

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° :...../2018.....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Physique

**OPTION Physique Energétique
et Energies Renouvelables**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: BOUZIANE Afaf

Intitulé

**Évaluation du rayonnement solaire en Algérie
pour des applications photovoltaïques**

Soutenu le 24/06 /2018 devant le jury composé de:

Dr. BOURSAS Abdelhakim	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr. SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr. BOULECHFAR Hichem	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu " الله " ALLAH de nos avoir donné la force et le courage.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur de mémoire Monsieur Dr. SALMI Mohamed. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Merci pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer et les aiguillages qu'il m'a apportés.

Je remercie vivement Messieurs : Dr. BOURSAS Abdelhakim et Dr. BOULECHFAR Hichem d'avoir accepté de représenter le jury de cette mémoire.

À tous qui m'ont aidé, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Dédicace

A l'âme de mon Père Ferhat : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être ; que la terre lui soit légère, amen.

A ma chère mère maternelle Haada: Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur
, de santé et de réussite.

A mes sœurs et frères : Souria; Meriem ; Abd Elrezek ; Mustapha et
Khadîdja

A Toute ma merveilleuse famille

Je vous remercie pour votre aide sans égal et votre affection si sincère. A tous mes amis et à tous ceux qui me sont chers

BOUZIANE Afaf

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre 1 : L'énergie Solaire	2
1.1. L'énergie solaire	3
1.1.1. Qu'est-ce que l'énergie solaire ?	3
1.2. L'origine de l'énergie solaire	3
1.3. Trajectoire du soleil	4
1.4. Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire	6
1.4.1. Composition de l'atmosphère	6
1.4.2. Absorption de la radiation solaire	7
1.4.3. Phénomène de diffusion du rayonnement solaire	8
1.4.4. Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère	9
1.5. Le rayonnement solaire au sol	10
1.5.1. Le rayonnement direct	10
1.5.2. Le rayonnement diffus	10
1.5.3. Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol	10
1.5.4. Le rayonnement global	10
1.6. Durée d'insolation	11
1.7. potentiel solaire en Algérie	11
1.7.1. Représentation graphique des fractions d'insolation	13
Chapitre2 : Les systèmes photovoltaïques	14
2.1. Les systèmes photovoltaïques	15
2.1.1. Définition	15
2.2. La conversion photovoltaïque	15
2.2.1. L'effet photovoltaïque	15
2.2.2. Principe de la conversion	15
2.3. Les cellules photovoltaïques	16
2.3.1. Définition	16
2.3.2. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire	16
2.3.3. Différent types des cellules solaires	17
2.3.3.1. Silicium monocristallin	18
2.3.3.2. Silicium multicristallin	18
2.3.3.3. Modules en couches minces	18

2.3.3.4. Silicium Cristallin	19
2.3.3.5. Silicium amorphe	19
2.3.3.6. La Technologie CIS	19
2.3.3.7. La Technologie CDTE	20
2.3.3.8. Génération Des Cellules Organiques	20
2.4. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	20
2.4.1. Courbe courant-tension	20
2.4.2. Influence de l'éclairement solaire	21
2.4.3. Influence De La Température	22
2.5. Le Champ Photovoltaïque	23
2.5.1. Définition	23
2.6.2. Association En Série	23
2.6.3. Association En Parallèle	23
2.7. Le module photovoltaïque	24
2.8. Classification des systèmes photovoltaïques	26
2.8.1. Les systèmes isolé ou autonome	26
2.8.2. Les systèmes raccordés au réseau	26
2.8.3. Système De Conversion	26
2.8.3. a. Convertisseur Continu– Continu	26
2.8.3. b. Convertisseur Continu– Alternatif	27
2.9. Le rendement d'un système photovoltaïque	27
2.10. Avantages et inconvénients des Systèmes photovoltaïques	28
2.10.1. Avantages des Systèmes photovoltaïques	28
2.10.2. Inconvénients des Systèmes photovoltaïques	28
Chapitre3 : Etude d'un projet photovoltaïque par le PVsyst	29
3.1. Logiciel PVsyst	30
3.1.1. Description	30
3.2. Application 1:Evaluation du rayonnement solaire	31
3.2.1. Coordonnées géographiques	31
3.2.2. Analyse des résultats	33
3.2.2.1. Régions du Sud	34
3.2.2.2. Régions de l'Est	34
3.2.2.3. Régions du Nord	35
3.2.2.4. Régions de l'Ouest	35
3.2.2.5. Régions du milieu	36

3.3. Application 2: Production d'énergie	37
3.3.1. Site choisie	37
3.3.2. Besoins énergétiques	37
3.3.3. Production d'énergie	38
Conclusion	40
Bibliographie	42

Introduction

Introduction

L'énergie est l'un des moteurs de développement des sociétés, elle est le pilier de l'économie moderne. Elle est l'étincelle qui permet l'accomplissement de toute activité humaine. Ses sources se sont diversifiées dans le but de satisfaire leurs besoins continus dans tous les secteurs économiques [1].

Le choix des sources d'énergies renouvelables et non polluantes est donc d'actualité. Parmi les sources d'énergies renouvelables, on compte le vent, les flux marins et océaniques, la géothermie, le solaire (cellules photovoltaïques), etc.... Ce dernier est la source d'énergie la plus puissante. En effet, la puissance du rayonnement solaire au niveau du sol est peut atteindre 950 Watt/m².

Dans notre pays l'équivalent de 300 milliards de Tep par an en énergie solaire est reçu en terme d'insolation, l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la quasi-totalité du territoire national, la durée d'insolation quant à elle dépasse les 2000 heures chaque année et peut aller jusqu'à 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara, ce qui représente une moyenne élevée par rapport aux pays du monde. Pour exploiter efficacement cette énergie par les systèmes photovoltaïques ou photo thermiques, une connaissance de la distribution de la quantité du rayonnement solaire reçue sur les différentes régions du territoire algérien est indispensable.

Une connaissance précise de la distribution de rayonnement solaire sur un site géographique particulier est d'une importance vitale pour le développement des systèmes photovoltaïques, ainsi qu'à l'évaluation de leurs performances.

Le travail présenté dans cette mémoire a porté sur l'évaluation de rayonnement solaire global en Algérie et l'estimation de la puissance électrique produite par les systèmes photovoltaïques, on a utilisé le logiciel PVsyst. Dont on a divisé notre travail en trois chapitres : Le premier chapitre est consacré à l'énergie solaire et les phénomènes physiques qui y sont liés. Le deuxième chapitre, une étude descriptive générale des systèmes photovoltaïques est présentée, leurs types, leurs compositions et les critères de choix d'un PV. Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats d'une étude qui a permis de connaître les zones où l'énergie solaire est disponible et ses applications photovoltaïques en utilisant le logiciel de simulation PVsyst.

Enfin on termine par une conclusion ou les synthèses des travaux effectués ainsi que les principaux résultats sont mentionnés.

Chapitre 1

L'énergie Solaire

1.1-L'énergie solaire

1.1:Qu'est-ce que l'énergie solaire ?

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques (figure 1.1) ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires



Figure (1.1):Panneaux photovoltaïques

L'énergie solaire est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, le soleil bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous, est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde [2].

1.2-L'origine de l'énergie solaire

Au niveau de la Terre, située à 150 millions de km du Soleil, la puissance reçue par un mètre carré de surface orientée perpendiculairement aux rayons du Soleil est de 1400W [3].

Il y'a plusieurs hypothèses pour expliquer l'origine de cette énergie solaire.

Il pourrait s'agir éventuellement:

du refroidissement du Soleil

de réactions chimiques exothermiques

de réactions thermonucléaires...

En supposant que le rayonnement solaire est régulièrement réparti dans toutes les directions, vous pourrez, pour commencer, évaluer la puissance totale P émise par le soleil.

Ensuite, connaissant cette puissance totale P , et en notant t la durée de vie du Soleil, le produit

P.t représente l'énergie totale produite au cours de sa vie : la connaissance de la quantité d'énergie disponible dans le Soleil doit donc permettre de prévoir cette durée de vie...

Afin de vous permettre de tester les diverses hypothèses présentées antérieurement, voici quelques données, tirées de nos connaissances scientifiques :

la masse du soleil est de 2×10^{30} kg.

Le soleil est essentiellement constitué d'hydrogène.

La chaleur massique du gaz dihydrogène est $c = 14,4 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, mais augmente avec la température, et pourra atteindre $20 \times 10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

la photosphère du Soleil a une température que l'on évalue, en l'assimilant à un corps noir : On trouve $T = 6\,000 \text{ K}$.

Le pouvoir calorifique le plus élevé des gaz est celui du dihydrogène et vaut $124\,700 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Lors d'une réaction thermonucléaire, une partie m de la masse est transformée en énergie, selon la relation d'Einstein $E = m.c^2$ (avec $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$).

Cependant, pour que de telles réactions se produisent, il faut atteindre des températures de plusieurs millions de Kelvins et seule une petite partie de la matière du Soleil est concernée (10% seulement).

Enfin, l'hydrogène donnant naissance à de l'hélium, une petite partie de la masse seulement est transformée en énergie. La théorie permet d'évaluer le rendement de ces réactions à 0,7%.

A vous de déterminer les durées de vie du Soleil prévisibles pour chacune des hypothèses et de trancher en faveur de celle qui vous semble la plus raisonnable, refaisant ainsi le raisonnement des scientifiques du début du vingtième siècle.

1.3-Trajectoire du soleil

Toute application solaire nécessite la connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre (figure 1.2), caractérisé par sa latitude (positive pour l'hémisphère Nord) et sa longitude (définie par rapport au méridien de Greenwich, positivement vers l'Est) [1,4].

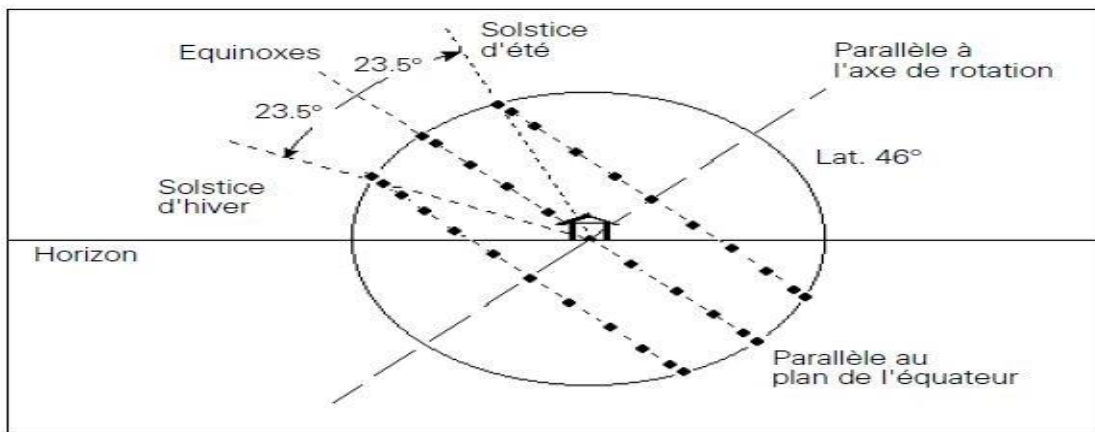


Figure (1.2): Trajectoires apparentes du soleil

Le soleil décrit un cercle centré sur l'axe de rotation de la terre, déplacé à un angle δ par rapport au plan parallèle à l'équateur.

