en direction de la zone n, créant ainsi un courant électrique (le photo-courant) qui est recueilli par des contacts métalliques très fins accolés aux zones p et n [14]

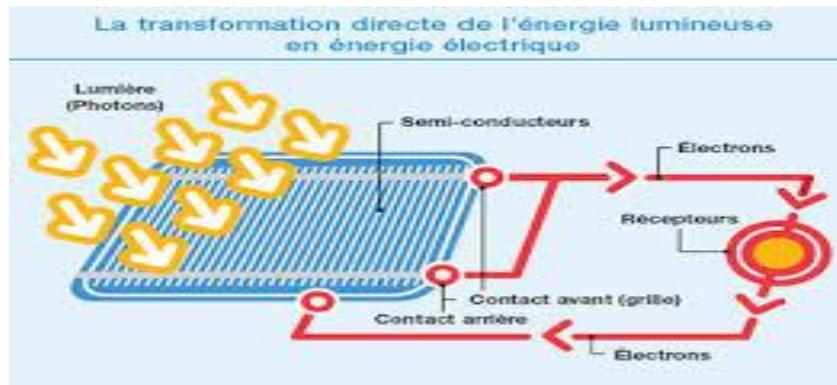


Figure 2.3 principe de conversion photovoltaïque [15]

2.6. Le module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module Figure (2.4-a). 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 (2.4-b) et protégées 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 [1]



Figure 2.4 : Module photovoltaïque [13]

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

À l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles Figure (2.5). Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [1].



Figure 2.5 : Boite de jonction.[17]

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 monocristallin (c-si, 64% de marche), 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) [1].

La plupart des modules commercialisés sont composées 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% [1].

2.7. Panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) (figure (2.6)) se compose de modules photovoltaïque interconnectes 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



Figure 2.6 panneau photovoltaïque.[18]

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, Alors cette boîte de dérivation (figure (2.7)) fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



Figure 2.7 Boîte de dérivation. [19]

La boîte de dérivation est composée également d'un circuit imprimé sur lequel se trouvent :

- Des diodes Schottky sérient, placée sur radiateur, sur chaque entrée, qui empêche aux batteries de se décharger dans les panneaux.
- Des fusibles de protections qui empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules en cas de destruction des diodes antipodales.
- Des diodes lumineuses, en parallèle sur chaque fusible de protection. ces diodes permettant de contrôler individuellement chaque branche de modules. Par exemple une boîte à 4 entrées de 24 volts sera constituée de deux modules, il y aura donc deux diodes qui permettront de constater le fonctionnement de chaque branche.

- Une protection parafoudre (Transi ou VDR) en sortie de la boîte.

Le câblage de ces boîtes permet d'avoir une sortie en 12,24 ou 48 volts selon les modules, elles sont équipées de deux à douze entrées, selon les tensions de sortie.

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des panneaux PV dépend :
[9]

- des besoins en électricité.
- la taille du panneau.
- L'enseillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation.

2.8 Différents types de cellules solaires

2.8.1. Propriétés photovoltaïque du silicium

Aujourd'hui, plus de 99 des équipements photovoltaïque utilisent le silicium comme matériau de base .Ce dernier se présente sous différentes formes, les plus répandues étant le silicium monocristallin, le silicium poly cristallin et le silicium amorphe.

2.8.2 Le silicium monocristallin

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modelé théorique : cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divise en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22%.Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients :

Méthode de production laboratoire et difficile, et donc, très chère.

Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.

Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).

2.8.3 Le silicium poly cristallin

Les cellules poly cristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux .Elles sont caractérisées par : Cout de production moins élevé. Nécessite moins d'énergie. Rendement de 13% et jusqu'à 20% en labo.

2.8.4 Le silicium amorphe

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin.

Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible). Cout de production bien plus bas. Rendement de seulement 5% par module et de 14% au laboratoire. Fonctionne sous très faible éclairément.

2.8.5 Cellules à couches minces

La technologie des couches minces a l'avantage de produire les cellules par un procédé de revêtement à grande surface peu onéreux. Elles sont plus minces et peuvent même être déposées sur des supports flexibles

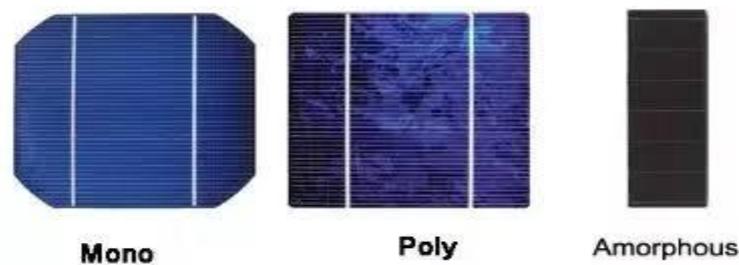


Figure 2.8 : Différents technologie des cellules PV [20]

2.9. Paramètres des cellules photovoltaïques

Une cellule solaire est constituée par une jonction PN, cette dernière réalisée à partir de matériaux sensibles à la lumière, elle présente la particularité de pouvoir fonctionner en générateur photovoltaïque .ce comportement en statique peut être décrit par l'équation (I.3) définissant le comportement d'une diode sous éclairément.

Cette relation entre les trois grandeurs, I , I_{ph} et $I_{obs}(v)$ représente la caractéristique courant tension idéale permettant de déterminer les grandeurs caractéristique principales du fonctionnement des cellules solaires.[21]

2.9.1 Courant de court-circuit, I_{sc}

C'est le courant obtenu aux bornes de la cellule quand la tension à ces bornes est nulle, $v=0$. [21]

Il constitue le maximal de courant qui peut être obtenu d'une cellule. Sa valeur typique sera à peu près d'une dizaine de milliampères pour centimètre carré de cellule. Puisque $R_s \ll R_p$ on peut mettre $I_{sc} = I_{ph}$.

2.9.2 Tension de circuit ouvert, V_{oc}

C'est la tension pour laquelle le courant aux bornes de la cellule est nul ; elle constitue la tension maximale qui peut être obtenue d'une cellule ; elle se situe autour de 0.6V pour la cellule en silicium.[21]

2.9.3 Point de puissance maximale, P_{max}

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule).

Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement P_{max} (I_{max} , V_{max}) de la courbe courant-tension (courant compris entre 0 et I_{sc} et tension comprise entre 0 et V_{oc} . [21]

2.9.4 Facteur de forme, FF

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur pv : c'est le facteur de remplissage (FF), (ou fill factor en Anglais), ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle $I_{sc} \cdot V_{oc}$. Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température, leur expression est donné par [21] :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2.1)$$

2.9.5 Le rendement, η

Le rendement de la cellule photovoltaïque est le rapport de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, qui est au rapport de la puissance maximale de sortie sur la puissance des radiations lumineuses. C'est le paramètre qui définit le mieux fonctionnement de la cellule PV, est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{in}} \quad (2.2)$$

Ou pin la puissance d'entrée qui est l'éclairement incident sur la cellule PV par unité de surface, correspondant à l'éclairement lumineux E du soleil sous forme de photons par unité de surface reçue (aux conditions standard, $1000\text{W}/\text{m}^2$), S est la surface de la cellule et FF est le facteur de forme.

2.10. Influence de paramètre sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque

Le comportement électrique d'une cellule dépend de deux types de paramètres dont :
[21] Des paramètres internes tels que la résistance série R_s , la résistance shunt R_p .

Des paramètres externes tels que le flux solaire et la température T .

2.11. Regroupement des cellules

2.11.1 Regroupement en série

Une association de (N_s) cellule en série figure (2.9) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellule sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (N_s) cellule.

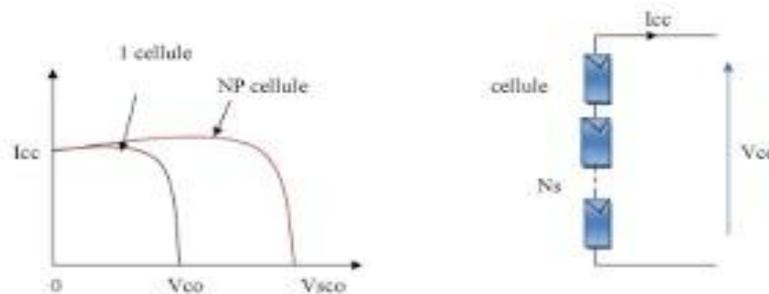


Figure 2.9 caractéristique courant tension de N_s cellule en série [8]

2.11.2 Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellule figure (2.10) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellule identique connectée en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

Avec :

$$I_{ccNp} = Np \cdot I_{sc} \quad (2.3)$$

$$V_{co} = V_{coNP} \quad (2.4)$$

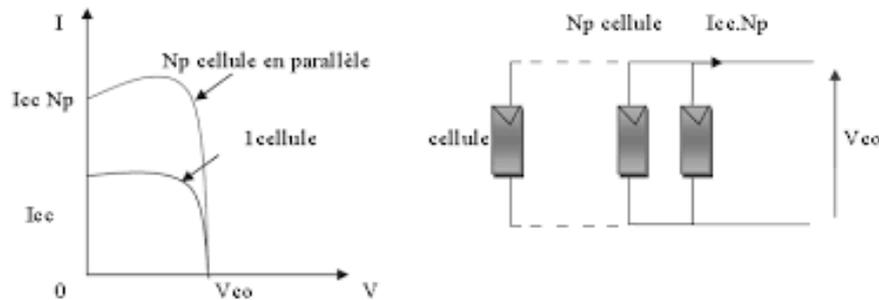


Figure 2.10: caractéristique courant tension de (NP) cellule en parallèle [8]

2.11.3 Regroupement (mix)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaire est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaire en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur Photovoltaïque [22].

2.12. Convertisseur

2.12.1 Définition

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, à une tension alternative.

2.12.2 Hacheur (DC/DC)

Ce type de composant est utilisé pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter un appareil spécial comme par exemple un chargeur

pour téléphone portable, une radio, un ordinateur portable... Deux types de convertisseurs DC/DC sont possibles : les convertisseurs «vers le haut» pour augmenter la tension et les convertisseurs «vers le bas» pour abaisser la tension.

- Convertisseurs vers le haut (élevateur de tension)

La figure 2.11 présente les composants typiques d'un convertisseur vers le haut. Lorsque l'interrupteur est fermé, l'inductance stocke le courant provenant de la batterie ; lorsque l'interrupteur s'ouvre, l'interruption du courant dans l'inductance provoque une surtension qui est dérivée dans le condensateur et le récepteur ; la diode empêche tout retour de courant.

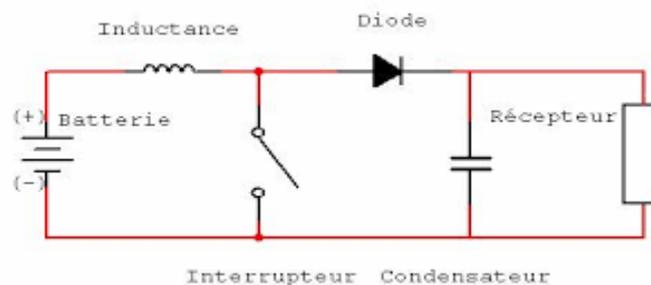


Figure 2.11 exemple de convertisseur DC/DC vers le haut [23]

Le condensateur sert à lisser la tension de sortie et l'interrupteur est commandé par une électronique de contrôle qui mesure en permanence la tension et le courant de sortie pour ajuster la fréquence et la largeur de commande de l'interrupteur et limite le courant à une valeur sûre pour les composants. Le rendement typique dépasse en général 70% et peut atteindre 85 à 90% pour les meilleurs convertisseurs.

