

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° :PhENR 04/2019



DOMAINE : *Sciences de la matière*

FILIERE : Physique
OPTION : Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Réalisé par:

BAKOUR Ala eddine

GUEDDOUDJ Badreddine

Intitulé

**Conception d'un prototype d' arbre solaire au sein
du pôle universitaire de M'sila**

Soutenu le 01 /07 /2019 devant le jury composé de:

NAHOUI Azzedine

SALMI Mohamed

FRIDJA Djamal

HADDAD Zakaria

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Président

Rapporteur

Co-rapporteur

Examineur

Année universitaire : 2018/2019

DÉDICACE

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

À MES TRÈS CHERS PARENTS

À MES TRÈS CHÈRES FRÈRES ET SOEURS

À TOUTE MA FAMILLE

À TOUS MES AMIS ET COLLÈGUES

À TOUS CEUX QUI ONT SACRIFIÉ LEUR TEMPS POUR LA SCIENCE

ET À TOUS CEUX QUI UTILISENT LA SCIENCE POUR LE BIEN

ET LA PROSPÉRITÉ DE L'HUMANITÉ.

ALA EDDINE BAKOUR.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE TRAVAIL:

*À MA MÈRE ET MON PÈRE QUI ME SONT
LES PLUS CHERS AU MONDE*

À MES FRÈRES ET SŒURS, À MA FAMILLE

À TOUS MES AMIS ET COLLÈGUES

*À TOUS MES ENSEIGNANTS QUI M'ONT ÉCLAIRÉ SUR CE CHEMIN DU
SAVOIR.*

*À TOUS CEUX QUI M'ONT AIDÉ À FINIR CE
MÉMOIRE.*

BADREDDINE GUEDDOUDJ.

Remerciements

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu de nos avoir Donné la force et le courage.

A la suite Nous tenons à remercier vivement Mr. S.MOHAMED et MR. DJ.FRIDJA notre promoteur qui a fourni des efforts énormes, par ses Informations ses conseils et ses encouragements.

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

Nos vifs remerciements aussi à Mr.A.NAHOUJ, Mr.Z.HADDAD, et Tous deux

maîtres assistants à l'université De m'sila, pour avoir accepté d'être examinateurs de ce travail.

Et tous les professeurs de département de Physique, en plus des membres de la fondation HODNA SOLAIRE.

A tous ce qui furent à un moment ou à toute instante partie prenante de ce travail.

Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près et de loin ont contribué à la réalisation de cette mémoire

RESUME

Cette recherche est consacrée à l'exploitation de l'énergie solaire à travers prototype d'un arbre solaire proposée.

Ce model constitue à remplacer les feuilles de l'arbre par des cellules solaires ; en commençant par l'étude du gisement solaire et les phénomènes physiques liés à celui-ci. La description des cellules photovoltaïques vienne par la suite. Enfin un dimensionnement du ce système solaire et son étude expérimentale sont réalisés pratiquement au pôle universitaire de M'sila.

ملخص :

هذا البحث جاء لاستغلال الطاقة الشمسية عبر نموذج تطبيقي مقترح لشجرة لطاقة شمسية . هذا النظام يتم فيه استبدال اوراق الشجرة بخلايا كهروضوئية حيث تم دراسته تدفق الطاقة الشمسية ومايرتبط بها من ضواهر فيزيائية ثم وصف الخلايا الكهروضوئية. واخيرا كان تحديد الابعاد لهذا النظام والدراسة التجريبية لينجز عمليا في القطب الجامعي بالمسيلة.

Abstract :

This research is based on the exploitation of solar energy using solar tree's prototype suggestion.

This model is focused to replace leaf of a tree by the solar cell, starting by studying the solar gisement and phisycal phenomenon related with it. the description of cells photovoltaic comes after, Finally the dimension of the solar system and the experimental studies are virtually relised in the university of M'sila.

Table des matières

Liste des figures	I
Listes des tableaux	II
Introduction	III

Chapitre 01

Le gisement solaire

1.1- DEFINITIONS	3
1.1.1- GISEMENT SOLAIRE	3
1.1.2- LE SOLEIL	3
1.1.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU SOLEIL	4
1.1.4. STRUCTURE DU SOLEIL	4
1.2- ORIGINE DE L'ENERGIE SOLAIRE	6
1.3. POSITION DU SOLEIL	7
1.4. RAYONNEMENT SOLAIRE	8
1.4.1. LE RAYONNEMENT DIRECT	8
1.4.2. LE RAYONNEMENT DIFFUS	9
1.4.3. LE RAYONNEMENT REFLECHI	9
1.4.4. LE RAYONNEMENT GLOBAL	9
1.5. SPECTRE DU RAYONNEMENT	9
1.6- DUREE D'INSOLATION	10
1.7- GISEMENT SOLAIRE DANS LE MONDE	11
1.7.1 GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE	11
1.8. TYPE DE L'ENERGIE SOLAIRE	12
1.8.1. SOLAIRE THERMIQUE	13
1.8. 2. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	13
1.9. POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE	14
1.9.1 POTENTIEL DE L'ENERGIE SOLAIRE AU MONDE	14
1.9.2POTENTIEL SOLAIRE EN ALGERIE	14
1.9.3-EXPLOITATION L'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE	15

Chapitre II

Technologie Photovoltaïque

2.1- CELLULES PHOTOVOLTAÏQUE	18
2.1.1- DEFINITION	18
2.1.2 - SEMI-CONDUCTEUR	18
2.1.3-HISTORIQUE LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	20
2.2- FABRICATION DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES	21

2.2.1 LA SILICE (MATIERE PREMIERE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE) -----	21
2.2.2 EXTRACTION ET PURIFICATION DU SILICIUM-----	21
2.2.3 OBTENTION DES LINGOTS DE SILICIUM -----	22
2.2.4. OBTENTION DES WAFERS PHOTOVOLTAÏQUES -----	23
2.2.5 DOPAGE DU SILICIUM -----	23
2.2.5.1 Dopage de type N -----	23
2.2.5.2 Dopage de type P -----	24
2.3. GENERATIONS DU PHOTOVOLTAÏQUE -----	24
2.3.1. 1 ^{ERE} GENERATION -----	24
2.3.2. 2 ^{EME} GENERATION -----	26
2.3.3. 3 ^{EME} GENERATION -----	26
2.4-MONTAGE DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES-----	27
2.4.1. BRANCHEMENT EN SERIES -----	27
2.4.2. BRANCHEMENT EN PARALLELES-----	28
2.5.L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE-----	29
2.6. MODULES PHOTOVOLTAÏQUES-----	30
2.6.1 MONTAGES DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES-----	31
2.6.1.1.Montage en série -----	31
2.6.1.2.Montage en parallèle -----	32
2.6.1 .3. Association de modules solaires mixte série /parallèle -----	32
2.7-LES CARACTERISTIQUES DU PANNEAU SOLAIRES-----	33
2.8.RENDEMENT DE CONVERSION DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUE-----	33