Pour l'observateur terrestre, en considérant la déclinaison comme constante sur une journée, le soleil décrit un cercle autour de l'axe de rotation de la terre (Figure 1.2). Ce cercle est parallèle au plan de l'équateur, et sa hauteur apparente sur ce plan donné par la déclinaison.

Au cours de la journée, l'instant où le soleil passe par le méridien du lieu de l'observateur c'est-à-dire où il est au sud dans notre hémisphère est le midi « vrai ». Pour un instant quelconque, l'angle horaire AH est l'angle, projeté sur le plan de l'équateur, entre le soleil et le midi vrai, il vaut 15° par heure ($360^\circ/24h$) [1,4].

A position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu, et son azimut AZ, l'angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'est (sens anti trigonométrique dans l'hémisphère Nord) (figure 1.3).

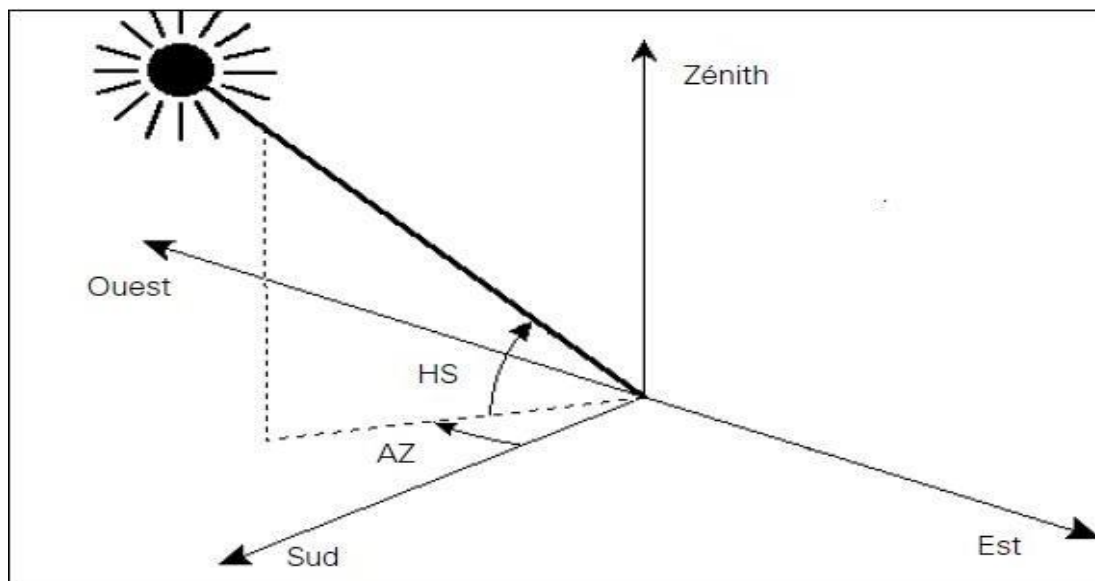


Figure (1.3): Définition de la position du soleil

Le calcul de la position du soleil est fonction de la déclinaison (soit le jour de l'année), la latitude et l'angle horaire; il est effectué à l'aide des expressions suivantes [1,4]:

$$\sin HS = \sin LAT. \sin \delta + \cos LAT. \cos \delta. \cos AH \quad (1.1)$$

Avec $(\sin AZ = \cos \delta)$.

$$\sin AH / \cos HS \quad (1.2)$$

On pourra tirer de nombreuses valeurs remarquables de ces deux expressions, par exemple, l'heure du lever du soleil est donnée par la condition $HS=0$, soit:

$$\cos AH = -\tan LAT. \tan \delta \quad (1.3)$$

Ou encore: la hauteur maximal du soleil

(À midi solair):

$$HS_{max} = 90 - LAT + \delta \quad (1.4)$$

1.4 -Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire

1.4.1 -Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de trois grandes couches de caractéristiques différentes, qui sont :

A- La troposphère : comprise entre le sol et de 16 km d'altitude ; dans cet intervalle la température et la pression décroît, respectivement, de $5.6^{\circ}\text{C Km}^{-1}$ et de 400 à 100 mb jusqu'à la limite supérieure. La masse de la troposphère représente les $\frac{3}{4}$ de la masse totale de l'atmosphère qui est de 5.1015 Tonne. L'air de la troposphère renferme de la vapeur d'eau, du gaz carbonique, des poussières et des cristaux de sel. C'est le siège des nuages, des pluies et des orages.

B- La stratosphère : est la zone entre 16 et 65 km d'altitude. A sa limite supérieure, la stratopause, la pression n'est plus que de 1 mb.

C- La stratosphère comprend des couches à différentes températures dont l'une, particulièrement riche en ozone, présente une température voisine de 0°C . Ce réchauffement est vraisemblablement dû à l'absorption partielle du rayonnement UV émis par le Soleil.

D- La mésosphère, comprise entre 55 et 80 km d'altitude. La pression n'est plus que de 10^{-2} mb à sa limite supérieure, appelée mésopause.

La figure (1.4) montre l'influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire reçu au niveau de la mer, par ciel clair et pur, la hauteur du soleil étant 30° [5].

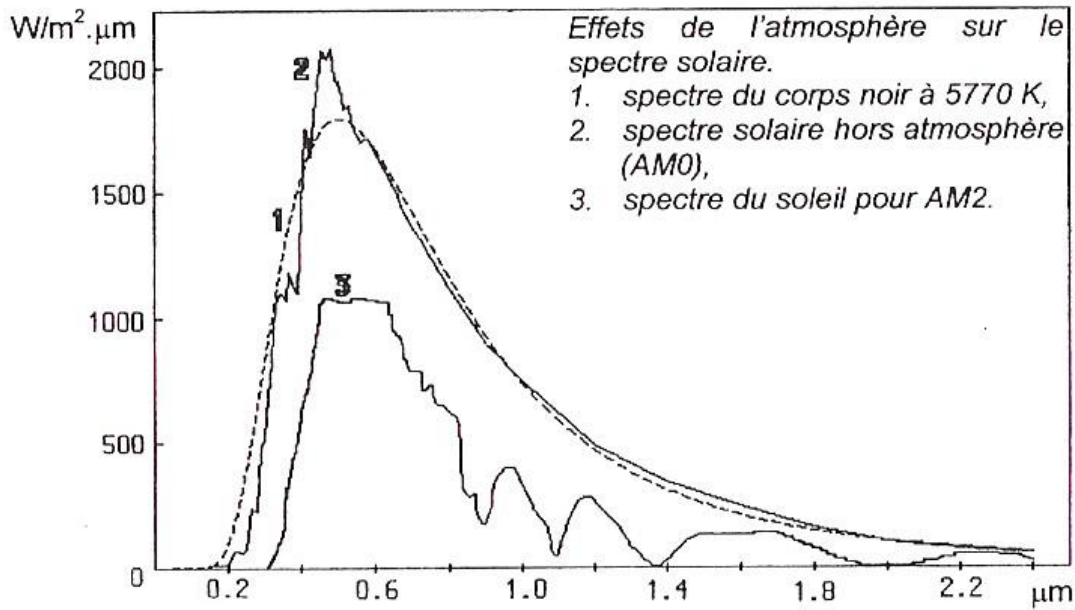


Figure (1.4) : Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

1.4.2 -Absorption de rayonnement solaire

L'absorption du rayonnement solaire est sélective et dépend principalement de quatre éléments qui sont :

- 1 - Ozone (O₃) :** Il absorbe des bandes fortes entre 0.2 et 0.3 μm, des bandes faibles de 0.45 à 0.7 μm et deux bandes IR à 10 et 14 μm. il forme aussi un écran qui arrête les UV.
- 2-Oxygène (O₂) :** Il absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0.69 et 0.76μm).
- 3-Gaz carbonique (CO₂) :** Il absorbe des une partie de l'infrarouge lointain (λ>2μm).
- 4- Vapeur d'eau** qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol (z<5 km) [5].

La figure 1.5 représente le spectre de la principale absorption sélective par les gaz atmosphériques.

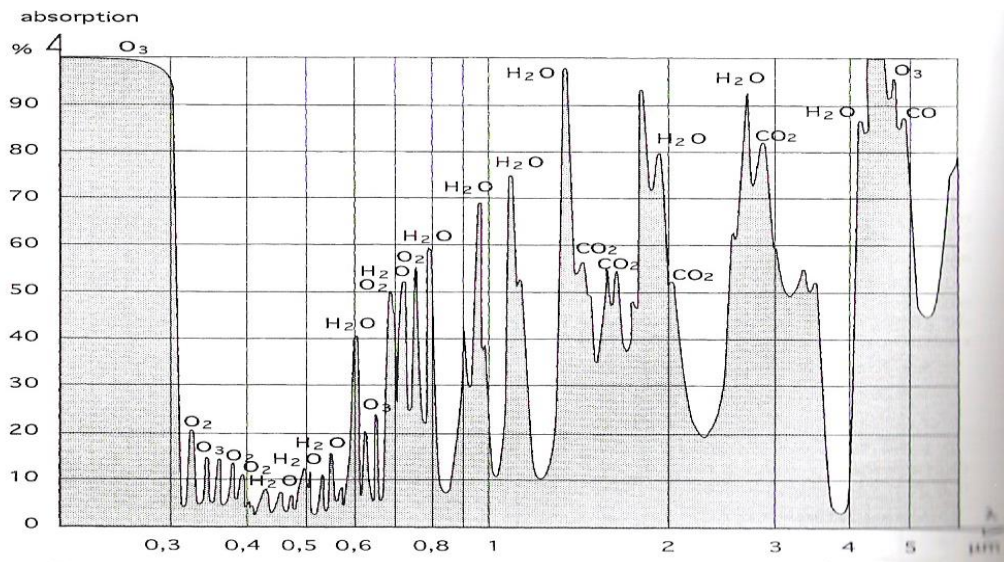


Figure (1.5) : Spectre d'absorption du rayonnement atmosphère.

1.4.3 -Phénomène de diffusion du rayonnement solaire

On distingue dans l'atmosphère deux types de diffusion : la diffusion de Rayleigh par les particules de diamètre inférieur à la longueur d'onde incidente [5] et la diffusion de Mie par les corpuscules de grand diamètre (aérosols). Un rayon diffusé peut lui même subir une diffusion et ainsi de suite selon la densité et le volume de la matière traversée ; c'est la diffusion multiple dont il faut aussi tenir compte. Les directions d'une diffusion moléculaire vers l'avant et vers l'arrière sont privilégiées par rapport à la direction latérale. Par contre, dans le cas d'une diffusion de grosses particules, la plupart des photons seront diffusés vers l'avant dans un angle de 4 degrés autour de la direction incidente [5].

L'absorption de Rayleigh explique pourquoi le ciel est bleu dans la journée et rouge - orange le matin et le soir lorsque le soleil est bas sur l'horizon. En effet, considérons le soleil à midi ; le trajet des rayons lumineux est relativement court. Compte tenu de la loi de Rayleigh, le rayonnement de courte longueur d'onde est plus diffusé par les molécules de l'atmosphère que le rayonnement de grande longueur d'onde ; il s'en suit que la lumière bleue ($\lambda=0.47 \mu\text{m}$) est plus diffusée que la lumière rouge ($\lambda=0.67 \mu\text{m}$) et le ciel nous paraît bleu. A l'aurore ou au crépuscule, la même loi s'applique ; mais comme le trajet de la lumière est beaucoup plus long, les longueurs d'onde bleues sont diffusées mais aussi absorbées et il ne reste, fortement atténuées, que les grandes longueurs d'onde. La rétine de l'observateur qui fixe le soleil enregistre alors un disque rouge.