- **convertisseur vers le bas (abaisseur de tension)**

Le convertisseur dévolteur qui est le convertisseur de base est connu comme convertisseur Buck. Car on le comprend de son nom la fonction principale de ce convertisseur est de convertir le niveau de tension DC d'entrée à un autre niveau inférieur de tension en sortie. Les composants principaux dans ce convertisseur sont l'interrupteur en semi-conducteur S, la diode D, une bobine d'inductance L et le filtre de condensateur C

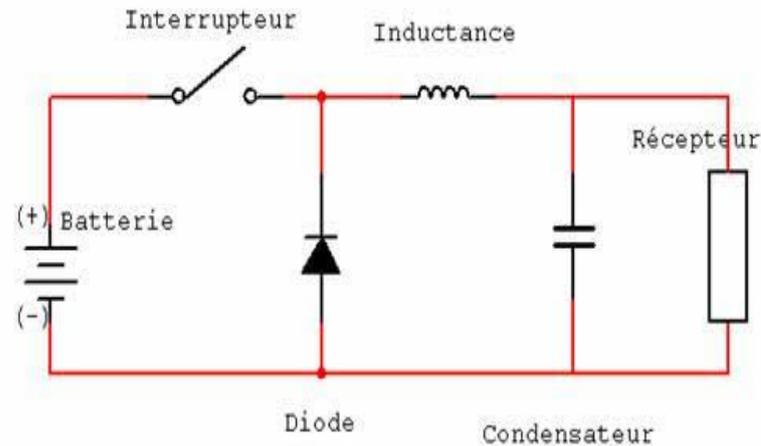


Figure 2.12 : convertisseur typique DC/DC vers le bas.[24]

2.12.3 Onduleurs DC/AC

Principe de fonctionnement

Un onduleur est un convertisseur de tension continue/alternative. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique photovoltaïque en énergie électrique alternative soit pour faire fonctionner des charges, soit pour débiter de l'énergie au réseau. Généralement à base de thyristors, selon l'exploitation de cet onduleur peut être monophasé ou triphasé.

La figure présente un exemple de circuit simple composé d'un pont de transistors commandé par PWM ; l'onduleur (monophasé ou triphasé) de tension impose à sa sortie un système de tension sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsion (MLI, ou PWM en anglais).

Le signal alternatif obtenu est ensuite filtré par l'inductance L_d située avant le transformateur afin d'obtenir un signal alternatif sinusoïdal à la fréquence du réseau.

Ce dernier signal est ensuite ajusté à la tension du réseau par un transformateur 50HZ qui apporte en même temps une isolation galvanique au montage.

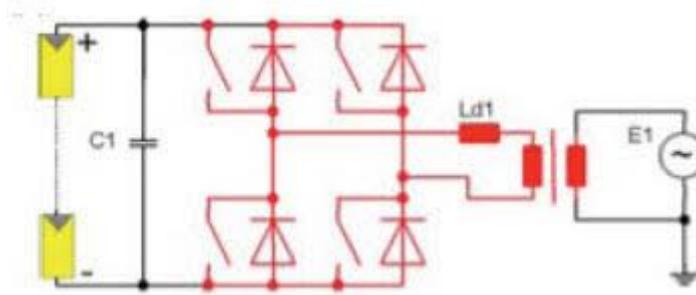


Figure 2.13 : circuit simple utilisant un pont de transistors [25]

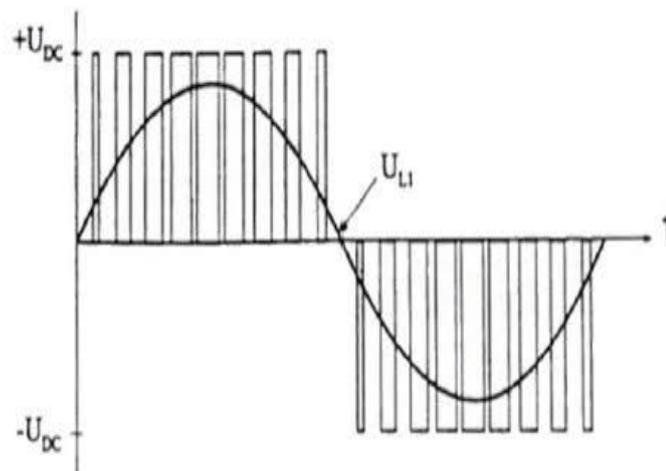


Figure 2.14 : filtrage de la tension par l'inductance de sortie.[25]

- **Critère de choix des onduleurs**

Historiquement, les onduleurs peuvent être classés en générateur produisant soit une onde sinusoïdale, soit une onde carrée ou encore une onde dite pseudo-sinusoïdale. Le choix de l'onduleur va dépendre des appareils qu'il devra faire fonctionner, ce choix s'appuyant sur des critères valables pour n'importe qu'elle onde.

- **Précision de la tension de la tension de sortie**

Ce chiffre est donné en pourcentage par rapport à 230 VAC. Utile dans certaines utilisation si l'on alimente des appareils électroniques délicats. L'onduleur doit être stable quelle que soit sa charge et quelle que soit sa tension d'entrée.

- **Résistance aux surcharges et au courant réactif**

Pour arriver à démarrer certaines charges, l'onduleur doit produire souvent plusieurs fois sa puissance maximale pendant un temps assez bref.

- **Distorsion harmonique**

Dans certaines utilisations sensibles, la présence d'harmoniques est une gêne audible (hi-fi) ou elle perturbe le fonctionnement de la charge (moteurs). Les onduleurs non sinusoïdaux perturbent non seulement l'environnement électromagnétique mais les harmoniques sont également une perte d'énergie dans le cas de l'alimentation de moteurs par exemple.

- **Rendement**

C'est sans conteste le critère de choix principal. On désire perdre le moins d'énergie possible entre les batteries et la charge en 230 VAC. On s'intéresse à la courbe de rendement en fonction de la charge d'onduleur ; les appareils modernes performants atteignent un rendement supérieur à 90% dès que la charge est de 5 à 10% de leur puissance nominale.

- **Consommation en mode d'attente**

C'est une donnée très importante pour les onduleurs qui travaillent occasionnellement et restent branchés en permanence. Souvent dans ces cas l'énergie utilisée par la consommation à vide est plus importante que celle utilisée par les récepteurs. Pour économiser l'énergie, les appareils modernes utilisent des techniques de détection d'utilisateur pour démarrer toute la puissance dès qu'un récepteur est branché sur le réseau.

- **Tension d'entrée**

Dans le cas d'un système autonome, la tension d'entrée correspond à la tension du système mis en place. On peut aussi pour choisir cette tension utiliser la méthode suivante, en fonction de la demande en électricité(D) :

- Si $D < 2$ KW alors $U_e = 12$ VCC
- Si D compris entre 2 et 5 KW alors $U_e = 24$ ou 48 VCC
- Si $D > 5$ KW alors $U_e = 48$ VCC et plus

Dans le cas d'un système connecté au réseau, la tension CC d'entrée doit être plus élevée (par exemple 120 VCC et plus), en respectant la mise en série des modules PV.

2.12.3.1 Onduleur pour couplage au réseau

Les applications photovoltaïques les plus valorisantes actuellement sont les installations PV destinées à alimenter le réseau électrique public. Il existe différentes

topologies de gestion de ces installations. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un GPV raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent et mettent en forme l'énergie solaire électrique. Les progrès effectués ces dernières années dans le développement des onduleurs dédiés aux photovoltaïques ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaire en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximale. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation.

Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques : l'onduleur central, les onduleurs strings (chaines) et les onduleurs intégrés aux panneaux (module).

- **Onduleur central**

Dans le cas d'onduleur, les divers panneaux solaires pour une grande installation (>10KW) sont montés en rangées pour former une chaîne, elle-même couplée en parallèle avec des diodes anti-retours à plusieurs autres, figure 2.15. Le générateur PV de forte puissance ainsi structuré est relié du côté DC à un seul onduleur. Cet onduleur central présente une grande efficacité énergétique à des coûts réduits. La fonction principale de cet appareil est de créer une tension alternative à partir d'une tension continue la plus compatible avec le réseau et d'examiner en permanence la présence ou non du réseau pour autoriser l'injection du courant. La structure classique de l'onduleur est souvent un circuit en pont permettant de relier chacun des deux pôles d'entrée à chacun des deux pôles de sortie par le biais d'intercepteurs de puissance.

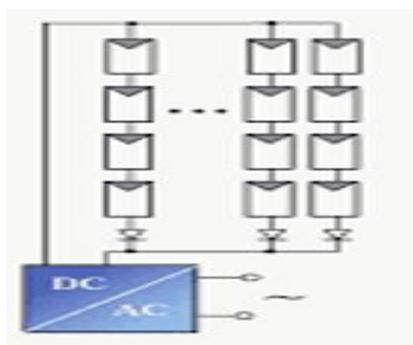


Figure 2.15 : Typologie des systèmes onduleur centralisé.[26]

Le couplage direct des installations PV avec des onduleurs sans transformateur gagne en importance. En effet, ils sont peu onéreux et offrent un rendement énergétique imbattable (entre 95% et 97% pour les fortes puissances). Pour pouvoir alimenter le réseau, la tension d'entrée doit toujours dépasser la tension crête de la tension réseau redressée. Soit, pour une valeur efficace réseau de 250V, une source de tension minimale de 354V est nécessaire pour pouvoir injecter un courant sinusoïdal dans le réseau. Par conséquent, un panneau mal adapté ou encore un ombrage partiel porte préjudice à une exploitation optimale de chaque chaîne PV et entraîne une réduction du rendement énergétique. L'onduleur central possède le plus souvent au moins un système de contrôle MPPT lui permettant de fonctionner à son point de puissance maximum. Cela marche parfaitement tant que les panneaux sont identiques et qu'ils fonctionnent sous un ensoleillement homogène. Mais lorsque les caractéristiques électrique entre les panneaux diffèrent, dues à des ombrages, des salissures, au vieillissement ou au stress, la commande MPPT devient incertaine et le champ photovoltaïque ne produit pas autant que qu'il ne le pourrait. En outre, la fiabilité de l'installation est limitée parce qu'elle dépend d'un seul onduleur. Ainsi, lorsque qu'une panne de l'onduleur central se produit, elle entraîne l'arrêt complet de l'installation et donc de la production.[6]

- **Onduleur chaîne**

De même que pour l'onduleur central, le champ PV est, ici aussi constitué de string (chaîne). Chaque string est toutefois relié à un onduleur, figure 2.16.