Chapitre III

Dimensionnement et réalisation de l'arbre solaire

3.1.DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE -----	35
3.1.1. CONSTITUTIONS D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE-----	35
3.1.2. PANNEAU SOLAIRE -----	35
3.1.3. REGULATEUR -----	36
3.1.4. BATTERIE-----	37
3.1.5. L'ONDULEUR « INVERTER » -----	38
3.2.ETUDE EXPERIMENTALE-----	39
3.2.1. REGION DE M'SILA -----	39
3.2.2. LE CLIMAT-----	40
3.2.3. ORIENTATION DU CHAMP PV -----	40
3.2.4. L'ANGLE D'INCLINAISON -----	40
3.3. DETERMINATION DU GISEMENT SOLAIRE-----	41
3.4. REALISATION DE L'ARBRE SOLAIRE -----	41
3.4.1. CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES-----	42
3.4.2. BARRES DE FER -----	42
3.4.3. BRANCHEMENT LES CELLULES-----	43
3.4.4. CABLAGE ELECTRIQUE-----	43
3.4.5.REGULATEUR -----	44
3.4.6. BATTERIE-----	44

3.5. RESULTAT EXPERIMENTAL -----	44
3.5.1. L'INCLINAISON -----	44
3.5.2. BRANCHEMENT DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES-----	45
3.5.3. PUISSANCE ELECTRIQUE -----	45
CONCLUSION -----	49

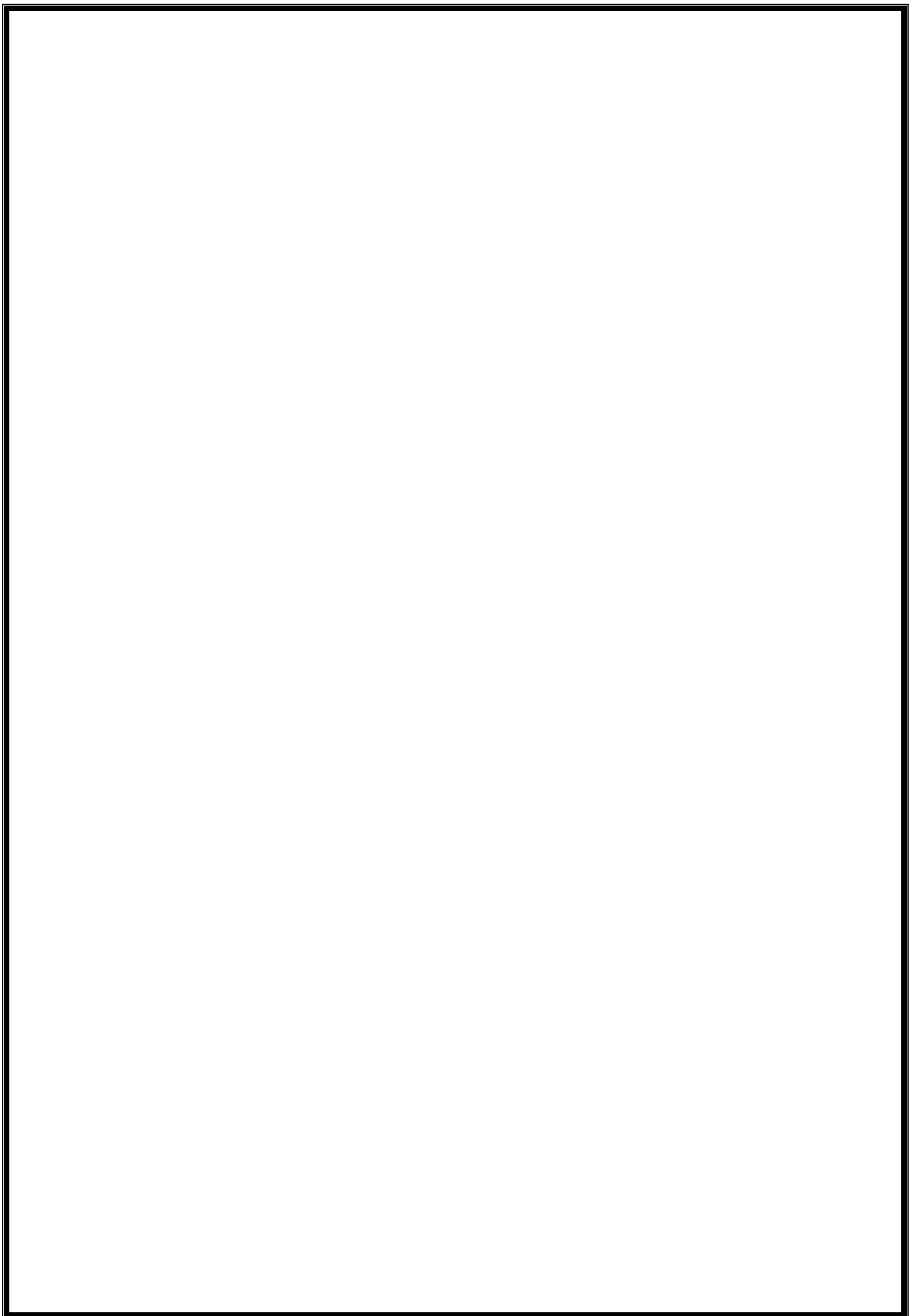
Liste des figures

Liste des figures	Page
Figure. 1.1- Coupe schématique du Soleil	4
Figure . 1.2- Structure du soleil	5
Figure . 1.3- Diagramme de cycle du carbone	7
Figure .1.4- Position du soleil observée d'après l'origine O	8
Figure . 1.5- Composants du rayonnement solaire	9
Figure . 1.6- Spectre solaire hors atmosphère	10
Figure. 1.7- Ensoleillement moyen annuel dans le monde	11
Figure. 1.8- Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en algérie	12
Figure. 1.9- Type d'énergie solaire	13
Figure.2.1- Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque	18
Figure. 2.2- Trois grandes familles des matériaux	20
Figure. 2.3 - les trois chercheurs américains	21
Figure .2.4- Extraction du silicium à partir de la silice	22
Figure.2.5- Lingot de silicium	22
Figure .2.6- Obtention des wafers photovoltaïques	23
Figure.2.7- Dopage de type N	24
Figure .2.8- Dopage de type P	24
Figure.2.9- photo de cellule poly cristallin	25
Figure.2.10- photos d'une cellule monocristalline	25
Figure .2.11- Caractéristique courant tension de N_s cellule en série	28
Figure.2.12- Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle	29
Figure. 2.13- l'effet photovoltaïque	29
Figure.2.14- Schéma d'une cellule photovoltaïque	30
Figure .2.15- Module photovoltaïque	31
Figure .2.16- Caractéristiques I(V) de modules en série	31