Enfin, on caractérise l'ensemble des phénomènes d'absorption et de diffusion par un facteur appelé facteur de trouble total [5].

Le facteur de trouble de Linke T_1 conduit à une évaluation de l'extinction atmosphérique par des molécules gazeuses et les aérosols ; une valeur moyenne est donnée par :

$$T_1 = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (1.5)$$

Le coefficient β_A est appelé coefficient de trouble ou coefficient d'Angström. Ce coefficient caractérise, la clarté du ciel et on a ainsi :

$\beta_A = 0.02$ pour un ciel bleu foncé.

1.4.4 -Distribution du rayonnement solaire par l'atmosphère

Les radiations solaires arrivant au sommet de l'atmosphère sous forme d'ondes électromagnétiques se répartissent premièrement en deux parties : L'une (E) est directement réfléchie vers l'espace avant de s'enfoncer dans l'atmosphère. L'autre partie (R), en pénétrant dans l'atmosphère subit des réflexions et des diffractions pour être à son tour, soit renvoyée vers l'espace (R_a) soit dirigée vers la terre (D).

Dans l'atmosphère la vapeur d'eau et de multiples gaz absorbent de façon très irrégulière certaines radiations caractérisées par leurs longueurs d'ondes, les radiations (R_A) absorbées par les composantes de l'atmosphère sont ensuite émises dans toutes les directions. Il en résulte que parmi les radiations solaires parvenant finalement au sol. Une fois ces radiations arrivées au sol, une fraction est réfléchie directement vers le ciel (A), l'autre est gagnée par la terre, pour être à son tour émise par le sol sous forme de chaleur latente et chaleur sensible :

$$R_n = F_1 + R_s \quad (1.6)$$

Où : F_1 est la chaleur latente. R_s est la chaleur sensible.

La figure I.6 ci-dessous présente la distribution du rayonnement solaire par R_f est le rayonnement diffusé vers le sol R_f est le rayonnement diffusé vers le sol.

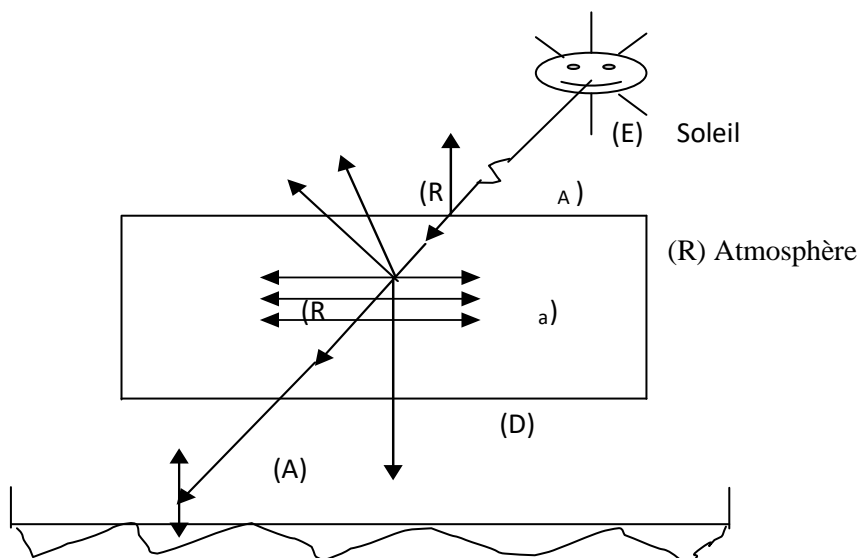


Figure (1.6) : Distribution de rayonnement solaire par l'atmosphère

1.5. Le rayonnement solaire au sol

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature [6,7]

1.5.1-Le rayonnement direct

La conversion du rayonnement direct E_D est une question trigonométrique. Le rayonnement direct, sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus.

1.5.2-Le rayonnement diffus

Il est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

1.5.3-Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol

C'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....).

1.5.4-Le rayonnement global

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnements directs, diffus et reflété par le sol. Dans la figure ci-dessous figure (1.7) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires çu sur une surface terrestre.

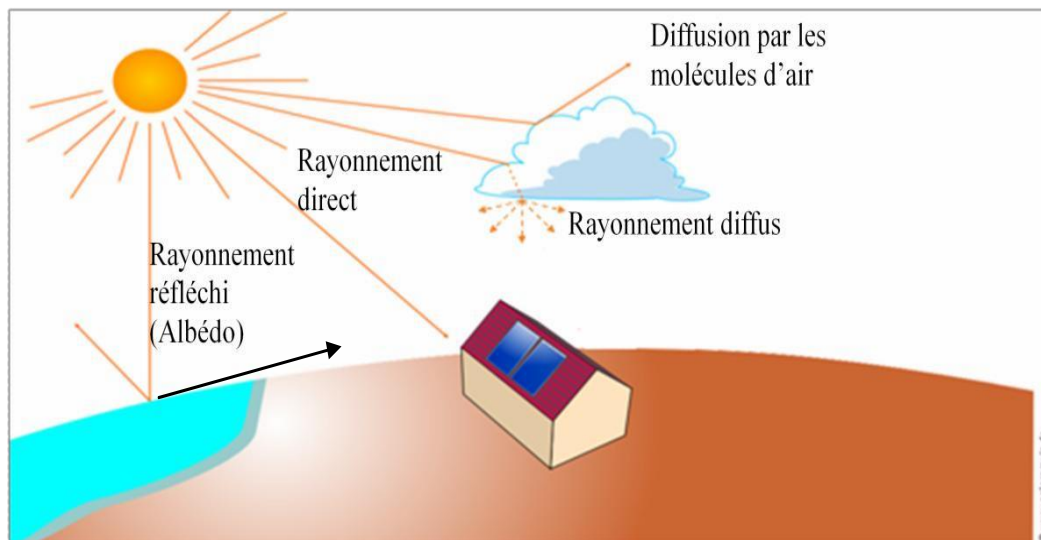


Figure (1.7): Types de rayonnement solaire reçus au sol

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclaircissement (noté généralement par la lettre G), il s'exprime en watts par mètre carré (W/m^2). La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale

lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons [6, 7]:

Dans la figure (1.8) ci-après est illustré l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur l'intensité de l'éclairement reçu sur leurs surfaces du levé au couché du soleil.

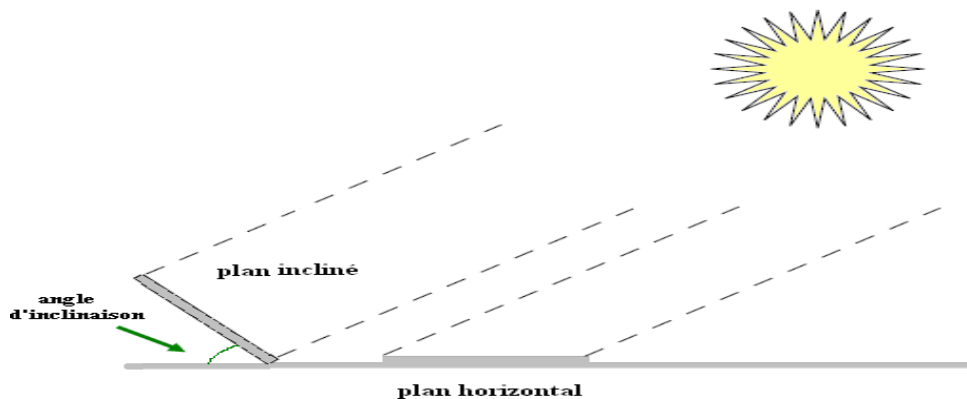


Figure (1.9): Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné

1.5.5-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 qui elle-même dépend de la période de l'année considérée [8, 9].

1.5.6-Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays. Le tableau 2.2 résume le potentiel solaire en Algérie [5].

1.5.7-Représentation graphique des fractions d'insolation

On peut représenter les valeurs des fractions d'insolation, en fonction du mois, pour chaque station. Par simple observation des courbes, on peut reconnaître 3 groupes types de climat [5].

- (a) : climat de l'Algérie du nord : σ élevé en été (aux alentours de 0,8) et moyen en hiver (environ 0,5).
- (b) : climat du Sahara : σ très élevé en été (plus de 0,8) et élevé en hiver (environ 0,7 et plus au sud 0,8).
- (c) : climat influencé par le climat de l'Afrique intertropicale : σ élevé avec des valeurs plus faibles en été (saison des pluies dans le Sahel, plus au Sud) et maximum en mars.

Chapitre 2

Les systèmes photovoltaïques

2.1- Système photovoltaïque

Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi « balance of system » ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser ces modules, câblage, la batterie en cas de stockage, son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

Le courant continu disponible aux bornes du module peut être utilisé de différentes manières en raccordant ces bornes à un circuit électrique qui l'achemine vers un ensemble de composants qui forment un "système photovoltaïque" conçu et dimensionné en fonction de l'application et de l'usage qui est fait de l'électricité produite [10].

2.2-La conversion photovoltaïque

2.2.1-L'effet photovoltaïque :

Il s'agit de transformer l'énergie contenu dans la lumière du soleil en énergie électrique à travers d'un capteur constitué de matériaux sensible à l'énergie contenue dans les photons .Ce capteur présente à l'échelle élémentaire sous forme d'une cellule PV .L'effet photovoltaïque fut observé la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel [9,10].Toutefois ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell , aux Etats-Unis parvinrent à fabriquer la première photopile ; l'élément primaire ou de base de la conversion.

2.2.2- Principe de la conversion

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P [9.11].

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée [9,12].

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une

paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel.

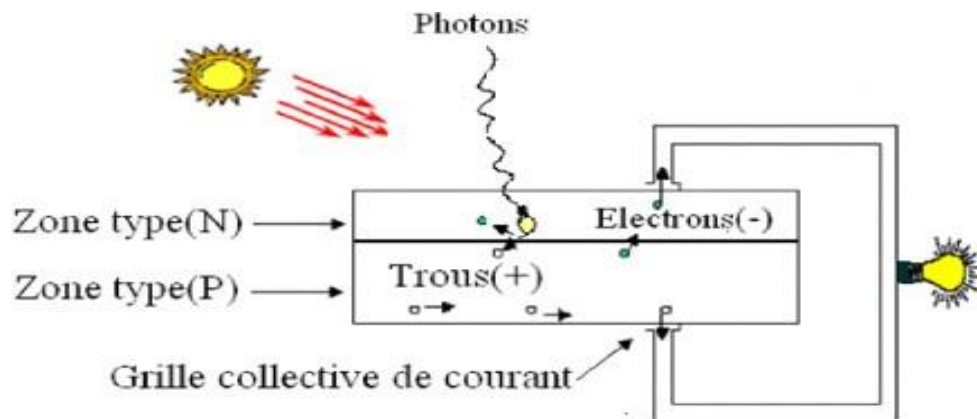


Figure (2.1) : Présentation schématique d'une cellule solaire.