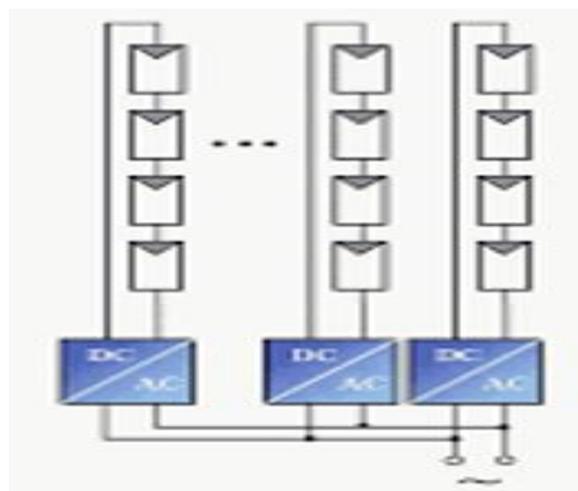


Figure 2.16 : typologie des systèmes onduleur chaîne [26]

Chaque string peut ainsi fonctionner à son point de puissance maximale. Cette technologie réduit considérablement le risque de problème d'adaptation ainsi que les pertes dues aux effets d'ombrage, tout en éliminant celles occasionnées par les diodes anti-retour et un

câblage prolongé vers le générateur DC. Ces propriétés avantageuses accroissent la fiabilité de l'installation ainsi que sa production énergétique. Mais il faut prendre en considération l'augmentation du nombre d'onduleurs de moyenne puissance disposant de rendement compris entre 92% et 96% nécessaire pour calculer le surcout d'une telle architecture par rapport à la précédente.[6]

- **Onduleur module**

Chaque panneau dispose ici de son propre onduleur (figure 2.18), ce qui permet théoriquement d'éviter toutes pertes liées à la différence de puissance entre chaque module quelle que soit l'origine du défaut. Le rendement des onduleurs intégrés aux panneaux reste cependant en-deçà de celui de l'onduleur string à cause de la grande différence des tensions entre le GPV et la charge. De plus, les onduleurs intégrés aux panneaux induisent des coûts de câblage supplémentaires du côté AC, étant donné que chaque panneau de l'installation doit être relié au réseau 230V. Le nombre nettement supérieur d'onduleurs intégrés aux panneaux nécessaires dans cette architecture entraîne un travail de couplage nettement plus conséquent. Ce concept ne s'applique donc généralement qu'aux installations PV d'une puissance modeste allant de 50 W à 400W. [6]

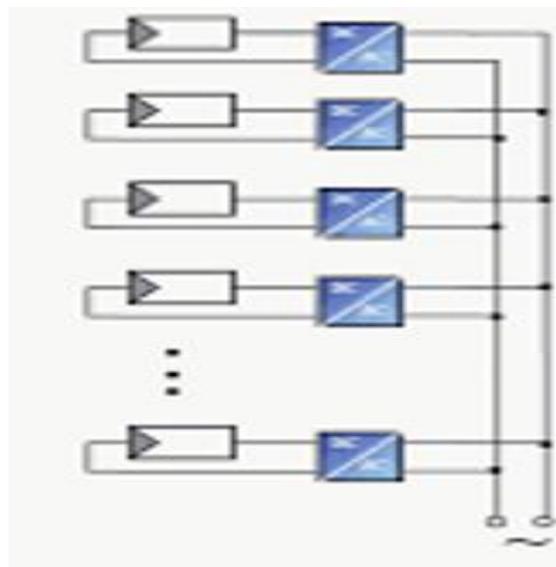


Fig.2.17 : Typologie des systèmes onduleur chaîne [26]

Habituellement, les onduleurs strings et intégrés sont reconnus pour leur meilleure réponse aux variations d'ensoleillement et aux inhomogénéités lumineuses mais aussi pour leur facilité d'installation. D'autre part, l'onduleur central est souvent moins cher en termes

électronique qui sont, somme toute, très modeste, il dispose d'un meilleur rendement et est, en plus, plus fiable, tableau [6]

	Onduleur central	Onduleur string	Onduleur Intégré
Tension PV	340-800v	150-800v	17-90v
Pertes DC (Ohmique)	~1-5% en fonction de la tension et de la distance	~1% en fonction de la Tension et de la distance	Négligeable
η_{CONV}	95-97%	92-96%	87-93%
Maintenance et réparation	simple	Difficile (recherche Dysfonctionnement)	Difficile (recherche Dysfonctionnement)

Tableau 2.1 : caractéristique technique des différents systèmes de configuration

2.13. Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque.

- Les systèmes à connexion direct au réseau. Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique.
- Le système à bus continu intermédiaire. Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un bus continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD). On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau.[6]

2.13.1 Système PV connecté directement au réseau

La structure présentée à la figure 2.19 est le plus simple, car il comporte le moins de composants possible

Dans ce cas, on associe plusieurs modules photovoltaïque en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternatif à un hacheur élévateur de tension. Un onduleur (convertisseur continu/alternatif) photovoltaïque classique est placé en sortie des modules. Son rôle est de faire fonctionner les modules à leurs points de puissance maximum et de convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif

synchronisé avec le réseau. L'énergie produite par les modules photovoltaïques doit pouvoir alimenter les charges, le surplus est injecté sur le réseau.[6]

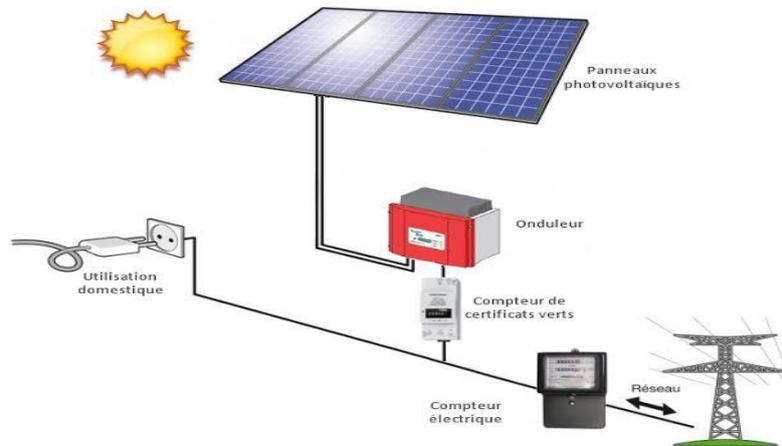


Fig.2.19 : architecture du système PV avec un bus en courant alternatif(AC).[27]

Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système PV du réseau. L'inconvénient majeur de cette architecture est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus le contrôle du point de fonctionnement maximum est approximatif car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement.[6]

2.13.2 systèmes à bus continu intermédiaire

Dans ce cas, le système comporte deux éléments de conversion figure 2.20. un convertisseur continu/continu (hacheur) placé en sortie des modules photovoltaïques qui contrôle le point de fonctionnement maximum du générateur photovoltaïque et élève sa tension de sortie délivrée bus AC sur le bus continu. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 ou 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On adjoint un onduleur central pour avoir une sortie sinusoïdale.

L'avantage de ce système est que des batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome. Les inconvénients majeurs de ce type de montage sont : [6]

- La capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module.

- La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien.

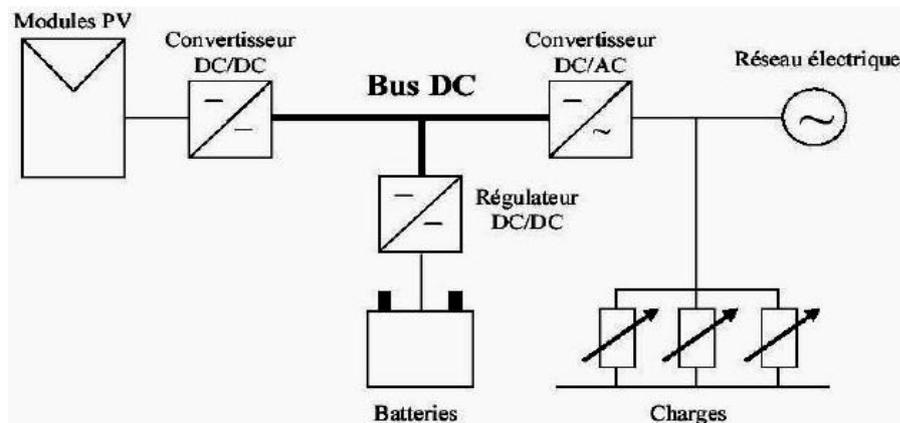


Fig.2.20 :architecteur du système PV avec un bus en courant continu(DC)[9]

2.14 .régulateur de charge

Optimisation de la conception d'une centrale hybride PV-Diesel Pour protéger les batteries contre d'éventuelles décharges profondes ou surcharges, on utilisera un régulateur de charge du type «régulateur série» Ce système de régulation autorise un contrôle et une gestion intelligente de l'installation P.V. C'est un régulation avec contacteurs dans les circuits de charge. Le régulateur remplit deux fonctions distinctes, à savoir :[16]

1. Gestion de la charge et de la décharge des batteries
2. Mesure des conditions de charge 1décharge

Le régulateur incorpore les dispositifs suivants :

3. Régulateur de charge et décharge avec indication lumineuse de l'état de fonctionnement (5 étapes)
- 4.Démarrage du générateur d'appui en cas de faible tension des batteries
5. Protection des batteries par déconnexion en cas de faible tension des batteries, de la sortie, avec indication LED
6. Le délestage des 4 départs AC, en cas de faible tension des batteries sera programmé de façon indépendante.
- 7.Dispositif de protection pour les circuits de charge.
- 8.Compensation en température des seuils de tension de fin de charge et d'activation.

9. Circuit de contrôle avec les composantes nécessaires pour la métrologie du système.
10. Protection contre les tensions induites par la foudre.
11. Protection contre les surcharges et court-circuit

2.14 les caractéristiques électriques du régulateur sont les suivantes :

1. Tension nominale de travail=384V
2. Intensité de charge maximale=240A

2.15. Stockage

Nous avons pu auparavant faire la distinction entre les deux types d'installations solaires, à savoir celles qui sont directement raccordés au réseau, et les systèmes autonomes et qui en fait sont celle qui sont les plus fréquents dans le monde.

Pour les systèmes raccordés au réseau, aucun stockage n'est requis.

Cependant, si on veut utiliser et concevoir un système d'alimentation PV autonome, il est impératif de prévoir un dispositif de stockage de l'énergie électrique selon les cas et les besoins. Par exemple dans le cas où il y a concordance entre la présence de la lumière et le besoin d'énergie, il n'est pas nécessaire de la stocker (exemple : une calculatrice, un ventilateur...).

Aussi, si l'on stocke l'énergie sous une autre forme, on peut également se passer de stockage électrique (exemple : une pompe alimentée par énergie solaire stocke l'eau dans un réservoir : la pompe fonctionnera à débit variable, en fonction de l'ensoleillement sur une journée, ou une autre base de temps, elle aura stocké suffisamment d'eau pour les usagers).