Figure.2.17- Caractéristiques I(V) de modules en parallèle	32
Figure.2.18- Caractéristiques I(V) Association de modules mixte.	32
Figure . 3.1- Principe de fonctionnement d'un système PV autonome	35
Figure . 3.2- Caractéristiques des panneaux	35
Figure . 3.3- Raccordements des batteries en série	37
Figure . 3.4- Raccordement des batteries parallèle	38
Figure . 3.5- Orientation du champ PV	40
Figure . 3.6- Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques	40
Figure . 3.7- Crte géographique de la region de M'sila	41
Figure . 3.8- Cellules photovoltaïque	42
Figure. 3.9- 1 ^{er} étape concernat la coupure et la cédure de support métallique	42
Figure. 3.10- 2 ^{ème} étape fixation les feuilles	43
Figure . 3.11- Régulateur choisie	43
Figure . 3.12- Batterie adaptée	45
Figure. 3.13- Mesure électrique de l'arbre et des panneaux fixés	46
Figure. 3.14- Courant en fonction de la tension	46
Figure . 3.15 - Variation de la puissance production avec le temps	47

Liste des tableaux

Liste des tableaux	Page
Tableau 1.1- Caractéristiques principales du soleil	4
Tableau 1.2- Potentiel solaire	14
Tableau.2.1- Cellules solaires de : 1 ^{ère} génération	25
Tableau.2.2- Exemples de cellules solaires de: 2- ^{ème} génération	26
Tableau.2.3- Exemples de cellules solaires de : 3 ^{ème} génération	27
Tableau . 3.1 - Caractéristiques des panneaux	36
Tableau . 3.2 -Irradiation moyenne mensuelle de M'sila	41
Tableau . 3.3 -l'intensité en fonction de l'inclinaison	45
Tableau . 3.4- résultat de l'intensité et la tension	45



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction

Dans un monde qui tend vers l'exploitation des ressources d'énergie renouvelable, tout en pensant pratiquement et progressivement la consommation d'énergie fossile à cause de ses multiples inconvénients.

L'Algérie est fortement appelée à être à jours grâce à son potentiel naturel dans ce domaine. L'énergie renouvelable par ses avantages connus tel que sa propreté, son cout faible de son exploitation pour une durée de vie (25ans) dans la production de l'électricité, en plus elle aide à éviter les gaz à effet de serre et la pollution ... et le grand avantage c'est qu'elle est inépuisable.

Parmi ses énergies renouvelables, l'énergie solaire où l'Algérie a lui donné déjà depuis des années une grande importance. Mais sa productivité dépend de la surface occupée par les panneaux solaires, donc notre problème de recherche est comment arriver à un taux de rendement élevé dans un espace très limité ? Pour répondre à cette problématique, on pourrait proposer un arbre solaire ou photovoltaïque.

La réalisation de ce sujet arrive dans le cadre des travaux de recherches qui sont fait par l'équipe des énergies renouvelables, quisont : des doctorants et des mastérants, dirigée par Dr. SALMI.

Dans ce mémoire nous allons réaliser un petit arbre solaire artificiel, qui imitera l'aspect d'un arbre dont les feuilles sont remplacées par des cellules photovoltaïques.

Ce travail est traité dans trois chapitres :Le premier chapitre est consacré à le gisement solaire et les phénomènes physiques qui y sont liés.

Dans le deuxième chapitre, une étude descriptive générale des cellules photovoltaïques est présentée, leurs types, leurs compositions et l'effet photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre, nous présentons un dimensionnement des systèmes photovoltaïques, la réalisation de notre arbre solaire et son étude expérimentale.

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

Chapitre 1
Le gisement solaire

1.1- Définitions

1.1.1- Gisement solaire

Le 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 [1]. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique.

1.1.2- Le soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 nm à nous atteindre.

Elle est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 15000 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que ne consomme l'humanité en une année [2]. L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg (Fig.1.1). Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} w. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ W. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques : 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation -précipitation de l'atmosphère [3].

Sur le plan humain cette étoile a une importance primordiale puisque sans elle la vie n'existerait pas sur terre. C'est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène, ses caractéristiques physiques principales sont données dans le tableau (1.1) [4]. L'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 tonnes d'hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie

($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} kW.

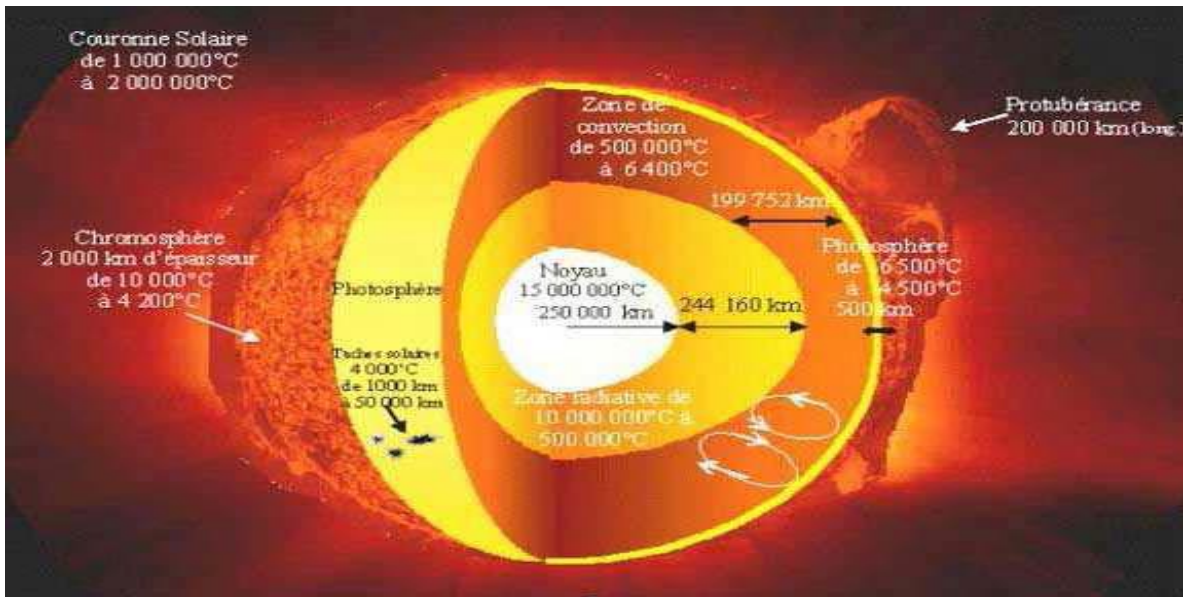


Figure . 1.1- : Coupe schématique du Soleil

1.1.3. Caractéristiques principales du soleil

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci dessous [1]