2.3-Les cellules photovoltaïques

2.3.1- Définition:

Les cellules photovoltaïques sont des dispositifs électroniques réalisées à l'aide des composants semi-conducteurs qui possèdent la particularité de produire l'électricité quand ils sont éclairés. Elles sont généralement faites du silicium sous ses différentes formes [7].

2.3.2-Principe de fonctionnement d'une cellule solaire:

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création des paires électron/trou dans le matériau semi-conducteur .
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.

Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électron/trou créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-N. d'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky sont également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules photovoltaïques est illustré sur la figure 2.1 [4].

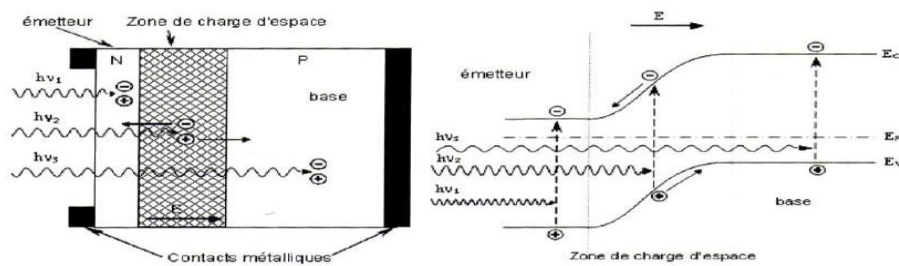


Figure (2.2): Diagramme de bande d'une cellule photovoltaïque

Les dimensions respectives de différentes zones ne sont pas respectées. Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région: les matériaux cristallisés, d'épaisseur de 0.15 à 0.4 mm. Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace, sont envoyés par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) ou ils seront majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.

Dans la zone de charge d'espace, les paires électron/trou créés par les photons incidents sont dissociés par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. on aura un photo-courant de generation [1].

2.3.3-Different types des cellules solaires

Lorsque nous avons présenté le fonctionnement des cellules solaires, nous avons évoqué pour quelques-uns les matériaux qui les constituent. [13,14]. On peut distinguer deux grandes familles de matériaux photovoltaïques utilisés dans des installations:

- les matériaux cristallisés, d'épaisseur de 0.15 à 0.4 mm,
- les couches minces, d'épaisseur faible d'ordre du micron.

Le matériau le plus répandu de nos jours est le silicium, semi-conducteur tétravalent. Le silicium est soit cristallin, soit amorphe:



Figure (2.3): Les Différents Types des cellules Solaires

2.3.3.1-Silicium monocristallin

Les cellules qui en sont composées sont les plus performantes sur le marché: elles présentent un bon rendement à fort et moyen éclairage. Toutefois, leur prix reste élevé. Le silicium monocristallin est un matériau pur à 99,999 % et se présente sous la forme d'un cristal unique de grandes dimensions. Il affiche les meilleurs rendements sur le marché des produits actuellement disponibles.

- Rendement électrique des panneaux : 15 % STC
- Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- Gamme d'éclairage : 100 à 1 000 W/m²
- Usage: tous usages extérieurs de forte et moyenne puissance

(télécommunication, balisage, relais, habitat.) [13, 14].

2.3.3.2-Silicium multicristallin

Il est le plus répandu actuellement et les caractéristiques électriques des cellules multicristallines sont similaires aux monocristallines. Toutefois, il est un peu moins performant, essentiellement aux éclairages modérés, et également moins onéreux du fait d'une fabrication moins complexe [13, 14].

- Rendement électrique des panneaux : 12 à 14 % STC
- Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- Gamme d'éclairage : 200 à 1 000 W/m²
- Usage : même usage que le silicium monocristallin

2.3.3.3-Modules en couches minces

Les modules en couches minces commencent à se développer pour leurs qualités physiques qui représentent de gros avantages par rapport au silicium cristallin. Quand le matériau est rare et cher (entre 50 et 100 euros le kilogramme pour le silicium polycristallin), il est d'autant plus intéressant d'essayer d'en utiliser le moins possible, c'est le principe des cellules en couches minces. Plusieurs technologies existent [13, 14]:

Le silicium amorphe (a-si, filière historique),

- le silicium cristallin en couche mince,
- le tellure de Cadmium (CdTe, filière innovante),
- le cuivre/indium/sélénium ou cuivre/indium/Gallium/sélénium (CIS

ou CIGS ; filières innovantes),

- les cellules à double (tandem) ou à triple jonction (3a-si),
- les cellules à base d'oxyde de titane.
-

2.3.3.4- Silicium Cristallin

Le Silicium cristallin dit couche mince repose sur le principe de déposer une couche mince de silicium polycristallin sur divers substrats de silicium métallurgique peu purifié, quartz, céramique ou métal. Depuis quelques années, les films minces de silicium cristallin suscitent un intérêt majeur en Europe et aux USA.

2.3.3.5- Silicium amorphe

Malgré un gap optique plus élevé que le silicium cristallin et donc une tension plus forte, son courant est nettement plus faible à cause de sa moins bonne collecte et de sa faible épaisseur. Il est donc moins puissant que le silicium cristallin. Par contre, en couche très mince, il répond à tous les éclairagements, extérieur et intérieur. Sa technologie de fabrication est moins onéreuse et permet de réaliser de petits formats de panneaux.

Le silicium amorphe est non cristallin et est produit par pulvérisation cathodique de silicium ou de décomposition du silane. C'est aujourd'hui une des filières les plus économiques. La filière cherche encore aujourd'hui à réduire ses coûts en inventant des procédés de fabrication moins coûteux et en augmentant le rendement des cellules. Les modules à base de silicium en couches minces présentent également l'avantage de garder un bon niveau de production lorsque la luminosité est faible ou lorsque la température est élevée.

- Rendement électrique des panneaux : 5 à 7 % STC (jusqu'à 9 % pour les multijonctions)
- Puissance des panneaux extérieurs : 0.5 à 60 Wc.
- Gamme d'éclairement : de 20 lux à 1 000 W/m².
- Usage : électronique professionnelle et grand public (montres, calculatrices.), électronique de faible consommation en extérieur

2.3.3.6-La Technologie CIS

Concernant la technologie CIS, elle est déjà fabriquée industriellement et son rendement est de 10 % environ. Sa fiabilité n'a pas été démontrée sur le très long terme. Sous une lumière diffuse, elle présente une meilleure efficacité que la technologie silicium (comme la plupart des couches minces). Würth Solar, en Allemagne, a démarré sa production en 2006 et affiche une capacité de production de 15 MWc dans la technologie CIS. D'autres projets ont été lancés par Miasolé aux Etats-Unis, Scheuten en Hollande ou encore Johanna en Allemagne.

La fabrication des cellules repose sur des techniques de dépôt sous vide. La couche semiconductrice ne fait que 2 à 3 microns, contre 200 à 300 microns dans le cas du silicium cristallin. Les producteurs s'efforcent d'améliorer le contrôle du procédé, afin d'augmenter le rendement de fabrication, celui des cellules, et leur stabilité dans le temps. Des progrès sont

nécessaires si l'on veut faire descendre le coût de production en dessous du seuil symbolique de 1 euro par watt crête (la filière silicium est autour de 3 euros/Wc) [13, 14].

C'est dans ce but que d'autres start-ups américaines (Nanosolar, Heliolt) ont levé des fonds importants sur des projets d'usines de cellules du type CIS, mais utilisant un procédé de sérigraphie (impression), réputé efficace et économe. L'Irdep à Chatoux dans les Hauts de Seine est un laboratoire qui développe la fabrication de cellule CIS par dépôt électrolytique (dépôt sous pression atmosphérique et non plus sous vide pour réduire encore les coûts de production et arriver à moins de 1 euro par Wc): projet CISel.

L'Irdep est formé par EDF, le CNRS et l'ENSCP. Ce procédé est aujourd'hui en phase d'ingénierie et doit être développé pour obtenir des rendements de 10 % sur des surfaces de 1 m². L'objectif est de développer une solution concurrente du silicium amorphe sur métal dont le rendement avoisinerait les 7 % [13, 14].

2.3.3.7-La Technologie CDTE

Concernant la technologie CdTe, elle est fabriquée par First Solar aux Etats-Unis, en Malaisie et en Allemagne. Prochainement, une usine devrait ouvrir en France, à Blanquefort, près de Bordeaux. Cette usine sera cofinancée par EDF Énergies Nouvelles, qui bénéficiera de la vente intégrale de la production durant les 10 premières années d'exploitation .

Le CdTe est aujourd'hui très utilisé pour les capteurs à destination des centrales au sol. Son coût, l'un des plus bas du marché, et la capacité de production de First Solar permettent de répondre au marché croissant [13,14].

2.3.3.8-Génération Des Cellules Organiques

De nouvelles cellules sont en développement dans les laboratoires, les cellules organiques et les cellules de Grätzel sont en phase de recherche et présentent pour l'instant des rendements relativement faibles. La production des cellules multijonctions est quant à elle exclusivement réservée aux applications spatiales.

En France, le projet Nanorgysol réunit une vingtaine de laboratoires (CEA, CNRS, universités, INES au Bourget en Savoie) qui développent une cellule constituée d'un polymère donneur d'électrons, un polythiophène et d'un accepteur dérivé du fullerène (PCBM). Pour le moment, le rendement atteint 5 % sur 1 cm². Les industriels porteurs de projets sur le développement des cellules organiques sont en Allemagne : BASF, Bosch, Merck AG et Heliatek et aux Etats-Unis : Konarak. Pour le moment, aucun produit organique n'est présent sur le marché [13, 14].

2.4 -Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

2.4.1-Courbe courant-tension

La courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque représente la variation du courant qu'elle

produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque depuis le court-circuit (tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule)[14,15].

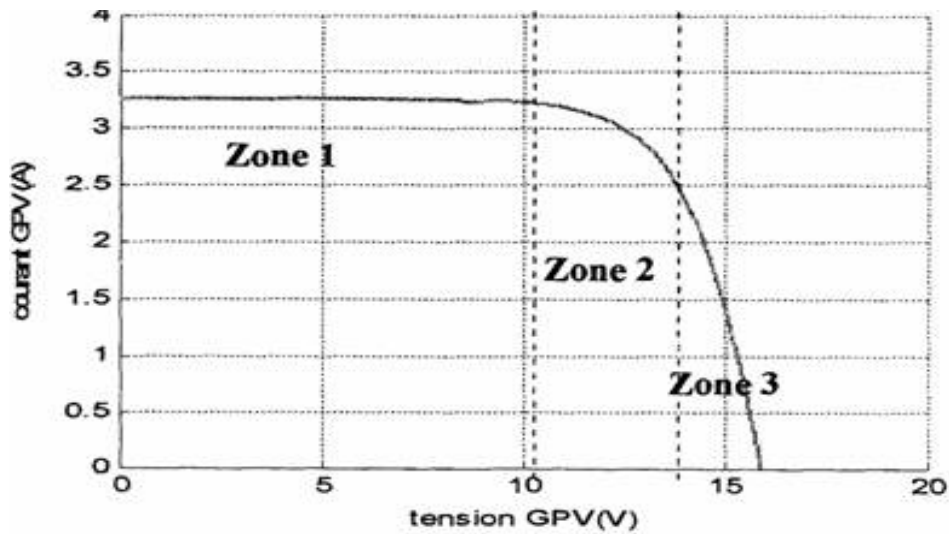


Figure (2.4): Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque

Zone 1: le GPV est un générateur de courant (le courant est constant).