Dans ces deux cas que nous venons de citer on parle de fonctionnement «au fin du soleil» ce qui revient à dire que tant qu'il y a du soleil le système fonctionne, il n'y a pas de soleil, cela s'arrête. Mais le plus souvent, on souhaite disposer d'une énergie électrique dans l'obscurité pour diverses raisons : par exemple une surveillance de barrage doit être active tout au long du jour et de la nuit, et même une montre ne doit pas s'arrêter la nuit ou si on la laisse un certain temps dans un endroit non éclairé par exemple au fond d'un tiroir, et puis il est bien évident qu'on s'éclaire plutôt en période diurne ou en période de faible ensoleillement. Dans ces conditions, nous avons besoin d'un apport d'énergie extérieur soit par exemple en ayant recours à l'énergie éolienne, ou tout simplement à un groupe électrogène..., une autre solution consisterait tout simplement à stocker le surplus d'énergie

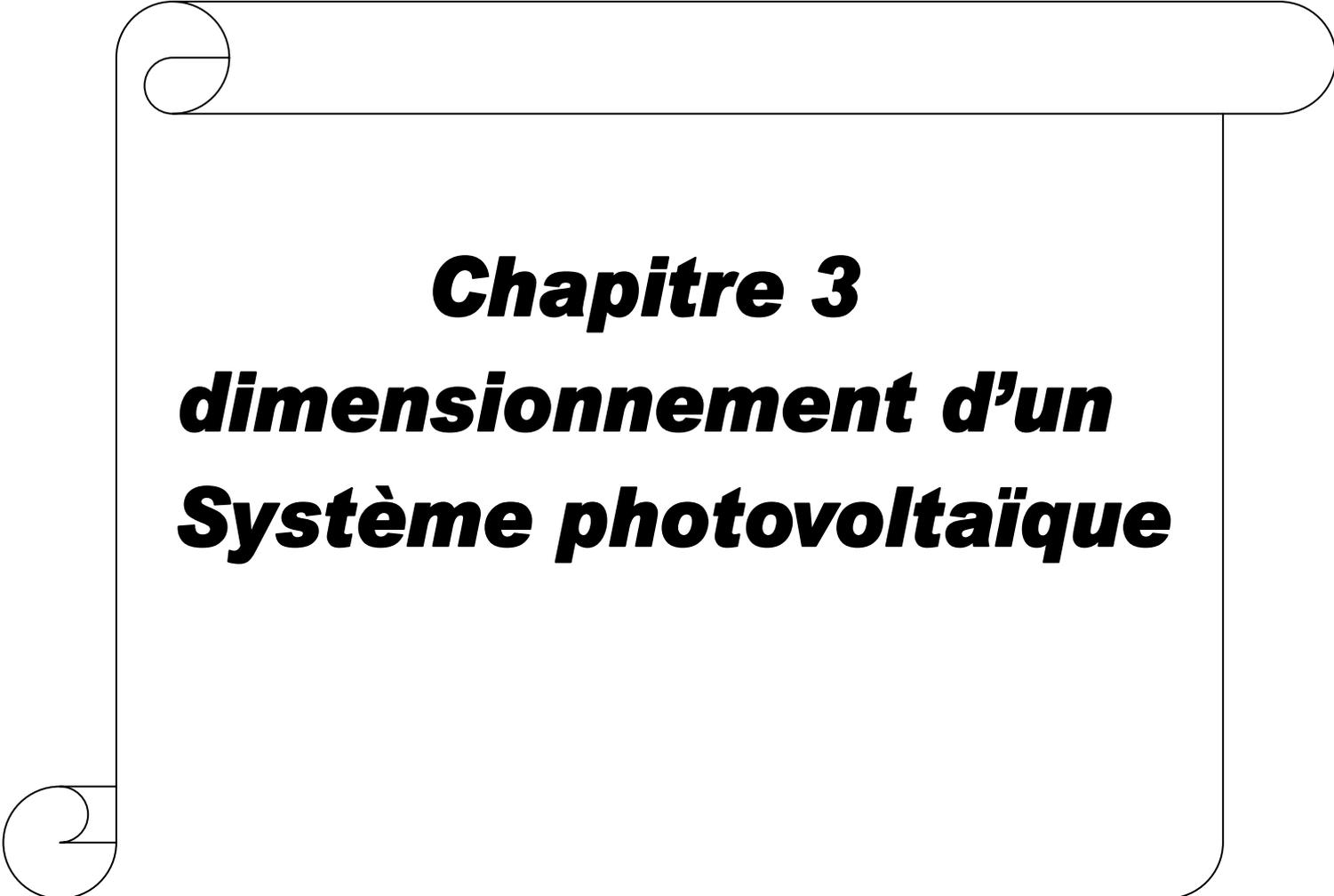
solaire produite par les panneaux solaires sous forme l'électricité dans des batteries d'accumulateurs. La capacité stockée, et donc la réserve de marche sans lumière, dépendent énormément de l'application.

2.16. Conclusion

Comme les systèmes photovoltaïques restent à nos jours chères, et comme le rendement des cellules de conversion photovoltaïque reste encore médiocre, une optimisation adéquate des installations photovoltaïque s'avère nécessaire. Dans ce cas, la maximisation de puissance est une tâche obligatoire de toute système de contrôle, malgré que d'autre tendance existent donnant différentes philosophies d'optimisation. Ainsi, quel que soit la charge utilisée, le but principal est d'extraire la puissance maximale disponible par le générateur photovoltaïque à tous instants et quelques soit les conditions de fonctionnement. Cette tâche est très difficile à assurer par les techniques standards de contrôle vu la forte non linéarité des systèmes photovoltaïques ainsi que les charges qui leurs sont liées. Le recourt aux techniques d'intelligence artificielles constitue un choix approprié vu leurs simplicité et leurs robustesse.

Dans le présent travail, on a proposé le contrôle flou d'un système photovoltaïque lié au réseau. Ce type de système commence à avoir de large applications, soit dans les sites isolés où la connections au réseau urbain de distribution d'électricité est économiquement inacceptable, ou même urbains où l'excès d'énergie photovoltaïque produite est injectée au réseau. Le système étudié a prouvé son efficacité d'une part pour poursuivre la puissance maximale, d'autre part on a montré qu'il est indispensable de recourir à la configuration optimale et de choisir le contrôleur flou correspondant.

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur les ressources des énergies renouvelables et les différentes notions de l'énergie photovoltaïque et le semi-conducteur, ainsi que la conversion photovoltaïque et regroupement des cellules.

A decorative border resembling a scroll or a frame with rounded corners and a scroll-like element at the top left and bottom left.

Chapitre 3

dimensionnement d'un

Système photovoltaïque

3.1. Introduction :

L'objectif de ce travail est la conception d'une installation photovoltaïque utilisée pour les besoins électriques de l'aéroport qui se situe à la région de Bordj Mokhtar fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque. Bordj Mokhtar (également simplifié en Bordj-Mokhtar ou BBM ; anciennement Bordj Le Prieur pendant la colonisation française), est une commune de la wilaya d'Adrar, à l'extrême sud de l'Algérie, à l'est du désert du Tanezrouft, près de la frontière malienne. Elle est caractérisée par un climat saharien sec et aride, une énergie d'ensoleillement moyenne de plus de 7 kWh/m² par jour et des ressources importantes d'eau souterraine, avec une précipitation très faible et irrégulière, une luminosité intense, une forte évaporation et des grands écarts thermiques. Le territoire de la commune se situe au sud de la wilaya d'Adrar. La ville de Bordj Mokhtar est située :

- à 500 km, à vol d'oiseau, au sud-ouest de Tamanrasset ;
- à 777 km au sud-est d'Adrar, par la route, et à 740 km à vol d'oiseau ;
- à 2 203 km au sud d'Alger, par la route, et à 1 730 km à vol d'oiseau.

3.2. Présentation de program de simulation de système photovoltaïque :

Homer, C'est un logiciel de modélisation énergétique (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable) est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de système de cogénération, d'éoliennes, de système photovoltaïque de système hydraulique, de batterie, de pile combustible, de la biomasse et bien d'autre.

Les étapes de dimensionnement par le programme HOMER PRO :

Saisir site d'étude :

Dans ces premières étapes en entrant le nom de ville, l'auteur, une petite description du projet de dimensionnement et on localise le site dans la carte de programme

Localisation de la charge choisie, pour cela nous avons choisi l'étude du site L'aéroport de Bordj Mokhtar (code AITA : BMW • code OACI : DATM) est un aéroport algérien à vocation nationale, situé sur la commune de Bordj Mokhtar.

La Figure 3.1 est un plan simplifié pour décrire le fonctionnement annuel du système PV-système. Le fonctionnement du système et l'influence de ses paramètres, proviennent de l'analyse de l'ensemble des simulations réalisées.



Figure 3.1 : Présentation de la zone d'étude.

3.3. Dimensionnement d'un système photovoltaïque :

Après la simulation de toutes les configurations de système possibles, HOMER montre une liste de systèmes faisables, triés par le coût du cycle de vie. On peut facilement trouver le système de coût moindre en haut de la liste, ou on peut parcourir la liste pour d'autres systèmes faisables.

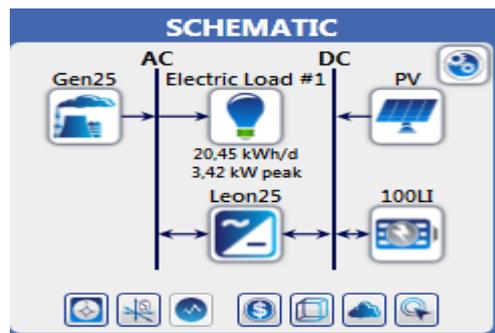


Figure 3.2: Diagrammes de quelques systèmes énergétiques qui peuvent être simulés par HOMER.

3.3.1. Création du système PV :

D'après la bibliothèque de logiciel HOMER, on peut insérer les différents éléments de notre système photovoltaïque tel que la charge, les modules photovoltaïques, les aérogénérateurs, les batteries et les convertisseurs.

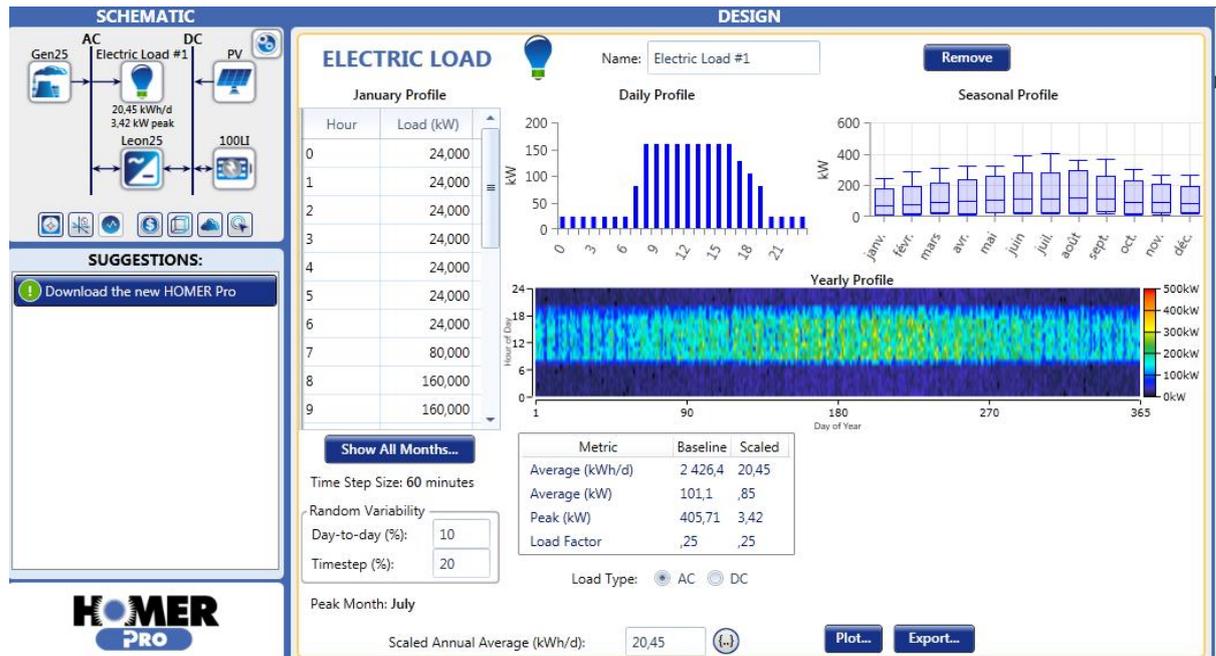


Figure 3.3: Bibliothèque et le besoin électrique de l'aéroport proposé par HOMER.