Caractéristique	Valeur
Masse	$1.989 \cdot 10^{30}$ Kg
Diamètre	$1.392 \cdot 10^9$ m
Masse volumique moyenne	1410 Kg/m^3
Puissance rayonnée	$3.83 \cdot 10^{26}$ W
Température superficielle	5770 °K
Vitesse de déplacement	216 Km s^{-1}

Tableau 1.1- : Caractéristiques principales du soleil

1.1.4. Structure du soleil

Le Soleil, peut être découpé en plusieurs couches concentriques, sa structure est schématisée dans la figure 1.2. On distingue quatre zones particulières ; le noyau, la photosphère, la chromosphère et la couronne.

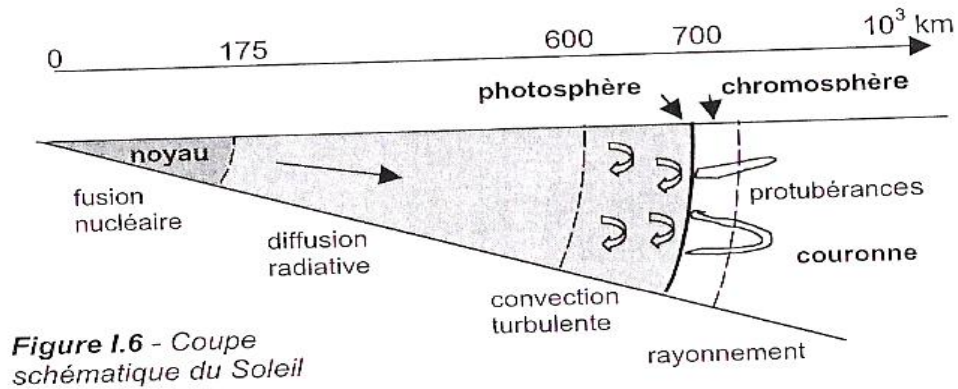


Figure 1.6 - Coupe schématique du Soleil

Figure .1.2- : Structure du soleil

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales (fig.1.2) [1]:

a/ L'intérieur, contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire, cette région s'étend sur une épaisseur de 25×10^4

b/ La photosphère est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 300 km elle est responsable de la presque totalité du rayonnement qui nous parvient, c'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température n'y est plus que de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500 km. Cette couche est divisée en trois zones, le noyau, la zone radiative et la zone convective. Le rayonnement émis dans cette partie est totalement absorbé par les couches supérieures. La température atteint plusieurs millions de degrés, et la pression un milliard d'atmosphères.

c/ La chromosphère et la couronne solaire, sont des régions à faible densité où la matière est très diluée, elles constituent l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y est très élevée (un million de degrés) [5].

Les réactions nucléaires de fusion se produisent dans le noyau du soleil, en libérant ainsi une énergie très considérable. Les réactions sont assurées grâce aux caractéristiques importantes du noyau : sa densité très élevée ($\cong 10 \text{ Kg/m}^3$), sa température énorme de 15 millions de degrés Celsius ainsi que sa pression de 2.10^{11} bars. La densité diminuant avec l'éloignement à un quart du rayon solaire, soit 175.00km environ.

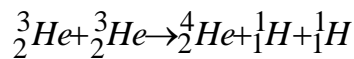
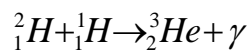
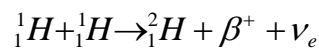
L'énergie produite se propage par diffusion radiative puis par convection turbulente jusqu'à la photosphère d'où elle s'échappe sous forme de rayonnement électromagnétique vers l'espace.

1.2- Origine de l'énergie solaire

L'énergie solaire provient de la fusion d'hydrogène en hélium au sein du noyau de notre étoile. Deux cycles ont été imaginés par les astrophysiciens pour décrire les étapes conduisant à cette fusion.

a- Le cycle Proton –Proton

Le cycle proton -proton fournit 90% de l'énergie solaire. Les réactions nucléaires régissant ce cycle sont données par les équations suivantes [1].

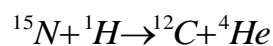
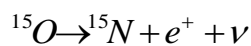
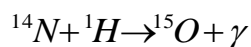
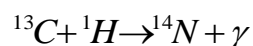
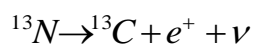
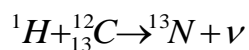


La notation (${}^1_1\text{H}$) représente le noyau de l'atome d'hydrogène 1, c'est-à-dire un proton.

Il y a émission de positrons β^+ (rayonnement bêta), de neutrinos ν_e et de photons γ (rayonnement électromagnétique).

b- Le cycle du carbone

Le cycle de Carbone fournit les 10% restants de l'énergie solaire a été découvert par Hans Bethe et Carl von en 1938. Les réactions faisant intervenir le carbone et l'azote forment un cycle; celui-ci reste répétitif tant que subsiste la présence de l'hydrogène : la série de transformations est représentée par les réactions ci-dessous [1] :



Ce cycle peut être schématisé par le diagramme ci-dessous.