Zone 2: c'est la zone de travail du GPV (puissance maximale).

Zone 3: le GPV est un générateur de tension (la tension est presque constante).

2.4.2-Influence de l'éclairement solaire

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface.

La figure (2.5) représente la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque à une température constante [14, 15].

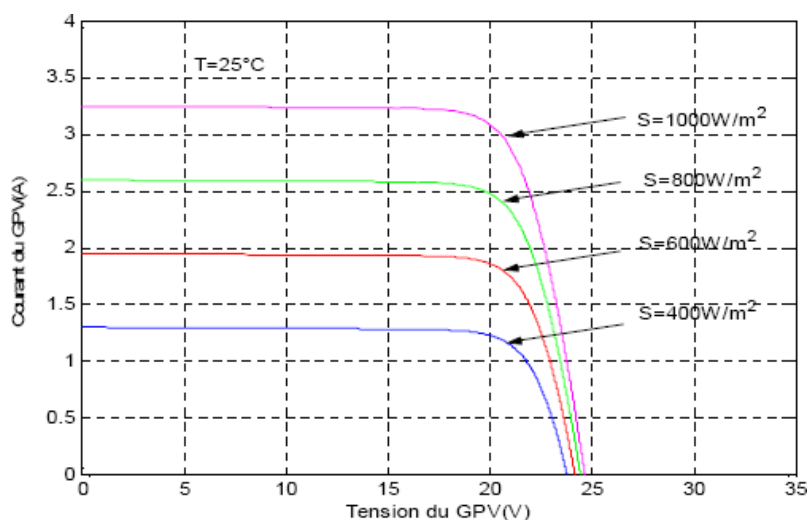


Figure (2.5): Courbes I (V) d'un panneau solaire à divers ensoleillements

2.4.3-Influence De La Température

La température est un paramètre important puisque les modules sont exposés au rayonnement solaire. Les courbes suivantes représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température de la cellule durant le même éclairage [14, 15].

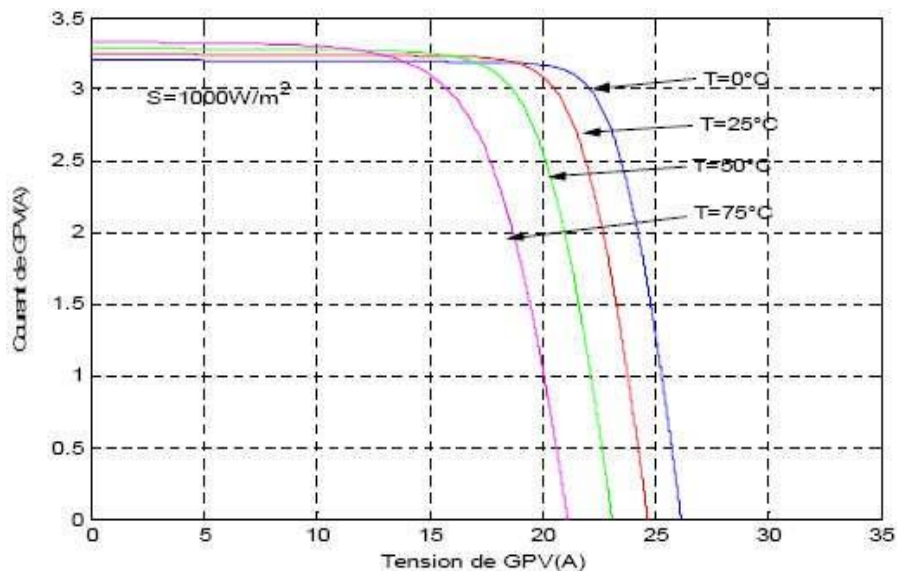


Figure (2.6) : Courbes I(V) d'un panneau à diverses températures

On remarque qu'une élévation de la température de jonction des modules solaires provoque une diminution de la tension et une augmentation du courant.

Dans le cas de cellules au silicium, le courant augmente d'environ $0.025 \text{ mA/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; alors que la tension diminue de $2.2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$.

Plus la température augmente et moins le module est performant.

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et saisonnières. Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes. À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du convertisseur (hacheur ou onduleur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale [14, 15].

2.5-Le Champ Photovoltaïque

2.5.1 -Définition

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopiles assemblé pour générer une puissance électrique exploitable. En effet, une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension (entre 0.5 et 1.5 V selon les technologies). Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyle-acétate) et protégé sur la surface avant d'un verre trempé à haute transmission et d'une bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'un polyethylene [14].

Afin d'obtenir des puissances de quelques kilowatts à quelques mégawatts, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série et en parallèle pour former un panneau ou un champ photovoltaïque.

2.6.2 -Association En Serie

Une association de N_S modules en série permet d'augmenter la tension du module photovoltaïque. Les modules sont alors traversés par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque module [14].

$$V_{OC-NS} = N_S \cdot V_{OC} \quad \text{Avec } I_{CC-NS} = I_{CC} \quad (2.1)$$

V_{OC-NS} : Tension en circuit ouvert pour l'association série I_{CC-NS} : Courant de court-circuit pour l'association série

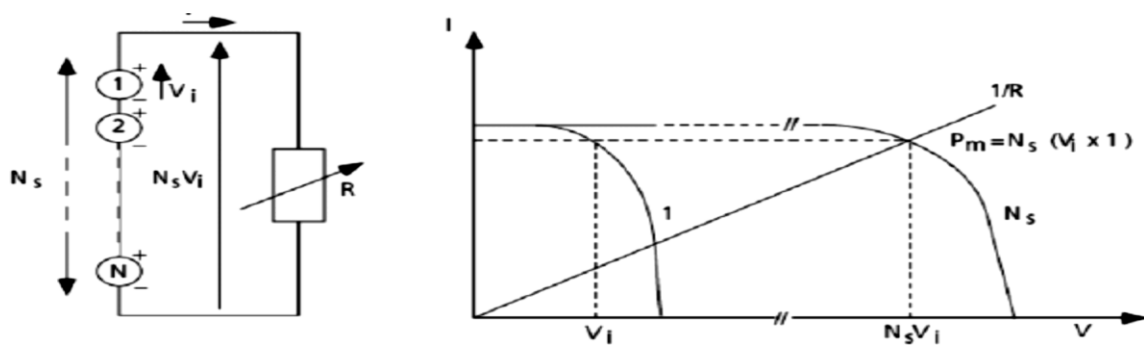


Figure (2.7) : Association de panneaux en série

2.6.3 -Association En Parallele

Une association de N_P modules en parallèle est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de modules identiques connectés en parallèle, les modules sont soumis à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants [14].

$$I_{CC-NP} = N_P \cdot I_{CC} \quad \text{avec } V_{OC-NP} = V_{OC} \quad (2.2)$$

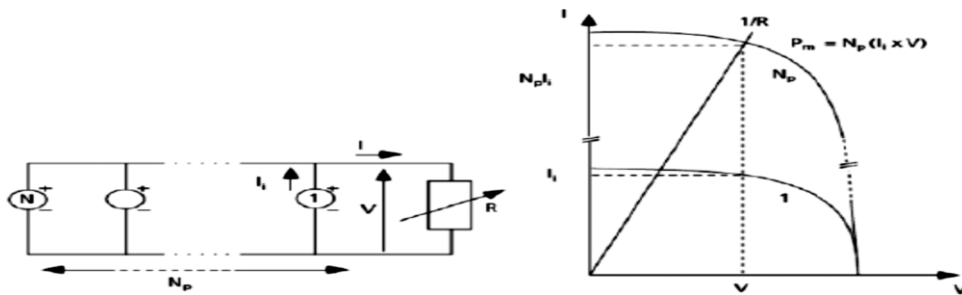


Figure (2.8) : Association en parallèle

2.7-Le module photovoltaïque

Pour obtenir une tension électrique générée qui soit utilisable, on raccorde plusieurs cellules en série qui forment alors un string. Un module est composé de plusieurs strings.

L'association des cellules en modules permet [16]:

- D'obtenir une tension suffisante
- De protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité,...)

- De protéger mécaniquement les cellules (chocs,...)

Les modules les plus courants (communément appelés panneaux) sont généralement constitués :

- D'un cadre de support et un joint d'étanchéité **(1 et 2)**.
- D'une plaque de verre extra claire (favorisant la transmission lumineuse) **(3)**.
- De deux couches d'Ethylène-Acétate de Vynile (EVA) qui enrobent les cellules assurant leur protection contre les intempéries et l'humidité. **(4)**
- Des différents strings de cellules **(5)**.
- D'une feuille de tedlar (ou éventuellement du verre) comme face arrière du module. Ce polymère à haute résistance aux UV et à la haute température assure au module sa résistance mécanique face aux chocs externes (vent, transport,...) **(6)**.

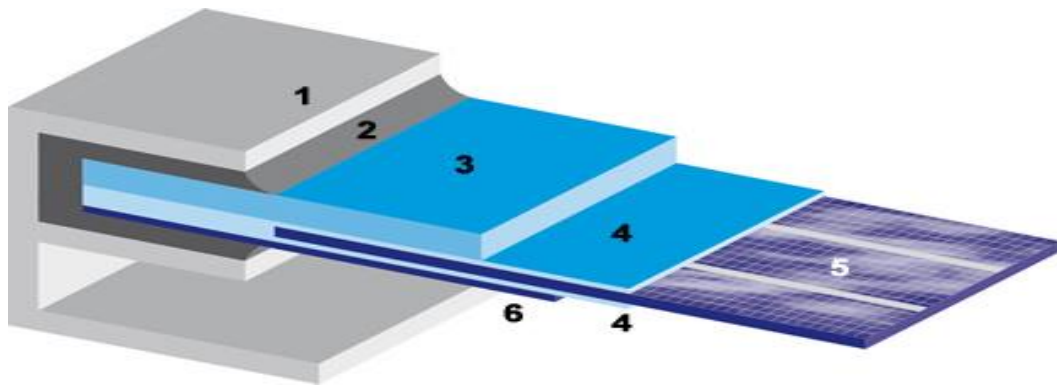
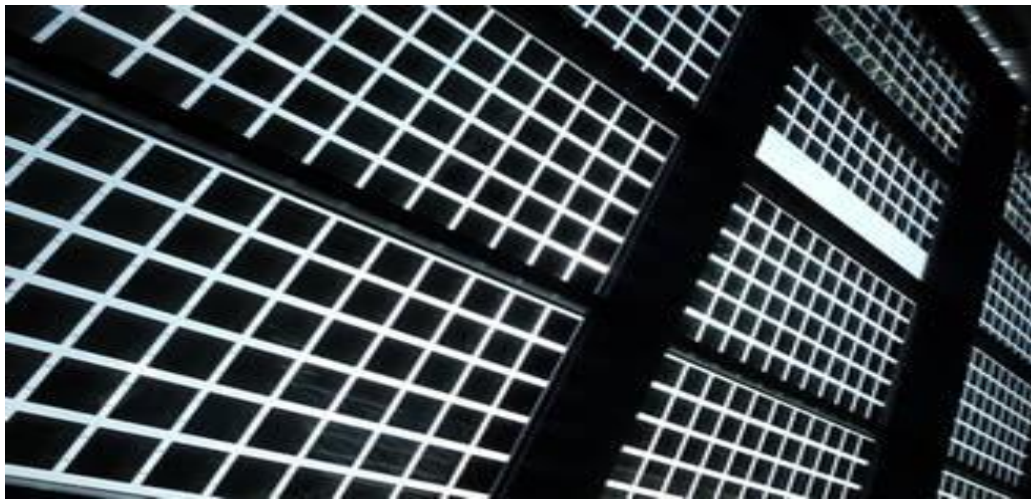


Figure (2.9) : les composantes d'un module photovoltaïque (panneau solaire)

Le type de module le plus courant, rencontré entre autres pour le montage en toiture est le module verre tedlar. Il existe cependant d'autres types de modules comme :

Les modules "verre-verre", utilisés pour leur propriété "translucide" : verrières, façade,[16]



Des modules tuiles/ardoises solaires où les cellules sont directement intégrées dans des modules de formes traditionnelles de toiture. Celles-ci sont cependant plus exigeantes en termes de main d'œuvre (chaque tuile doit être raccordée manuellement !)