3.3.3. Données météorologiques :

Tableau.3.1: Caractéristiques géographiques de la station météorologique de BBM

Latitude	Longitude	Altitude	Rugosité	Albédo
21.325	0.946	389		

La Variation mensuelle de l'irradiation Pour l'ensoleillement, nous avons acquis, auprès de l'ONM, les données mensuelles de la durée d'insolation de ces dix dernières années.

A l'aide du logiciel HOMER et des valeurs du facteur d'éclairement et des caractéristiques du site de mesure (tableau 3.1), l'irradiation journalière moyenne pour chaque mois de l'année est déterminée. Les résultats sont reportés au tableau (3.2). En figure (3.4), l'évaluation mensuelle de l'irradiation (en jaune) ainsi que celle du facteur d'éclairement (en rouge) sont représentées.

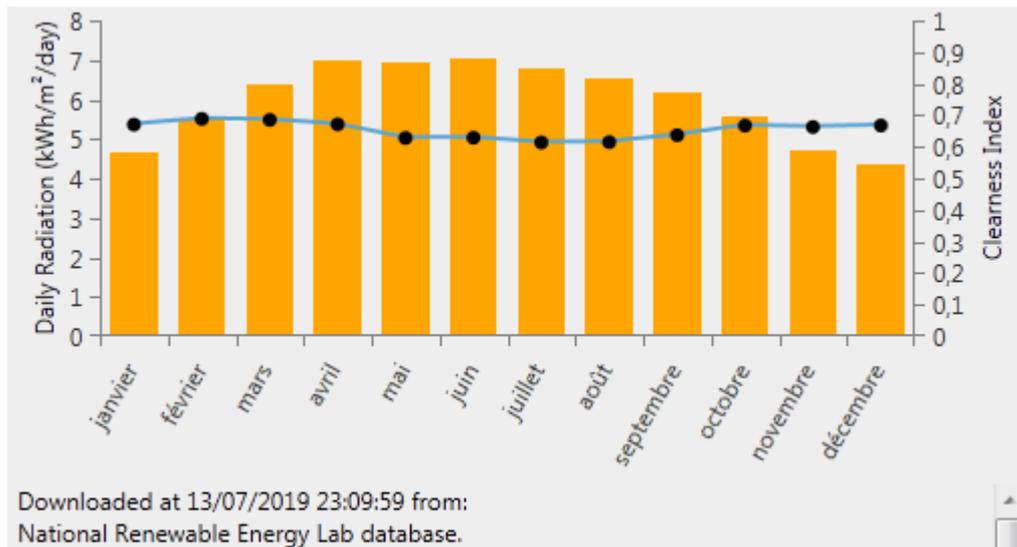


Figure 3.4: Évolution de l'ensoleillement mensuelle.

Tableau.3.2: Données du rayonnement solaire de la région de BBM

Mois	Facteur d'éclairément	Irradiations
Janvier	0,670	4,633
Février	0,688	5,506
Mars	0,685	6,399
Avril	0,671	7,004
Mai	0,628	6,916
Juin	0,628	7,022
juillet	0,613	6,783
Août	0,614	6,519
septembre	0,636	6,162
octobre	0,667	5,583
novembre	0,663	4,730
décembre	0,667	4,373

3.3.4. Données de la température :

Pour la température de la région de BBM, de la même manière, nous nous sommes procurés, auprès de Meteonorm 7. Les valeurs mensuelles moyennes de la température pour 10 ans de mesure. Meteonorm a enregistré des températures très élevées, que l'on ne peut pas les négliger dans notre étude.

Les graphes (3.5 et 3.6) représentent la variation de la température journalier et mensuelle moyenne pour les 10 ans ;

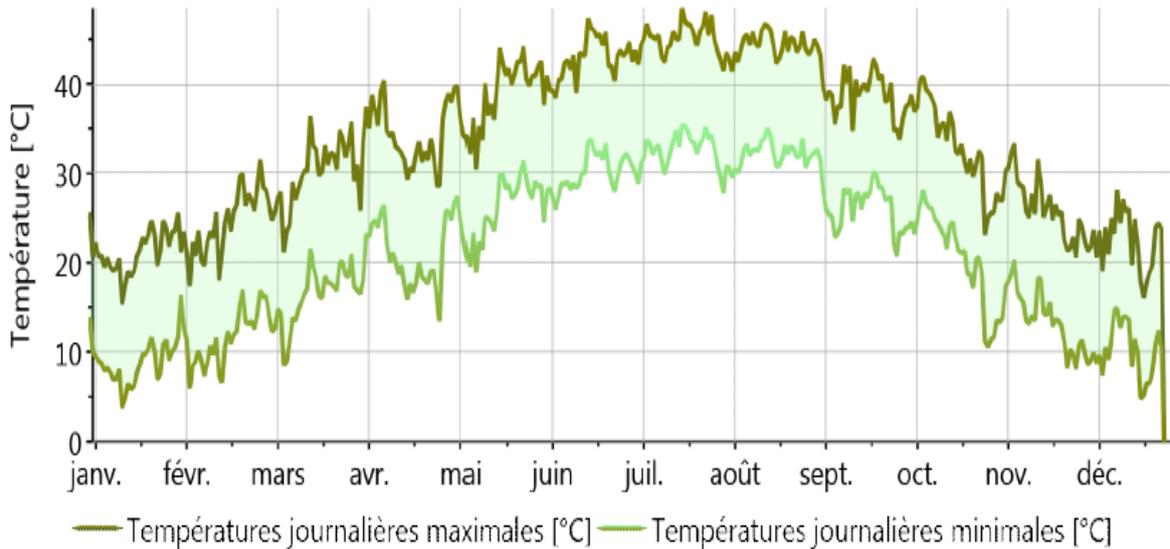


Figure3.5: Variation de la température journalier moyenne de la région de BBM.

Au mois de juin, la température moyenne est de 36.0c. Juin est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Avec une température moyenne de 18.7c, le mois de janvier est le plus froid de l'année.

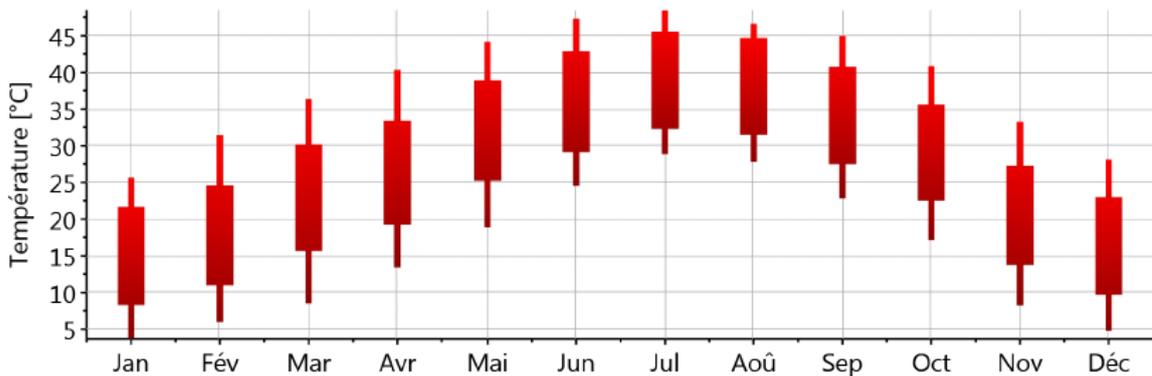


Figure3.6: Variation de la température mensuelle moyenne de la région de BBM.

Avec 0mm, le mois de Février est le plus sec. Avec une moyenne de 17mm,c'est le mois de Aout qui enregistre le plus haut taux de précipitation.

3.4. Résultats de simulation :

Dans cette partie on va présenter les résultats de dimensionnement du système PV. Les résultats présentés dans ce chapitre sont basés sur une analyse technico-économique effectuée sous HOMER. On a considéré trois scénarios capables pour subvenir au besoin énergétique de l'aéroport de BBM.

3.4.1. Configuration du système

La simulation par HOMER donne une liste des différentes possibilités d'installation du système PV-générateur diesel-Batterie (Figure 3.7), dont le trie des possibilités se fait selon un critère économique. Tous ces systèmes permettent d'alimenter l'aéroport de BBM d'une façon continue.

Architecture								Cost				System			
⚠	☀️	🔌	🔋	PV (kW)	PV-MPPT (kW)	Gen25 (kW)	100LI	Leon25 (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)
	☀️	🔌	🔋	5,65	25,0		1	25,0	CC	1,57 €	151 183 €	3 808 €	101 961 €	100	0
	☀️	🔌	🔋	4,78	25,0	25,0	1	25,0	CC	1,66 €	159 766 €	3 707 €	111 844 €	94,8	120
		🔌	🔋			25,0	1	25,0	CC	1,92 €	184 978 €	6 767 €	97 500 €	0	2 793

Figure 3.7: Configuration du système hybride PV-générateur diesel-Batterie.

L'onglet « Cost summary » catégorisé par type de composants ou par type de coûts. Il permet aussi l'accès à la fenêtre de comparaison des coûts entre les différentes solutions.