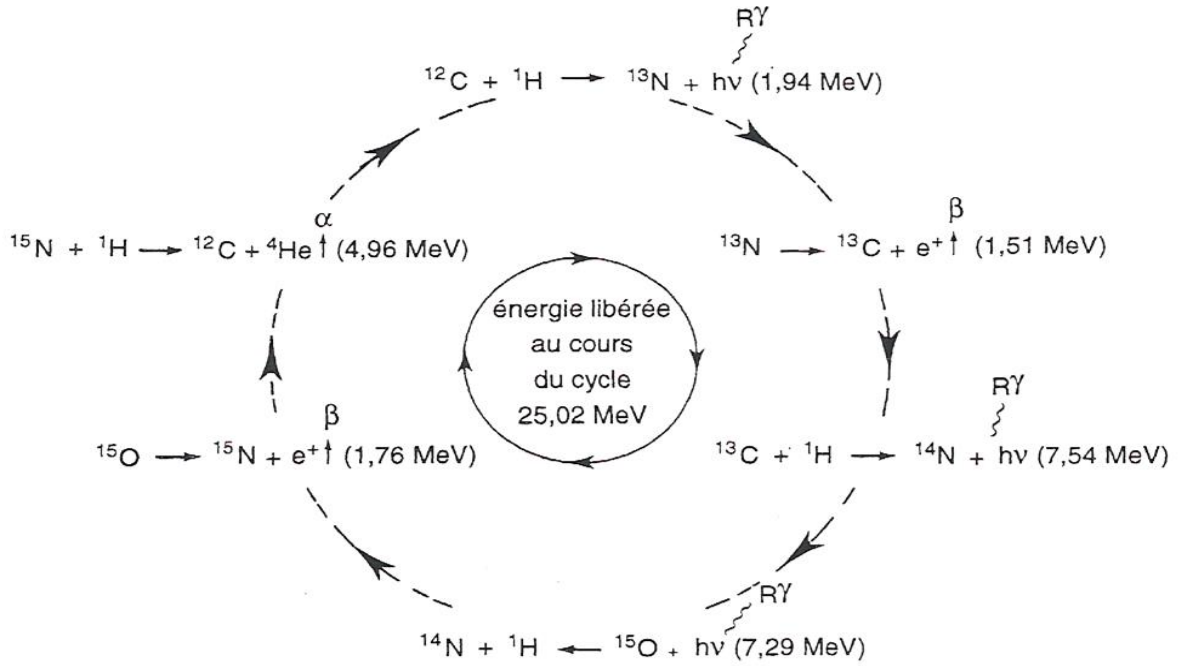


Figure. 1.3- : Diagramme de cycle du carbone

1.3. Position du soleil

La position du soleil sur la sphère céleste est donnée par l'angle d'altitude et l'angle d'azimut figure I.2. Elle dépend de la date, la période du jour, et de la position géographique de l'observateur. La date, en nombre de jours n , détermine l'angle solaire de déclinaison δ de la terre, qui est au point O en radian. Elle est exprimée par l'équation suivante [6]:

$$\delta = 23.45 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{284+n}{365}\right) \tag{1.1}$$

Le temps de la journée, en heures, est le reflet d'un angle nommé angle horaire du soleil, en radian équivalant à l'heure, qui est donné par l'équation suivante [6] :

$$\omega = (TSV - 12.h) \frac{\pi}{12.h} \tag{1.2}$$

L'altitude et l'azimut à un certain temps et date, à longitude et à latitude φ , sont alors calculés à partir des équations suivantes :

$$\sin \gamma = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \tag{1.3}$$

On note que l'azimut solaire ψ est négatif le matin et positif l'après-midi. Pour des positions sur l'hémisphère nordique, l'angle d'altitude γ est positif entre le lever et le coucher du soleil ; tandis que sur l'hémisphère méridional, il est négatif. L'angle de déclinaison δ est défini positif pendant l'été sur l'hémisphère nordique. L'angle de latitude géographique φ est positif sur l'hémisphère nord et négatif sur l'hémisphère sud.

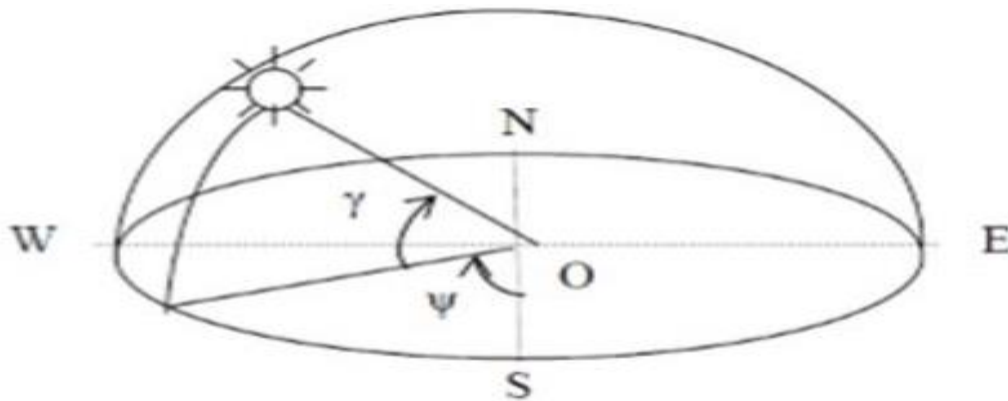


Figure.1.4- ; Position du soleil observée d'après l'origine O

1.4. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet(0.2 μ m) à l'infrarouge lointain(2.5 μ m). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. Pour tenir compte de la distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM) elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre traversée par le rayonnement solaire direct. Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales[7]:

1.4.1. Le rayonnement direct

Est un rayonnement qui est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ces rayons sont parallèles entre eux et peuvent être mesurés par un pyromètre.

1.4.2. Le rayonnement diffus

Est constitué d'une lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa diffusion engendre un phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

1.4.3. Le rayonnement réfléchi

Ou « l'albédo » du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement réfléchi peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

1.4.4. Le rayonnement global

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un « Solari mètre » sans écran. Ainsi :

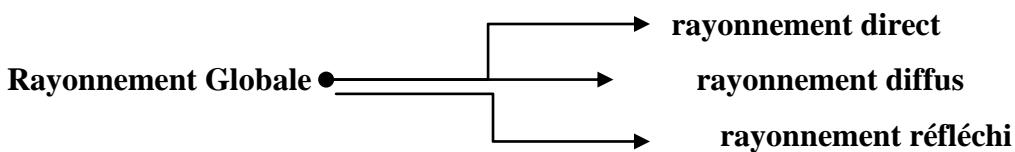


Figure.1.5-: Composants du rayonnement solaire

1.5. Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons.