D'autres modules de types "thin film" ont aussi récemment fait leur apparition sur le marché. Ils sont en général disposés sur un support souple (teflon,...).



Figure (2.10):Un module photovoltaïque souple

Les modules sont connectés entre eux (en série ou parallèle) par des fils électriques. Ils forment alors un champ de capteurs (appelés aussi générateur)[16].

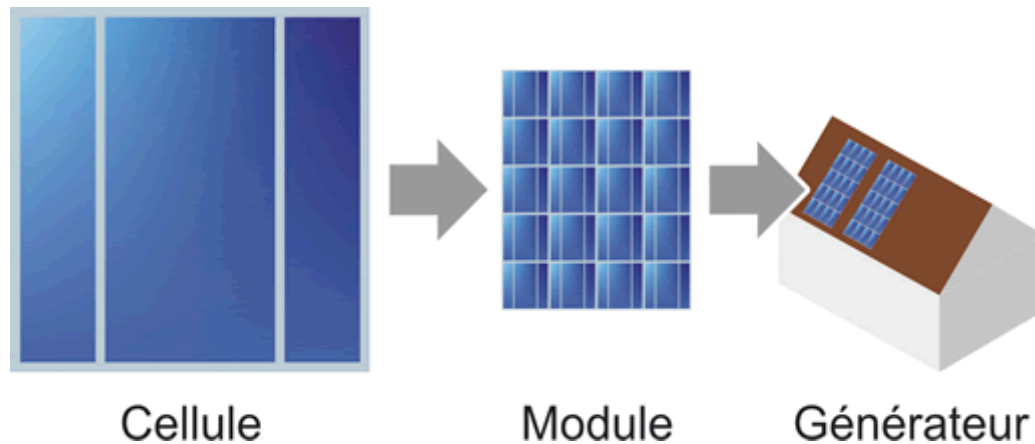


Figure (2.11): Les étapes de la formation d'une installation photovoltaïque

2.8 -Classification des systèmes photovoltaïques

2.8.1 -Les systèmes isolé ou autonome

Ce sont des systèmes qui travaillent 24 h/24 h avec l'énergie solaire convertie en énergie électrique sans l'aide d'aucune autre source électrique, et cela à l'aide de plusieurs composants mais le plus importants ce sont les batteries qui aident à emmagasiner de l'énergie électrique. Il faut mentionner que les batteries les plus utilisées dans le marché actuellement sont : Accumulateurs au plomb-acide et accumulateurs au nickel-cadmium [9].

2.8.2 -Les systèmes raccordés au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau ,c'est un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur . Ce type de système offre beaucoup de facilité pour le producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité [9].

2.8.3 -Système De Conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ photovoltaïque et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif) [14].

2.8.3. a -Convertisseur Continu–Continu

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ photovoltaïque correspondant au point de puissance maximale.

Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (Maximum Power Point Tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95 % [14].

2.8.3. b - Convertisseur Continu– Alternatif

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La forte évolution de ce type de convertisseur s'est appuyée d'une part sur le développement de composants à semi-conducteurs entièrement commandés, robustes et rapides, et, d'autre part, sur l'utilisation quasi généralisée des techniques dites de « Modulation de Largeur d'Impulsions » (MLI). Ces dernières s'appuient sur les performances en matière de fréquence de découpage des semi-conducteurs [14].

2.9 - Le rendement d'un système photovoltaïque

Comme tout système de conversion d'énergie, une installation photovoltaïque est caractérisée entre autres par son rendement. Nous allons voir ici comment exprimer ce rendement indépendamment des diverses typologies de systèmes photovoltaïques rencontrées. Le calcul du **Ratio de Performance** permet en effet de rendre compte de la qualité de fonctionnement d'une installation indépendamment de l'irradiation ou de la puissance crête des modules.

La production d'une installation photovoltaïque est donnée par l'équation suivante [16]:

$$E_{\text{élec}} = H_i \times S \times \eta \quad (2.3)$$

Avec :

- $E_{\text{élec}}$ [kWh/an] : énergie électrique produite en sortie du système sur un an
- H_i [kWh/m².an] : irradiation globale reçue dans le plan des modules sur 1m² pendant un an.
- S [m²] : surface du champ des modules photovoltaïques
- η : Rendement global du système

Le rendement global du système inclut l'ensemble des pertes provoquées par ses composants, des modules jusqu'au point d'injection du courant alternatif sur le réseau de distribution.

Il permet de caractériser la fraction de l'énergie lumineuse captée au départ que l'on retrouve sous forme électrique injectée sur le réseau. Il est donc égal au rapport entre l'énergie lumineuse (E_{lum}) reçue sur les panneaux et l'énergie électrique ($E_{\text{élec}}$) de sortie injectée sur le réseau.

2.10-Avantages et inconvénients des Systèmes photovoltaïques

2.10.1 -Avantages des Systèmes photovoltaïques

- Les installations photovoltaïques sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entretien.
- Le montage des installations photovoltaïques est simple et les installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets [7].

2.10.2 -Inconvénients des Systèmes photovoltaïques

- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 23.4 %
- Dans le cas d'une installation photovoltaïque autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an [7].

Chapitre 3

Etude d'un projet photovoltaïque par le PVSyst

3.1- Logiciel PVsyst

3.1.1-Description

Le PVsyst est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet.

Le PVsyst [1] peut être utilisé pour évaluer facilement la production énergétique, le coût du projet d'installation photovoltaïque pour trois applications de base :

- a- En réseau électrique,
- b- Hors réseau,
- c- Le pompage de l'eau.

Pour les applications en réseau, le modèle peut être utilisé pour évaluer les projets raccordés à un réseau isolé ou à un réseau central d'électricité.

Et pour les applications hors réseau, le modèle peut être utilisé pour évaluer les systèmes autonomes (PV-batteries) et hybrides (PV-batteries-groupe électrogène). Pour les applications de pompage de l'eau, le modèle peut être utilisé pour évaluer des projets PV-système de pompage.

A. Désignation du projet dans PVSYST

Pour un projet donné, on peut construire plusieurs variations de notre système :

- Orientation
- Système
- Pertes
- Simulation
- Résultats
- Analyse des coûts.

B. Dimensionnement du système

La conception de système est basée sur une procédure rapide et simple :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible ;
- Choisir les modules PV dans la base de données interne ;
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne.

et PVsyst propose une configuration de système, qui permet de réaliser une première évaluation.

C. Principaux Résultats

1. La production d'énergie totale est essentielle pour évaluer la rentabilité du système PV.
2. L'indice de performance décrit la qualité du système lui-même.
3. L'énergie spécifique est un indicateur de la productivité du système, selon l'irradiation disponible (localisation et orientation).
4. Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

3.2-Application 1:Evaluation du rayonnement solaire

3.2.1- Coordonnées géographiques

On utilise spécifiquement la fenêtre de sites géographiques dans le PVsyst, et à l'aide des coordonnées géographiques, nous choisissons des sites dans diverses régions algériens. Le tableau (3.1) représente les coordonnées géographiques de ces sites.

Station	Latitude (deg)(N)	Longitude (deg)	Altitude (m)
Oran	35.38	0.37W	99
Djelfa	34.68	3.25 ^E	1126
Ain Bessem	36.31	3.67 ^E	629
Tamanrasset	22.47	5.31 ^E	1378
Alger	36,43	2.83 ^E	450
Constantine	36.17	6.37 ^E	687
Mascara	35,26	0.06 ^E	518
Adrar	27,53	0,16W	275
Chlef	36,09	1, 20 ^E	133
Laghouat	33,47	2,52 ^E	750
Oum Bouaghi	35,52	7,06 ^E	902
Batna	35,33	6,10 ^E	1048
Bejaia	36,45	5,04 ^E	0
Biskra	34,51	5,43 ^E	213

Bechar	31,37	2,13W	747
Blida	36,28	2,49 ^E	274
Bouira	36,22	3,54 ^E	557
Tebessa	35,24	8,07	851
Tlemcen	34,52	1,18W	1032
Tiaret	35,22	1,18 ^E	994
Tizi Ouzou	36,43	4,02 ^E	182
Jijel	36,47	5,46 ^E	47
Setif	36,11	5,24 ^E	1080
Saida	34,49	0,09 ^E	868
Skikda	36,51	6,56 ^E	25
Sidi Belabbes	35,11	0,38W	483
Annaba	36,53	7,46 ^E	0
Guelma	36,27	7,26 ^E	256
Médéa	36,16	2,45 ^E	880
Mostaganem	35,55	0,05 ^E	97
M'sila	35,43	4,31 ^E	475
Ouargla	31,56	5,19 ^E	150
El Bayadh	33,41	1,00 ^E	1304
Illizi	26,28	8,28 ^E	597
Bordj B Arreridj	36,04	4,46 ^E	900
Boumerdes	36,46	3,28 ^E	41
Taref	36,46	8,19 ^E	14
Tindouf	27,40	8,08W	386

Tissemsilt	35,36	1,48 ^E	849
El Oued	33,19	6,52 ^E	67
Khenchela	35,26	7,08 ^E	1152
Souk Ahras	36,16	7,56 ^E	686
Tipaza	36,34	2,27 ^E	69
Mila	36,27	6,15 ^E	486
Ain Defla	36,04	4,32 ^E	1164
Naama	33,16	0,19 ^W	1176
Ain Temouchent	35,18	1,08 ^W	248
Ghardaia	32,28	3,40 ^E	572
Relizane	35,44	0,33 ^E	98
Bou-Saadâ	35,20	4.12 ^E	461
Ain El Melh	34.8	4.167 ^E	989

Tableau (3.1): Coordonnées géographiques de ces sites

3.2.2- Analyse des résultats

Avec l'utilisation de logiciel PV_{sys}, nous avons choisi cinq sites dans chaque régions (Nord, Sud, milieu, Est et Ouest), et nous les présentons dans les courbes suivantes:

3.2.2.1- Régions du Sud

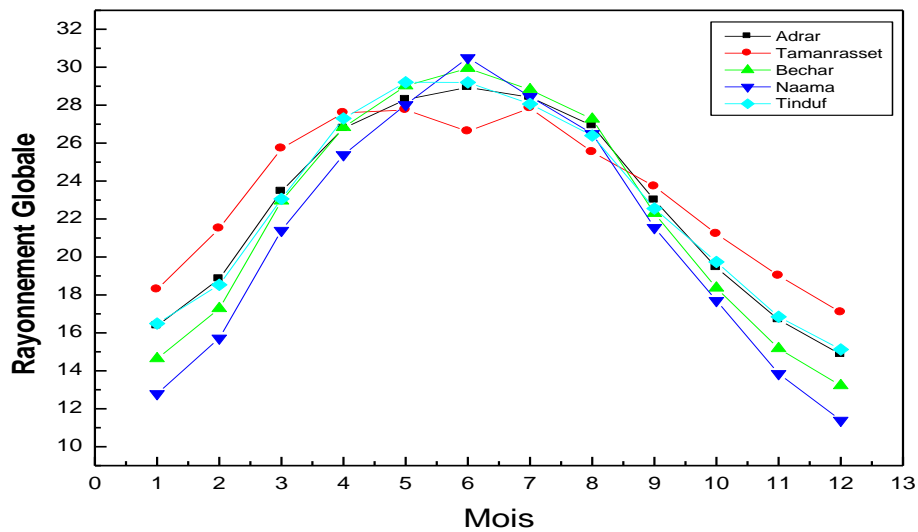


Figure (3.1): Rayonnement solaire globale des régions du Sud de l'Algérie

Nous pouvons observer que le site de Tamanrasset a la valeur maximale du rayonnement globale malgré le déséquilibre existant dans les trois mois (Mai, Juin, Juillet).