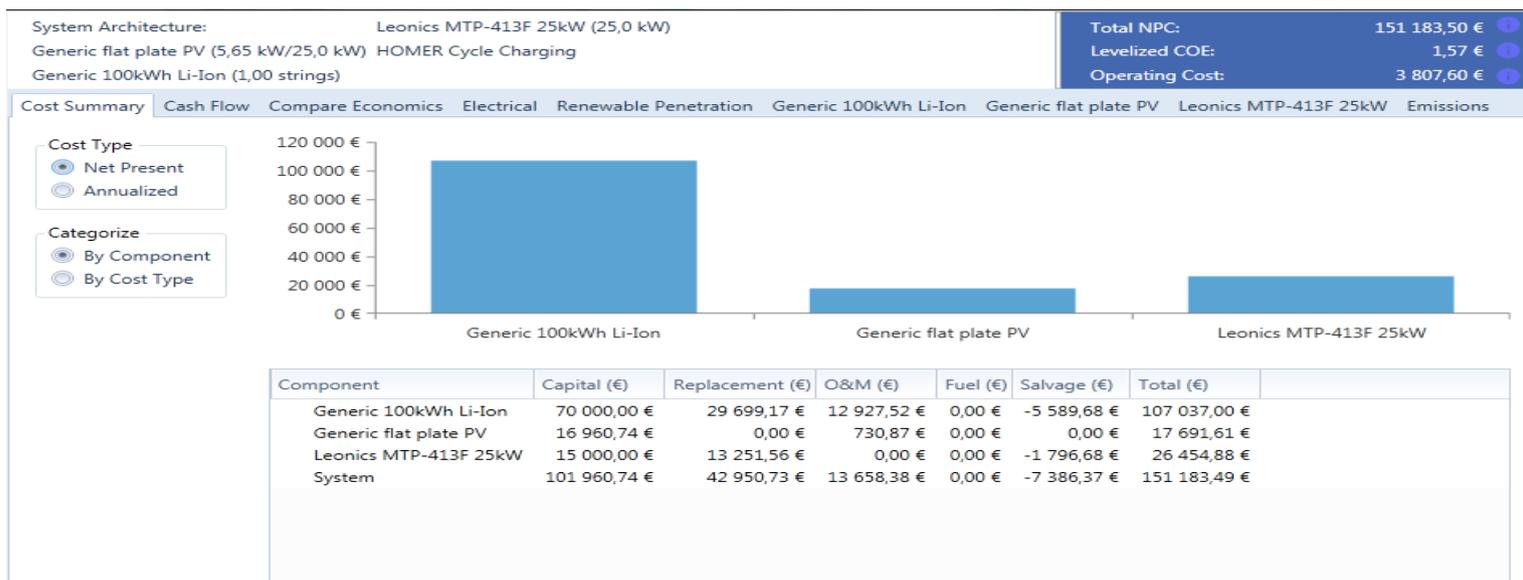


Figure 3.8 : Les prix des générateurs de système.

L'onglet « Cash Flow » montre le graphique du cash-flow correspondant au système. Chaque barre du graphe représente soit les dépenses totales soit les recettes totales d'une année. La première barre, de l'année zéro, montre le coût d'investissement du système. Une valeur négative représente une dépense, comme le coût de la maintenance du remplacement des composants ou de l'opération et de la maintenance (O&M). Une valeur positive représente une recette, qui peut être la vente d'électricité ou la revente des composants au démontage du système à la fin de la vie du projet.

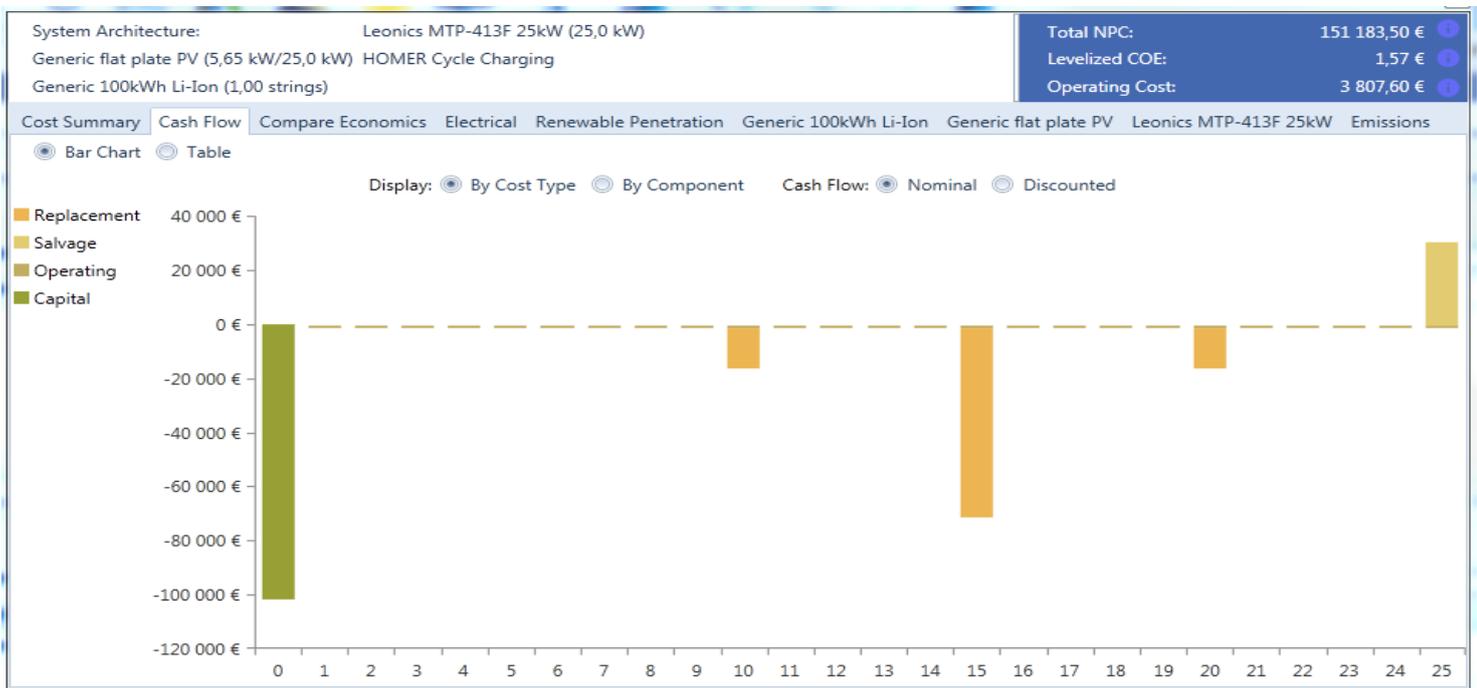


Figure 3.9 : Les prix de l'opération et de la maintenance de système

3.4.2. Différents scénarios :

On a proposé trois scénarios différents pour le système autonome:

- Photovoltaïque-Batteries ;
- Photovoltaïque- Générateur diesel-Batteries ;
- Générateur diesel-Batteries.

3.4.2.1. 1ère scénario Photovoltaïque-Batteries :

Dans ce scénario, nous allons étudier le cas d'un système alimenté par une source renouvelable fluctuante (le soleil). Dans ce cas, la présence d'un dispositif de stockage est indispensable afin de pouvoir satisfaire, à tout instant, la demande du consommateur. Le mode de stockage utilisé dans ce cas est le stockage par les batteries. Dans cette configuration du système, nous avons optimisé le dimensionnement pour minimiser le coût total de l'installation.

La moyenne mensuelle de l'éclairement journalier du rayonnement global solaire reçue sur un plan horizontal au niveau de la région de BBM est reporté en figure 3.9 ;

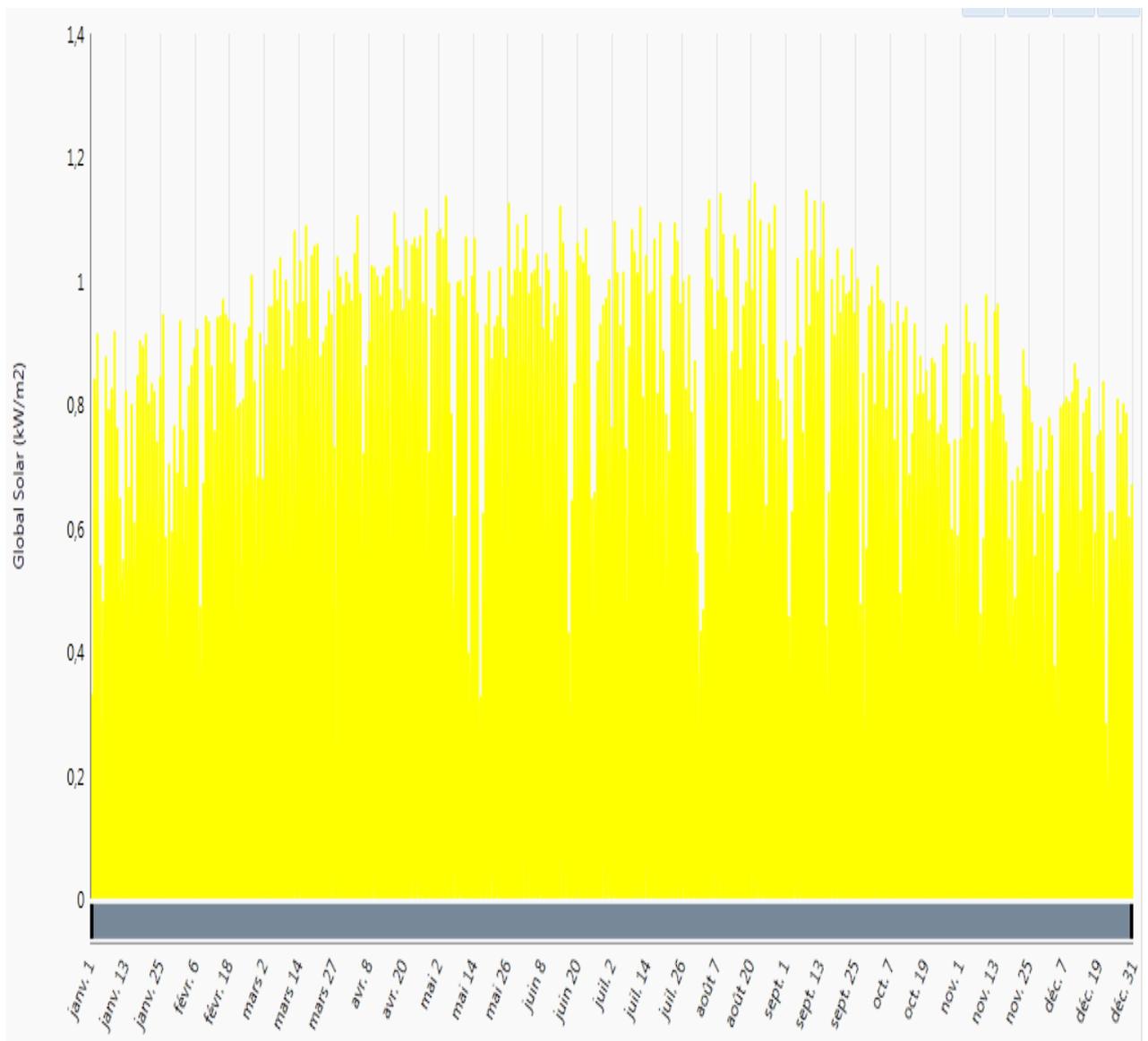


Figure 3.10: Irradiation solaire mensuelle globale.