L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ :

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

Ultraviolet UV $0.20 < \lambda < 0.38 \mu\text{m}$ 6.4% Visible $0.38 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ 48.0%

Infrarouge IR $0.78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$ 45.6%

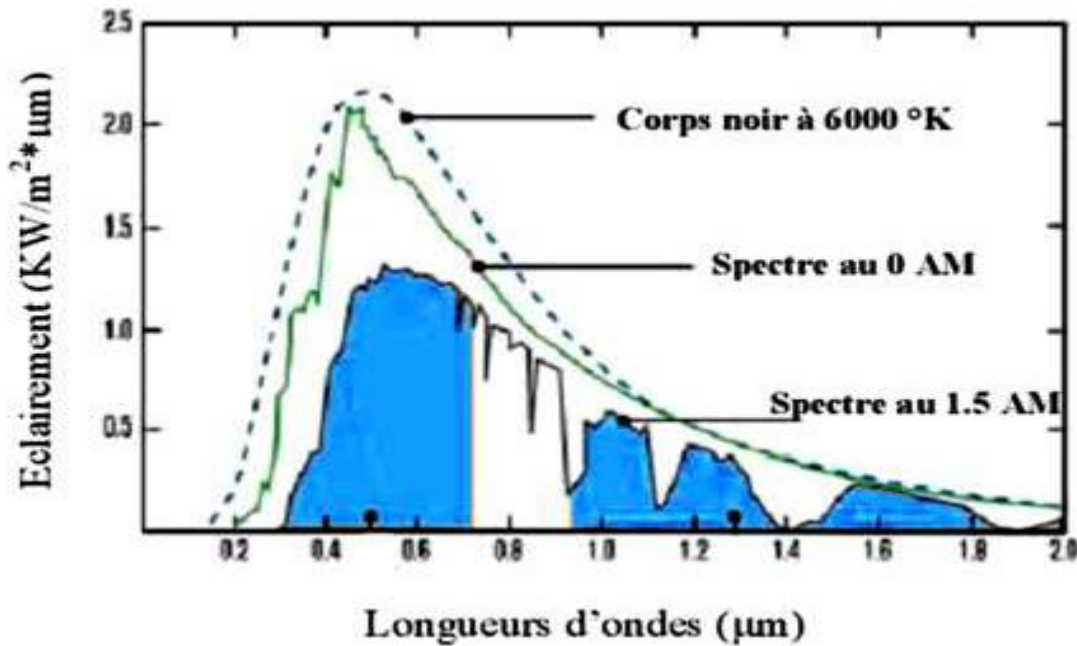


Figure .1.6- :Spectre solaire hors atmosphère

1.6- 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.

1.7- Gisement solaire dans le monde

La situation géographique de notre planète nous montre un gisement solaire très élevé ce qui nous pousse à faire penser à l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable et facile à l'exploiter pour produire de l'électricité.

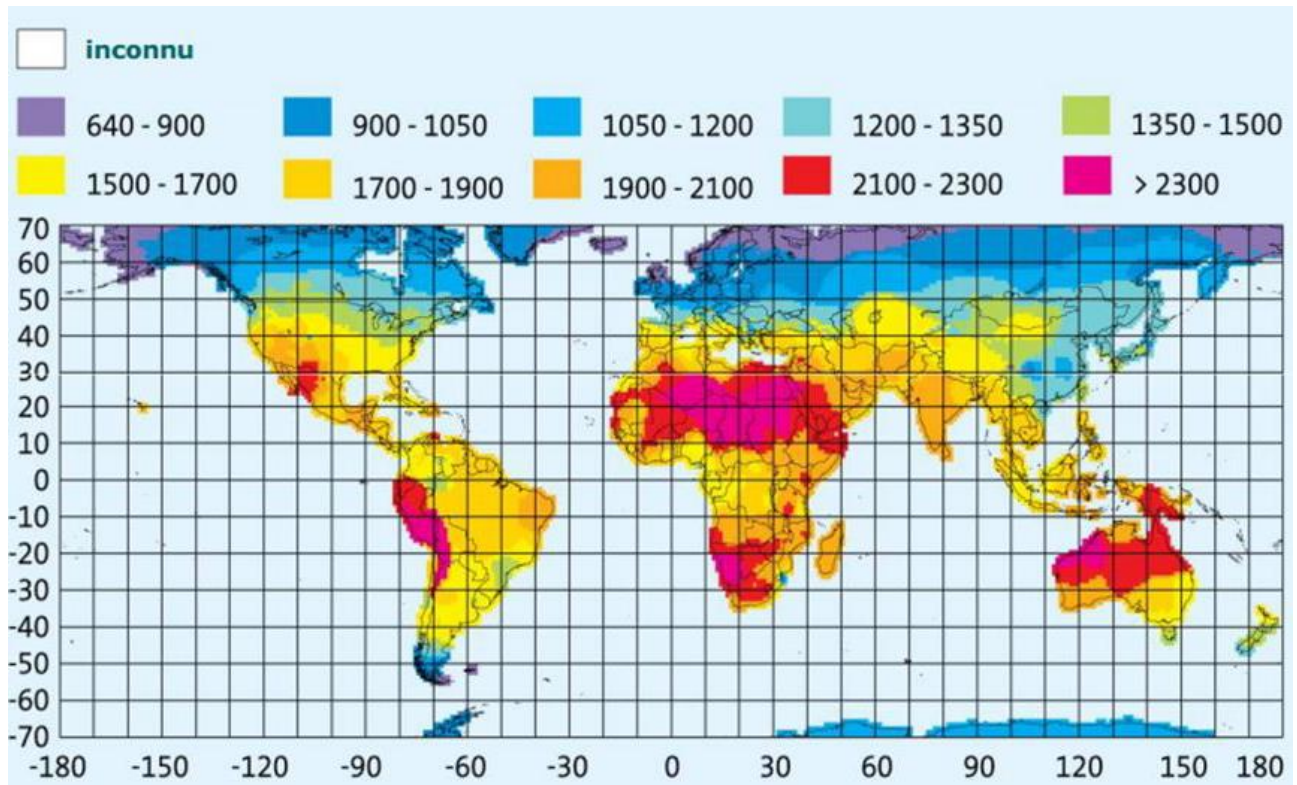


Figure .1.7-: Ensoleillement moyen annuel dans le monde

1.7.1 Gisement solaire en Algérie

L'Algérie offre un gisement solaire très élevé, ce qui la classe parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde. Le taux d'irradiation solaire au niveau du nord de Sahara Algérien, La région d'Adrar particulièrement, est de l'ordre de 1200KWh/m².an[8]. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800KWh/m².an limités à la partie sud de l'Europe. 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 169:000TWh=an pour le solaire thermique,13; 9TWh=an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000heures annuellement et peut atteindre les 3900heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh=m²=an au Nordet 2263KWh=m²=an au Sud du pays.