3.2.2.2- Régions de l'Est

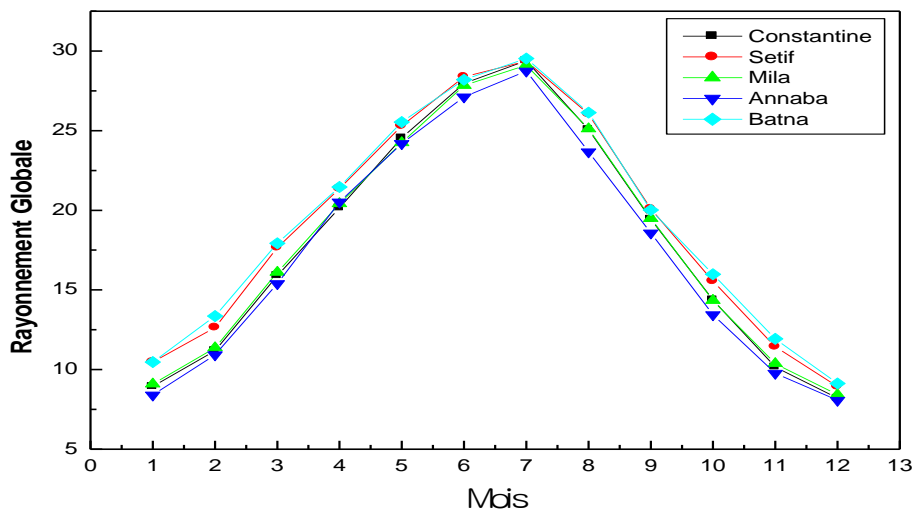


Figure (3.2) : Rayonnement solaire globale des régions de l'Est de l'Algérie

Selon l'observation et la comparaison entre les zones de l'Est à travers la valeur du rayonnement globale, il s'avère que la zone de Batna a la valeur maximale.

3.2.2.3- Régions du Nord

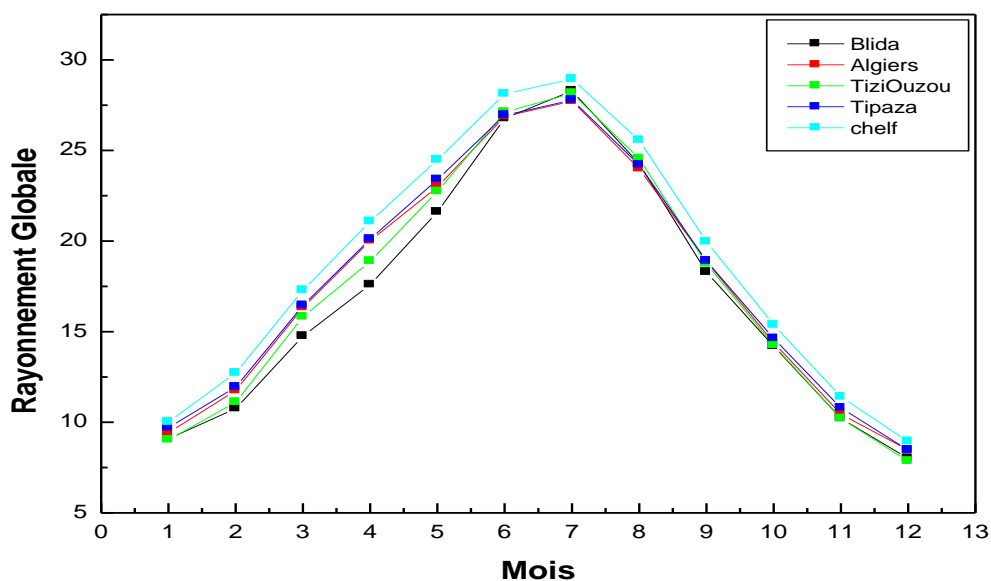


Figure (3.3) : Rayonnement solaire globale des régions du Nord de l'Algérie

La figure (3.3), montre que la valeur maximale est obtenue à Chalef dans les sites de Nord.

3.3.2.4- Régions de l'Ouest

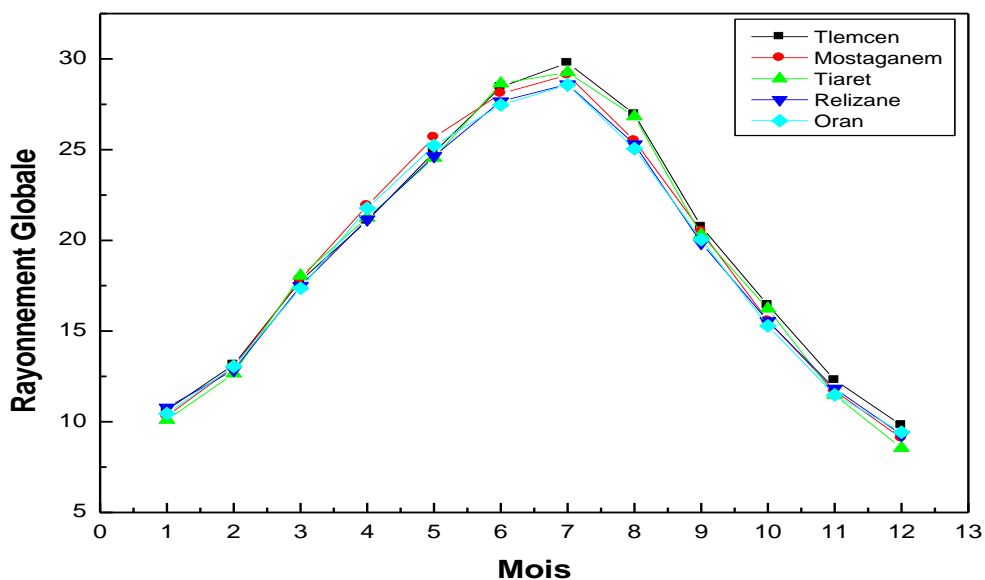


Figure (3.4) : Rayonnement solaire globale des régions de l'Ouest de l'Algérie

3.2.2.5- Régions du milieu

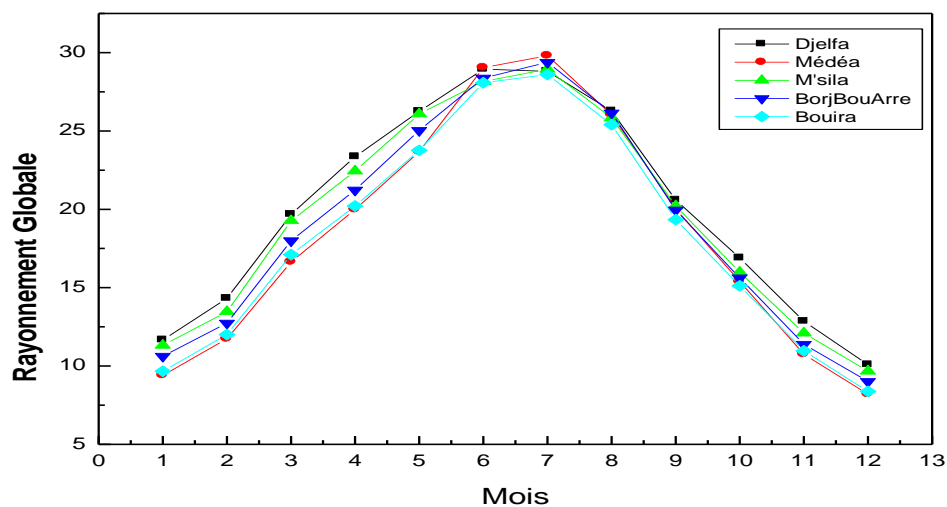


Figure (3.5) : Rayonnement solaire globale des régions de milieux de l'Algérie

Après avoir comparé les valeurs de rayonnement global de zone et du milieu, il est clair que le site de Tlemcen et Djelfa a la plus grande valeur respectivement.

Cependant les meilleurs résultats (la plus grande part de l'énergie solaire en Algérie) pour les différentes régions sont obtenus pour le site de Tamanrasset. La valeur maximale de l'irradiation solaire globale estimée est obtenue aux mois de Juin et Juillet pour les différents sites comme c'est indiqué sur la figure (3.6).

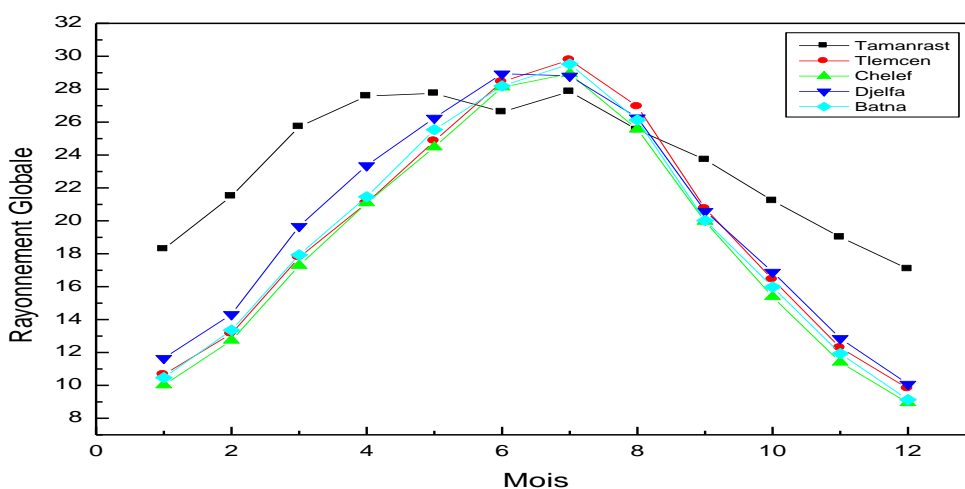


Figure (3.6) : Meilleures valeurs du rayonnement solaire global du territoire national

Dans un cas particulier, nous avons mené une étude autour le site de M'sila où plus de zones sont disponibles sur l'énergie solaire et le résultat représente dans la figure (3.7).