L'énergie produite du système optimal est montrée dans la figure.3.11 ci-dessous :

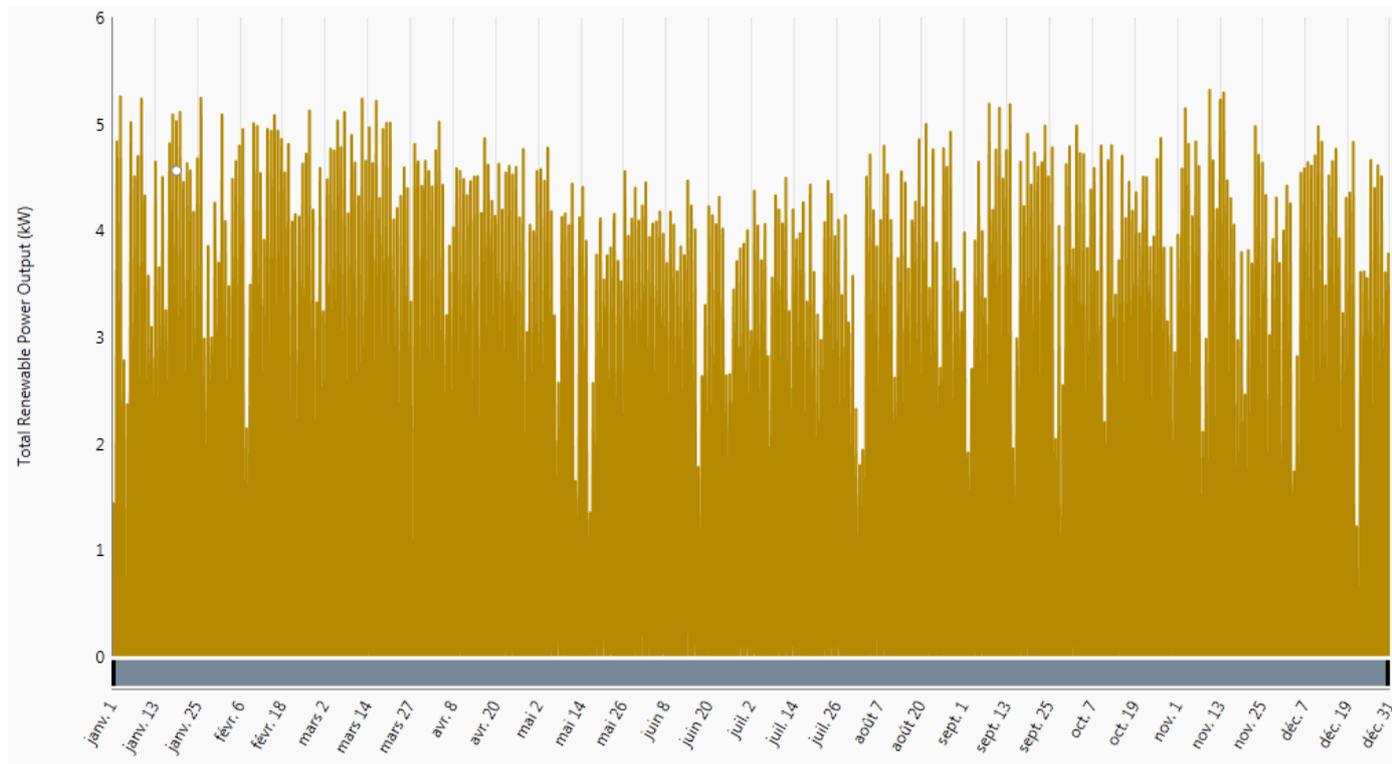


Figure 3.11 : La Production énergétique mensuelle du système.

La figure 3.12 présente les caractéristiques techniques des batteries utilisant dans notre système

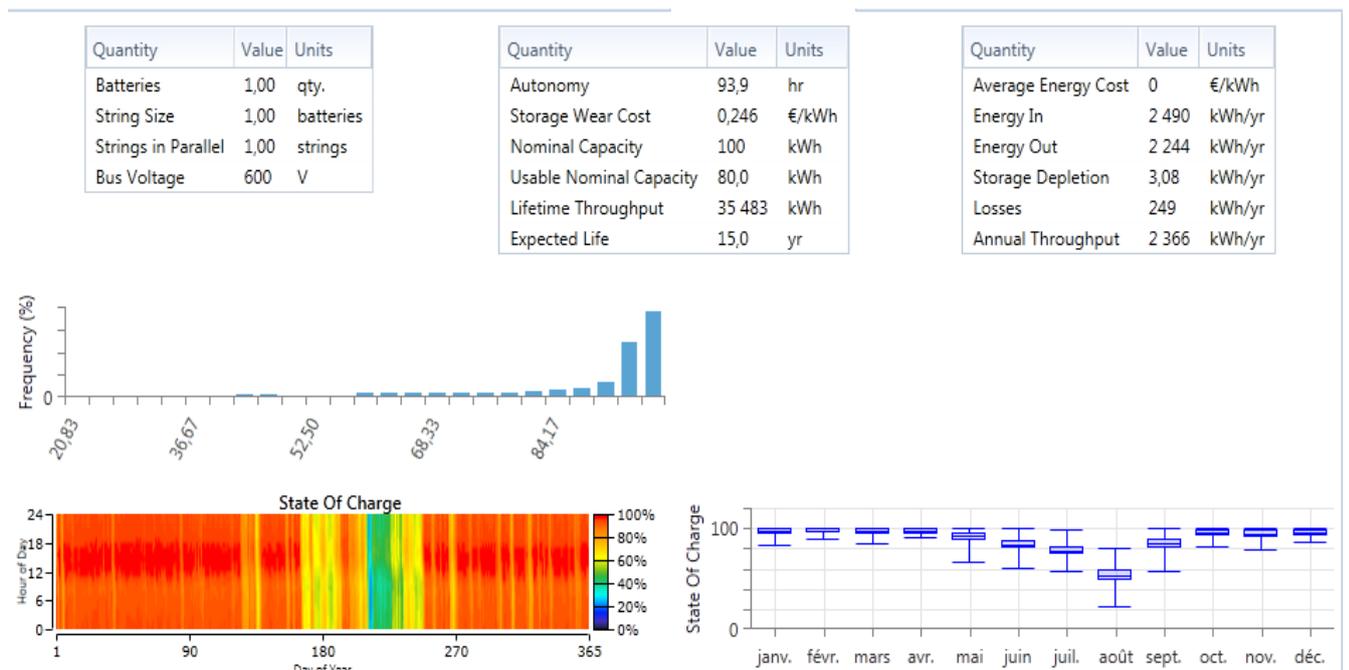


Figure3.12 : les caractéristiques techniques des batteries

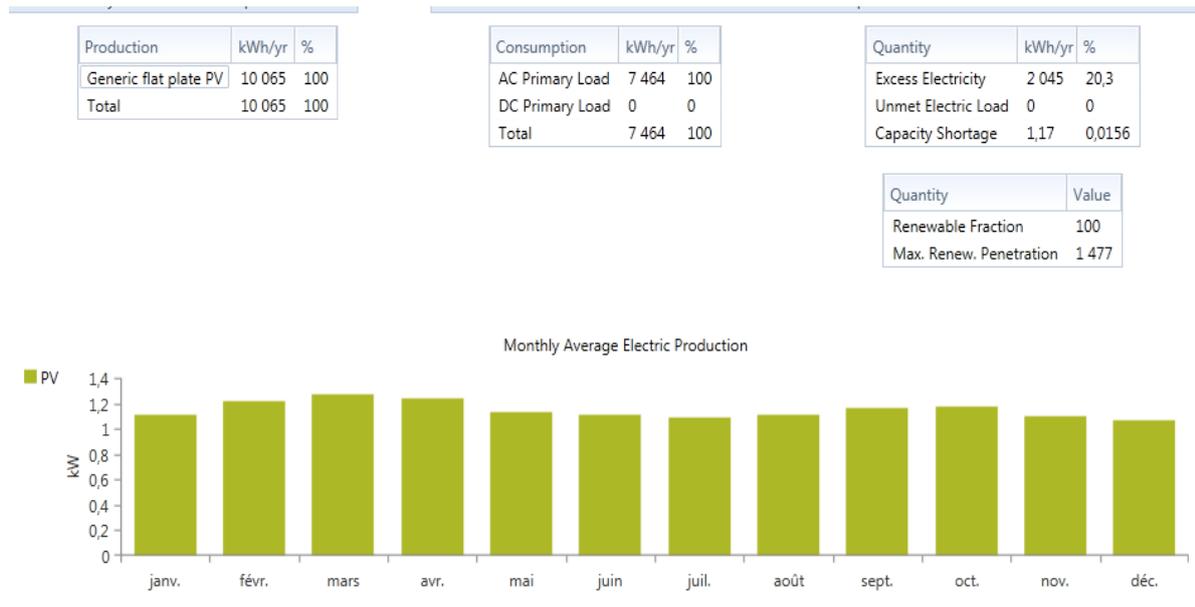


Figure. 3.13 : profile de Puissance moyenne produite par les panneaux photovoltaïques. La figure.3.14 suivante présente la production énergétique par le système photovoltaïque :