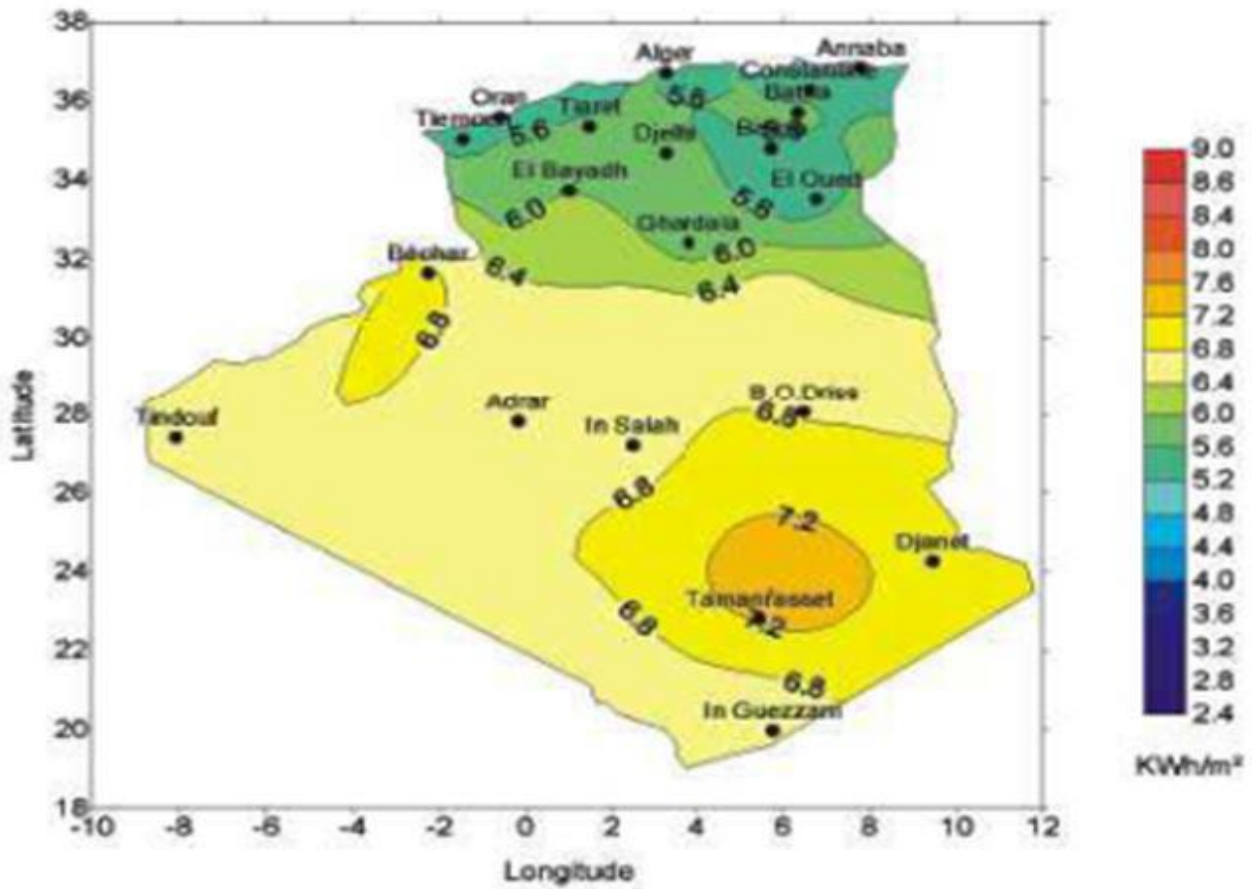


Figure 1.8-: Moyenne annuelle de l'irradiation solaire en Algérie

1.8. Type de l'énergie solaire

Il existe deux types d'énergie solaire : photovoltaïque, thermique.

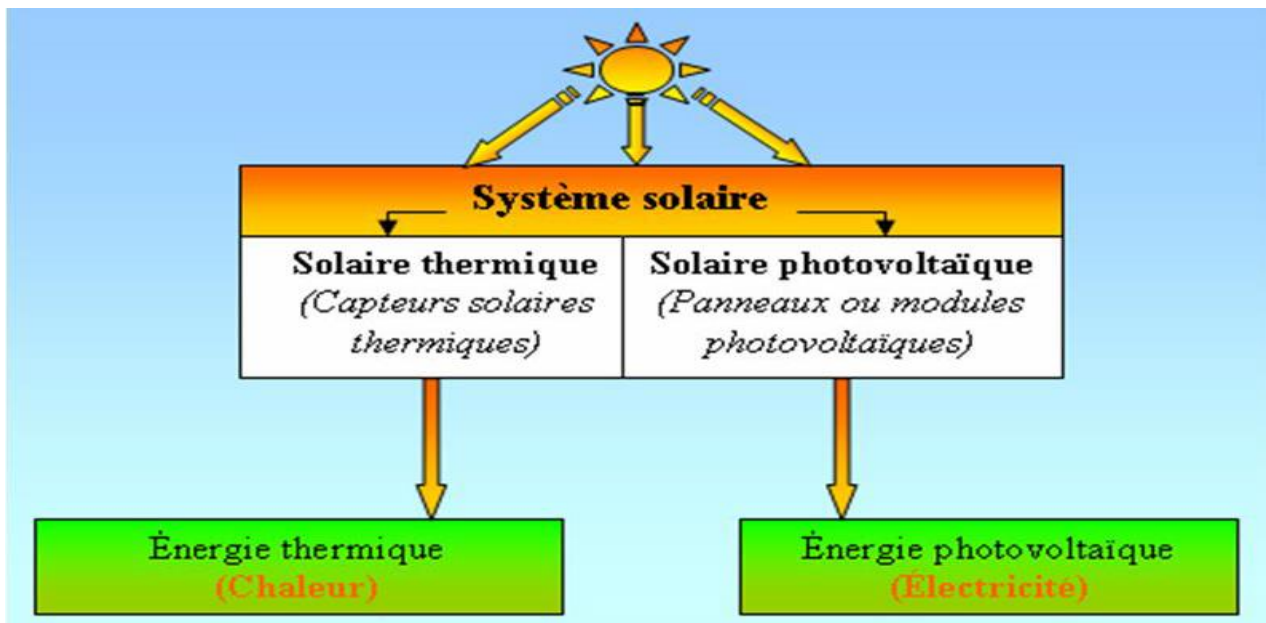


Figure. I.9-: Type d'énergie solaire

1.8.1. Solaire thermique

est un des sources d'énergie renouvelable la plus facile à mettre en ouvre et à utiliser, elle permet de se chauffer et de produire de l'eau chaude. Des capteurs métalliques absorbent la lumière du soleil, transférée ensuite à un fluide caloporteur.