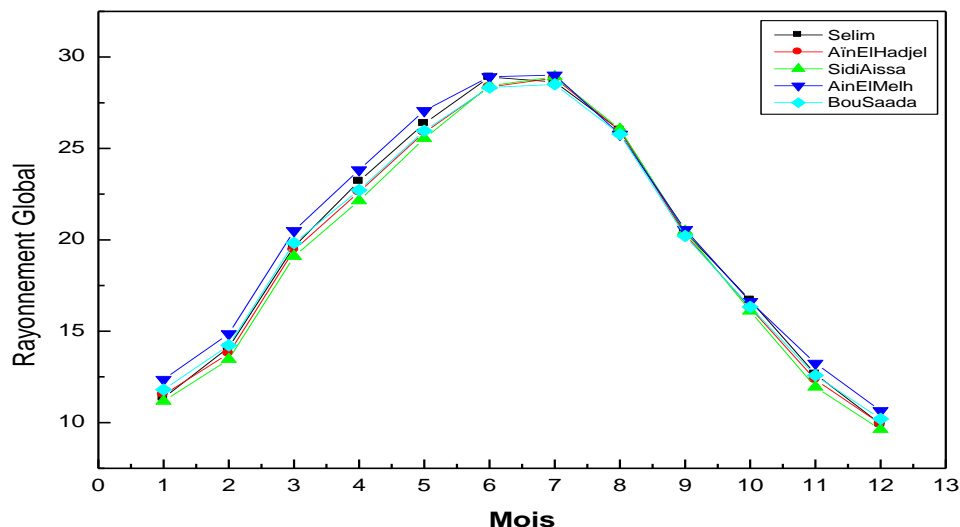


Figure 3.7 : Rayonnement solaire globale des sites de M'sila

Il est clair que le site d'Ain El Melh reçoit une grande énergie solaire par rapport à d'autres sites.

3.3-Application 2: Production d'énergie

3.3.1 -Site choisie

Pour faire cette étude, nous avons choisis la région de Aïn El Melh a la wilaya de M'Sila.

Les coordonnées géographiques de ce site sont présentées sur le Tableau3.2.

Région	Latitude (deg) (N)	Altitude (m)	Longitude (deg)
Aïn El Melh	35.38	99	0.37 W

Tableau (3.2): Coordonnées géographiques de Aïn El Melh

3.3.2- Besoins énergétiques

Nous présentons sur le tableau (3.3) l'estimation moyenne des besoins énergétiques journaliers en Wh/j pour une maison type de notre région.

Equipements	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie (Wh/jour)
Lamps (LED or fluo)	10	10W	5h/jour	500
TV / PC / Mobile	2	100W	5h/jour	1000
Domestic appliances	1	500W	4h/jour	2000
Fridge / Deep-freeze	1	100W	24h/jour	799
Dish				2000
Ventilation	1	1000W	3h/jour	3000
Total			9443	

Tableau (3.3) : Besoins énergétiques journaliers en Wh/j

3.3.3- Production d'énergie

La figure (3.8) montre les résultats obtenus en utilisant le logiciel PVsyst pour la région d'Aïn El- Melh, en utilisant Manufacturier de modules (Modèle BP 220 SRU, Fabricant BP Solar) avec un taux d'efficacité du système PV égalé 9.46%.

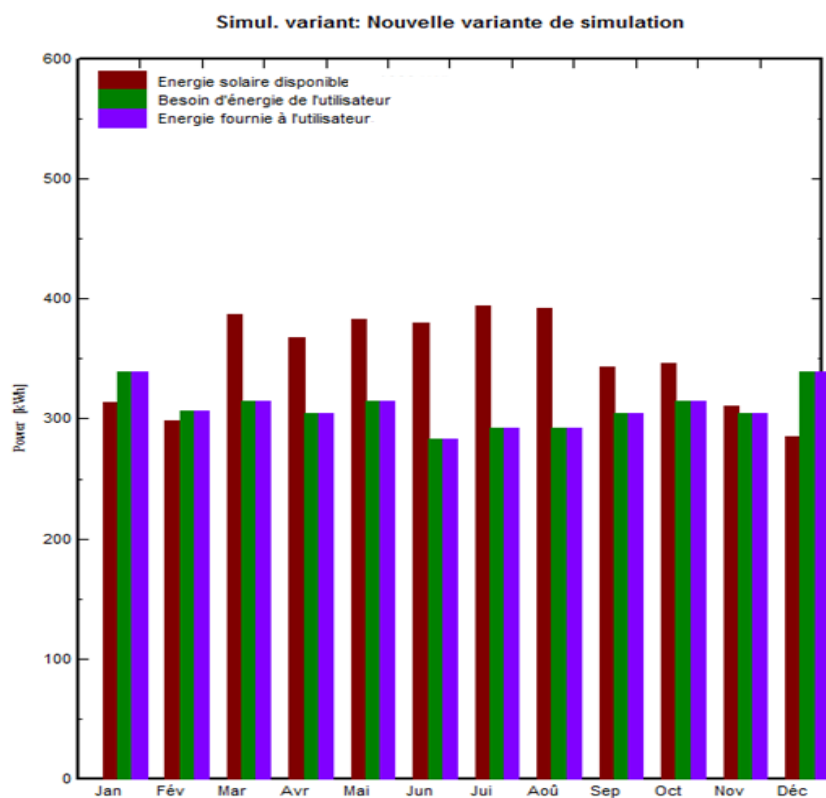


Figure 3.8 : Production d'énergie moyenne annuelle en utilisant les deux modèles

Le plus important du résultat pour nous est la valeur annuelle de l'énergie fournie qui est égale 400kwh, était produite par le module Si-mono.

Conclusion

Conclusion

L'utilisation de l'énergie solaire dans les sites isolés ou reliés au réseau pour la production d'énergie présente un intérêt très important.

Notre travail se base sur l'exploitation de l'énergie solaire pour produire l'électricité solaire. A cet effet nous avons détaillé une étude sur le gisement solaire en Algérie qui fait apparaître un potentiel considérable. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 KWh sur la quasi-totalité du territoire national, quand la durée d'insolation dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et la zone Saharienne.

Nous avons présenté dans les recherches bibliographiques les notions fondamentales concernant l'effet photovoltaïque et les méthodes de fabrication des cellules solaires.

Les performances des systèmes photovoltaïques sont fortement affectées par les paramètres climatologiques (Rayonnement solaire et Température) et par le type de cellule solaire.

Nous avons utilisé le logiciel de simulation « PVsyst » pour l'évaluation de rayonnement solaire global en en Algérie et les meilleurs résultats pour les différentes régions sont obtenus pour le site de Tamanrasset. La valeur maximale de l'irradiation solaire globale estimée est obtenue aux mois de Juin et Juillet pour les différents sites.

Les besoins énergétiques journaliers d'un logement type occupé par une famille constituée de 5 personés de la ville d'Ain El Melah est égale 9443 kw/j.

L'estimation par le logiciel PVsyst de la puissance annuelle de l'énergie fournie pour la région d'Ain El Melah est égale 400 kwh, était produite par le module Si-mono, avec un taux d'efficacité du système PV égalé 9.46%.

Bibliographies

- [1] k. Amara, « Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension». Mémoire Magister, Université Mouloud Mammeri de TIZI-OUZOU (2015).
- [2] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-solaire>, consulté le 15/4/2018.
- [3] <http://clea-astro.eu/lunap/Soleil> , Dernière modification (2015).
- [4] J. Graf, « Centrales photovoltaïques », guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets, à l'usage des bureaux d'ingénieurs (1996).
- [5] M. Salmi, «Contribution à La Quantification De L'irradiation Solaire Globale En Algérie Et Applications Aux Générateurs Photovoltaïques», Thèse de doctorat en Sciences, Université Ferhat Abbas de Sétif (2012).
- [6] Z. Benjellouli « Contribution à la modélisation d'une cellule solaire » mémoire de magistère université de Bechar (2009).
- [7] N. Debili «Etude et optimisation en environnement Matlab/ Simulink d'un système de pompage photovoltaïque ». Mémoire de Magister, Université de Constantine (2015).
- [8] M. Belhadj Mohammed « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque autonome Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Bechar (2008).
- [9] M. El-Metwally, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 67, 1331 (2005).
- [10] Edition Masson « Les piles solaires, le composant et ces applications ».(1985)
- [11] A. Borni « modélisation et commande des machines électrique ». Thèse de magister université de Constantine (2009).
- [12] B. Chaouki, B.Tarek « Optimisation floue neuronale et génétique d'un système photovoltaïque connecté au réseau», Mémoire ingénieurs. Université de Biskra (2007).
- [13] Etude du développement de l'énergie solaire en Rhone-ALpes, Présentation de la filière photovoltaïque, Présentation de la filière solaire thermique, Cartographie de l'ensoleillement, Bilan des installations à fin 2009.
- [14] M. Mustapha Belarbi, «Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome» Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université de Sciences et Technologie D'Oran (2015). .
- [15] M. BELARBI, Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaïque. (Mémoire de Magister), Université des Sciences et Technologie d'Oran.
- [16] <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16682>

Résumé

Ce travail est une contribution à l'évaluation de rayonnement solaire global en Algérie et l'étude d'un projet photovoltaïque dans une région type, on a utilisé le logiciel PVsyst.

Nous avons fait une étude détaillée de l'évaluation de rayonnement solaire en Algérie en général par logiciel de PVsyst et nous avons consacré l'étude à la région d'Ain El-Malh, qui est la plus grande zone d'économie d'énergie solaire dans le site de M'sila.

Les besoins énergétiques journaliers d'un logement type occupé par une famille constituée de 5 personnes de la ville d'Ain El Melah est égale 9443 kw/j.

L'estimation par le logiciel PVsyst de la puissance annuelle de l'énergie fournie pour la région d'Ain El Melah est égale 400kwh, était produite par le module Si-mono, avec un taux d'efficacité du système PV égalé 9.46%.

Abstract

This work is a contribution to the evaluation of global solar radiation in Algeria and the study of a photovoltaic project in a typical region, using PVsyst software.

We have done a detailed study of the solar radiation assessment in Algeria in general by PVsyst software and we have dedicated the study to the Ain El-Malh region, which is the largest energy saving area solar in the M'sila site.

The daily energy requirements of a typical dwelling occupied by a family of 5 persons from the city of Ain El Melah equals 9443 kw /d.

The PVsyst software estimate of the annual energy power supplied for the Ain El Melah region is equal to 400kwh, was produced by the Si-mono module, with a PV system efficiency ratio equaled 9.46%.

ملخص

يعتبر هذا العمل مساهمة في تقييم الاشعاع الشمسي الشامل في الجزائر ودراسة مشروع كهروضوئي في منطقة نموذجية باستخدام برنامج PVsyst .

قمنا بدراسة مفصلة لتقييم الاشعاع الشمسي في الجزائر بشكل عام بواسطة برنامج PVsyst خصصنا الدراسة على منطقة عين الملح التي تعد اكبر منطقة توفرا للطاقة الشمسية في ولاية المسيلة و تحصلنا على نتيجة ان متطلبات الطاقة المستعملة اليومية لمسكن نموذجي لعائلة مكونة من 5 افراد من مدينة عين الملح تساوي 9443 كيلووات/يوم. وتم تقدير الطاقة المنتجة سنويا بواسطة برنامج PVsyst بقيمة 400 كيلو وات ساعي والتي انتجت بواسطة خلايا مصنوعة بواسطة سيلينيوم أحادي البلورة (Si-mono)، مع كفاءة للنظام الكهروضوئي تساوي 9.46%.