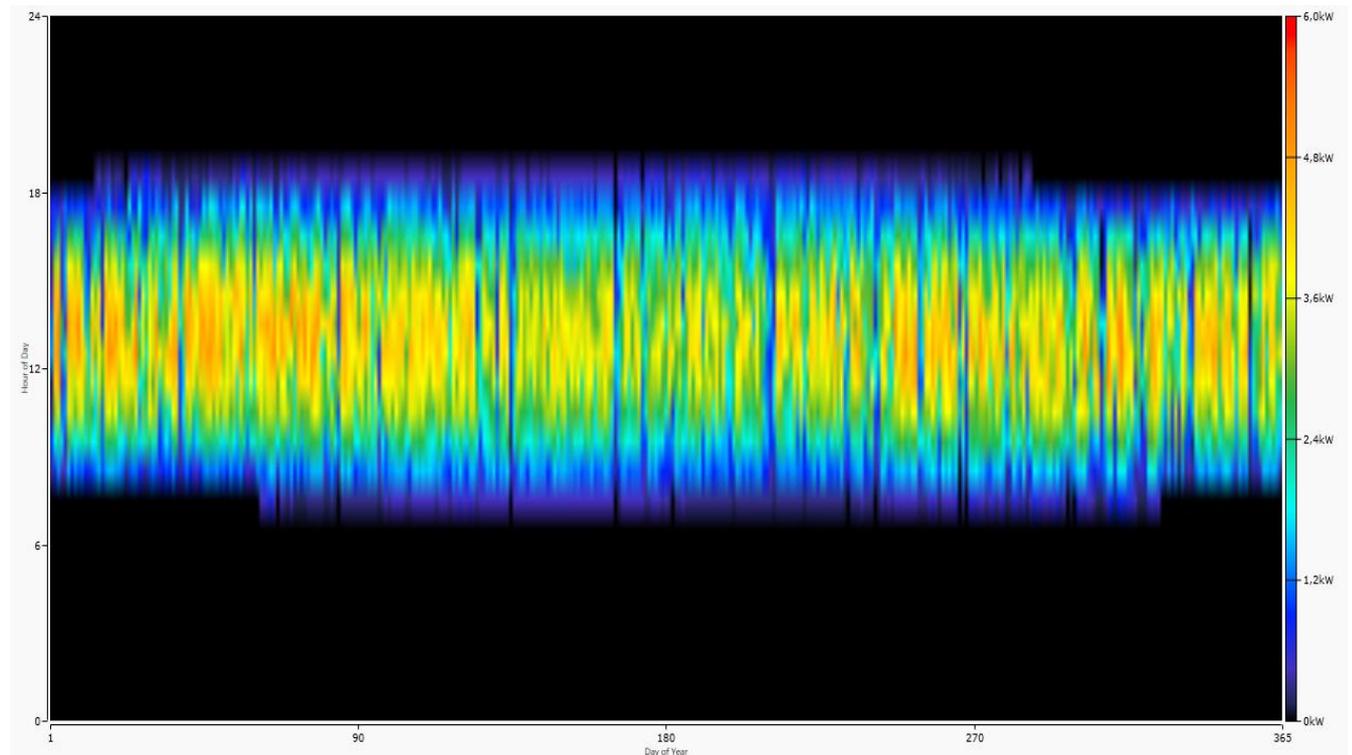
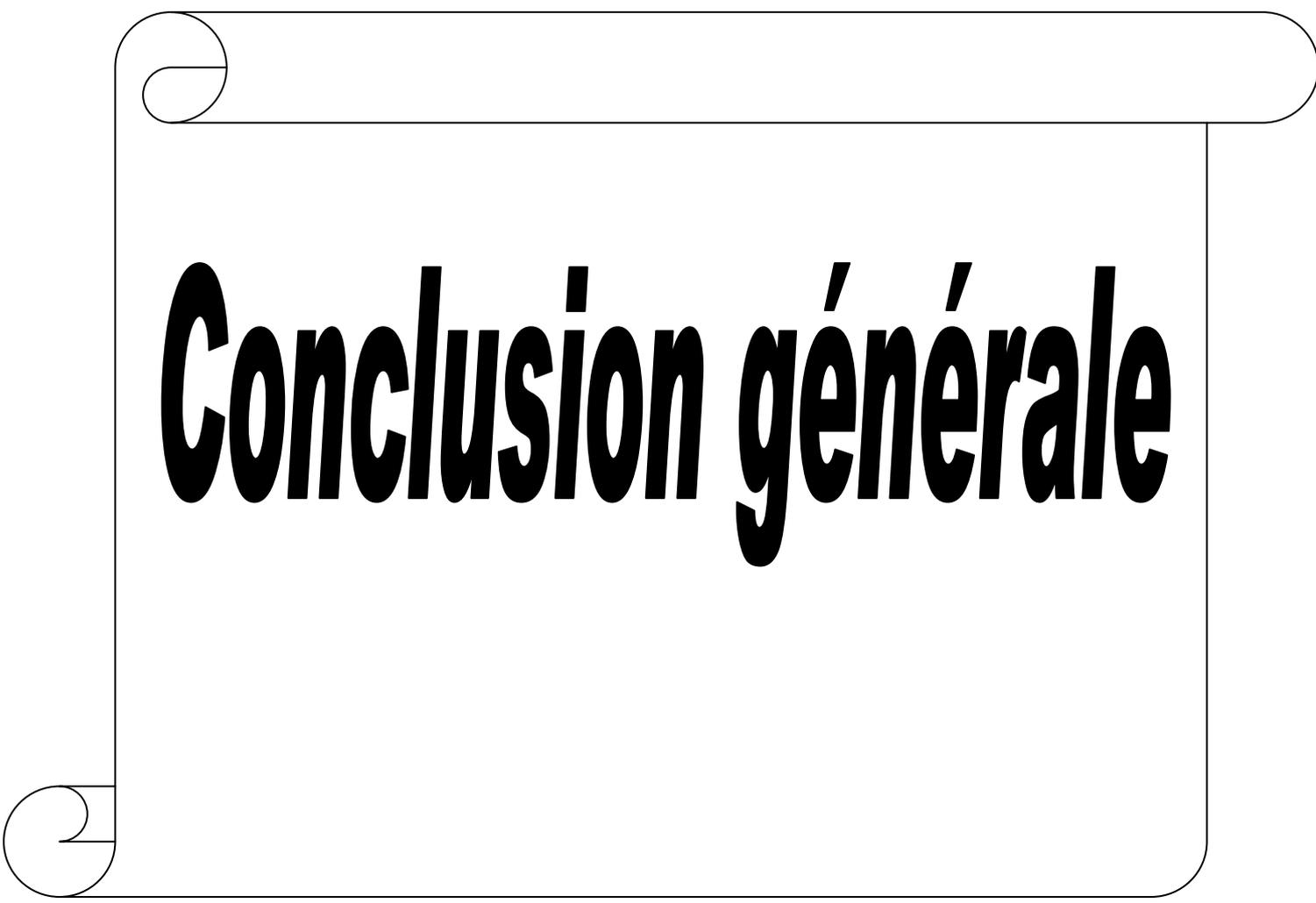


Figure.3.14 : la production de l'énergie photovoltaïque

3.5. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les résultats de la simulation par HOMER. Trois possibilités d'installation sont données après la simulation: le système PV-Batteries-générateur diesel. Le système PV-batteries est le système dont le coût est le plus faible. Les inconvénients de l'installation d'un système générateur-diesel-Batteries autonome ou un système générateur-PV-Batteries autonome sont le coût élevé de la technologie photovoltaïque et le faible gisement éolien de la région de BBM.

A decorative border resembling a scroll, with a horizontal bar at the top and a vertical bar on the left. The top bar has a rounded right end and a small scroll-like detail on the left. The vertical bar has a scroll-like detail at the bottom. The text is centered within the space defined by these bars.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons fait l'étude et simulation d'un système d'éclairage photovoltaïque de production d'électricité dans l'aéroport BBM Adrar (Bordj Bedji Elmokhtar), on décompose ce travail à trois chapitres et chaque chapitre composé à un introduction et conclusion.

Dans le présent travail, on a proposé le contrôle flou d'un système photovoltaïque lié au réseau. Ce type de système commence à avoir de large applications, soit dans les sites isolés où la connections au réseau urbain de distribution d'électricité est économiquement inacceptable, ou même urbains où l'excès d'énergie photovoltaïque produite est injectée au réseau. Le système étudié a prouvé son efficacité d'une part pour poursuivre la puissance maximale, d'autre part on a montré qu'il est indispensable de recourir à la configuration optimale et de choisir le contrôleur flou correspondant. Comme ce travail était limité à une configuration de base, en perspective, cette variante peut être étendue par comporter d'autres charges alimentées par la même source photovoltaïque où le flux d'énergie alternative peut circuler dans les deux sens. De plus, d'autre technique intelligente peuvent être aussi appliqué tel que les réseaux de neurones.

Le première partie de ce mémoire(chapitre 1 et 2)a été consacrée à la définition générale le gisement solaire (soleil, le rayonnement solaire, le système photovoltaïque..), le système photovoltaïque avec les applications de ce système , je parlé par exemple l'éclairage .

Le deuxième partie (chapitre 3) à traité le modèle mathématique et le modèle de simulation numérique avec dimensionnement de système photovoltaïque utilisée pour l'éclairage publique.

En résumé, je peux dire que la technologie d'éclairage photovoltaïque est l'une des solutions économique à la consommation de l'énergie électrique, aujourd'hui, la plus part des sociétés mondiale et en particulier les régions saharienne d'Algérienne basée sur l'éclairage photovoltaïque publique à cause de l'avantage énergétique.

Notation

S_H : Flux direct horizontal.

$C(j)$: La correction de la distance terre soleil.

$h(i)$: Hauteur du soleil.

TL : facteur de trouble.

$M(i)$: Nombre d'aire masse.

I_{sc} : le courant de court-circuit.

Voc : la tension en circuit ouvert..

P_{max} : puissance maximale débitée par la photodiode.

I_{max} : densité de courant au point de puissance maximale.

V_{max} : tension au point de puissance maximale.

FF : Le facteur de forme.

η : Le rendement de conversion d'énergie.

V_{coNS} : La somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{ccNs} : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

I_{ccNp} : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle.

V_{coNp} : tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

Bibliographique

- [1] Touil Nacer Eddine Ghenbazi slimane Modélisation et simulation d'un Système photovoltaïque MASTER ACADEMIQUE2015.
- [2] Aghilas BRAHIMI Étude de performances d'un capteur solaire plan à eau Mémoire de Master2 UNIVERSITE DE LORRAINE Faculté des sciences et technologies Nancy 1
Centre de développement des Energies Renouvelable CDER de Bouzaréah (Alger) 2015-2016
- [3] www.univ.adrar.dz
- [4] Khoudrane Ismail Étude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïque UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA 2014.
- [5] SAADI SOUAD EFFET DES PARAMETRES OPERATIONNELS SUR LES PERFORMANCES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN magistère UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE2010.
- [6] MISSOUM MOHAMMED contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie Magistère UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI 2011.
- [7] université Hassiba Benbou Ali de cfelf.université de chelf.
- [8] Docplayer.fr.
- [9] Researchgate.net.
- [10] CHEBANA Abdelkrim MASTER Université Mohamed Khider Biskra 2014.
- [11] M.SLAMA Fateh Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF
- [12] slideplayer.fr.
- [13] fszv.pagesperso-orange.fr.
- [14] Ayache Khedidja Modélisation et Simulation d'un Générateur photovoltaïque Couplé à un Réseau Électrique Mémoire de Magister Université Mohamed chérif Messaadia de Souk-Ahras 2014
- [15] blog-economie-energie.fr.
- [16] A.TION DE LA @ ONCE Biflon D'UN CENTRALE HYBRIDE PV-DIESEL POL. IRL'ÉLECTRIFICATION R'URALE : Application à la centrale de Dionewar-Niodior UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR 2005
- [17] hellopro.fr
- [18] renover-sans-se-tromper.com
- [19] manomano.fr.
- [20] Quora.com.

[21] HADJAB Moufdi DEVELOPEMENT DES PERFORMANCE D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAIQUEMAGISTERU UN NI VE ER RS SI IT E D DJ JI ON IL LL LA AL LI I L LI IA ABE S S ID I B B EAB ES

[22] Othman BENSEDDIK

[23] e-lee.ist.utl.pt.

[24] Abdelmadjid KADDOUR Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal THESE Pour obtenir le Grade de DOCTEURUNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN2013.

[25] : Génie Electronique schéma.

[26] portail.cder.dz.

[27] meteoslins.be

[28] HAMDANI Maamar Étude et Effet de l'Orientation de deux pièces d'un Habitat en pierre situé à Ghardaïa Magister L'UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID – TLEMCEN 2011.

[29] Salaheddine MANSOUR Étude de dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé Master 2014.

[30] <http://vroum52.com/geographie.html> 22 :22 19.04.2017

.

Résumé

Dans cette note, nous parlerons de l'étude et de l'analyse du système photoélectrique pour la production d'électricité à l'aéroport de Bordj Badji-Mokhtar.

Nous avons donc abordé dans le premier chapitre les principes de base du système sémitique et souligné que l'Algérie renferme une importante réserve du système solaire, ainsi que les généralités du système dans les facteurs, composants et types photoélectriques, ainsi que le principe de travail et la manière de produire de l'électricité. Enfin, nous présenterons le contenu de l'étude au dernier chapitre.

Summary

In this note, we will talk about the study and analysis of the photoelectric system for the production of electricity at the Bordj Badji-Mokhtar Airport

So that we discussed in the first chapter the fundamentals of the Semitic system and we pointed out that Algeria contains a large reserve of the solar system. In the second chapter talked about the generalities in the system in the photoelectric factors, components and types, as well as the principle of work and how to produce electricity. Finally, we will present the contents of the study to the final chapter.

ملخص

في هذه المذكرة سنتكلم عن دراسة وتحليل نظام الكهروضوئي لانتاج الكهرباء في مطار برج باجي المختار بحيث تناولنا في الفصل الاول اساسيات على النظام الشمسي وتطرقنا على ان الجزائر تحتوي على احتياطي كبير من النظام الشمسي. وفي الفصل الثاني تحدثنا على عموميات في النظام في الكهروضوئي من عوامله ومكوناته وانواعه وكذا مبدا العمل به وكيفية انتاج الطاقة الكهربائية. وفي الاخير سنعرض محتويات الدراسة على الفصل الاخير.