-Le thermique à basse température

La chaleur émise par le Soleil peut être utilisée directement. Il s'agit de dispositifs opérant à basse température (moins de 100°C) pour les usages de l'habitat, du secteur tertiaire et de l'industrie. C'est aujourd'hui la part prépondérante du solaire dans le monde.

-Le thermique à concentration

La chaleur collectée à partir du rayonnement solaire peut également être utilisée pour fabriquer de l'électricité. On a alors recours à de vastes centrales au sol, appelées centrales thermodynamiques.

Elles sont dotées de dispositifs de miroirs qui concentrent les rayons solaires et les convertissent en chaleur à très haute température entre (200°C - 400°C). Cette chaleur est transformée en énergie mécanique puis en électricité, selon un processus identique à celui des centrales nucléaires[1].

1.8. 2. Solaire photovoltaïque

Le terme photovoltaïque est d'origine grecque. Il est composé de deux parties :

le terme photos voulant dire lumière et Volt qui est l'unité de la tension électrique, du nom Alessandro Volta [9]. Le photovoltaïque est une énergie renouvelable issue du soleil. Il utilise directement le

rayonnement solaire pour transformer la lumière en courant électrique grâce à l’effet photovoltaïque. L’électricité est produite à partir de la lumière du jour et pas seulement par l’exposition au soleil [9].

1.9. Potentiel de l’énergie solaire

1.9.1 Potentiel de l’énergie solaire au monde

L’irradiation solaire annuelle sur l’ensemble de la planète au niveau de la mer (754 million deTWh) représente plus de 5 000 fois l’énergie que nous consommons en2004 (environ 12 Gtep ou 139 000 TWh 4). Sur le long terme - environ 50 ans - le potentiel extractible des différentes sources d’énergie renouvelable pourrait en pratique couvrir la consommation mondiale actuelle : la photosynthèse au premier chef avec 6 Gtep (70 000 TWh), puis le vent avec 1,7 Gtep (20 000 TWh), la grande hydraulique 14 à 20 000 TWh, dont le potentiel théorique mondial est d'environ 40 000 TWh, le solaire installé sur les toits des bâtiments industriels, commerciaux, tertiaires et domestique 0.25 Gtep (2 900 TWh), et la géothermie des couches profondes 0.2 Gtep (2 300 TWh).

1.9.2Potentiel 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 .1.2 résume le potentiel solaire en Algérie [10].

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d’enseillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m2.an)	1700	1900	2650

Tableau .1.2- : Potentiel solaire

Une évaluation par satellite, effectuée par l’agence spatiale allemande, a montrée que l’Algérie possède le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen [10].

Il est de 169,440 Tera-Watts.heure/an (TWh/an) pour le solaire thermique et de 713,9 TWh/an pour le photovoltaïque. La région d’Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l’Algérie [10].

1.9.3-Exploitation l'énergie solaire en Algérie

L'Algérie est probablement le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale, de même que les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation de ce potentiel. Un potentiel énergétique lié à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité et puissance et, sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes [11].

L'Algérie est en effet l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde avec une durée d'insolation de 2.000 à 3.900 heures par an, et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/m², soit l'équivalent de 10 fois la consommation mondiale. Eu égard à ces statistiques particulièrement favorable au développement de l'énergie photo voltaïque, le gouvernement algérien avait décidé de lancer dès l'année 2011, un programme à long terme d'énergie renouvelable de 22.000 MW destiné à la production d'électricité qui se faisait jusqu'alors à base d'énormes quantités de gaz. Le programme en question prévoyait la mise en place à l'horizon 2030, d'une capacité de production d'électricité de 12.000 MW exclusivement destinée au marché intérieur. Tout un éventail d'énergies renouvelables parmi lesquels 7.200 MW en thermo solaire, 2.800 MW en photovoltaïque, et 2.000 en éolien devaient en être issus. Une tranche supplémentaire de 10.000 MW était même prévue pour être exportée vers la Tunisie et la Maroc. L'objectif ouvertement affiché était d'économiser au maximum le gaz naturel en grande partie destiné à l'exportation.

Mais comme le lancement de ce programme a pris du retard et que les technologies solaires avaient entre temps beaucoup évolué, le gouvernement algérien a décidé en février 2015 de modifier de façon importante le programme initial. La capacité de production envisagée est certes restée la même avec de 22.000 MW, mais elle est entièrement destinée à la production d'électricité avec 10.575 MW en photovoltaïque, 4.000 MW en éolien, 2.000 MW en thermo-solaire, et le reste entre la biomasse, la cogénération, et la géothermie. L'objectif de ce programme était motivé par le constat fait à l'époque par rapport à trois facteurs importants : Une baisse des réserves restantes en hydrocarbures et une relative stagnation de la production depuis 2007, un accroissement rapide de la consommation nationale d'énergie qui se fait au détriment des exportations et le constat d'une mutation à l'échelle mondiale vers les énergies renouvelables dont l'Algérie est potentiellement bien lotie.

Ce programme a été accompagné par l'adoption d'un cadre juridique favorable à la promotion des énergies renouvelables à travers, non seulement, les incitations multiformes destinées à l'investissement dans l'industrie des l'énergie renouvelable et leurs usages, mais aussi, à la promotion d'une industrie des équipements de production y afférents. Il n'a malheureusement été réalisé entre 2011 et 2017 qu'une capacité de 354 MW d'énergie photovoltaïque, avec toutefois quelques

prometteuses initiatives privées notamment dans la production de panneaux photovoltaïques encore embryonnaire en Algérie.

Le démarrage effectif de cet ambitieux programme commencera cette année à la faveur d'un appel d'offre portant réalisation durant les deux prochaines années d'une première tranche de 4050 MW. La composante énergétique du programme prévoit la création d'un partenariat destiné à financer, construire et exploiter plusieurs centrales photovoltaïques de 1030 MW chacune.

La composante industrielle vise quant à elle à financer, réaliser et exploiter un certain nombre d'usines d'équipements et de composants destinés aux centrales photovoltaïques. Pour ce faire, Sonatrach tout comme Sonelgaz, privilégient la formule du partenariat avec des sociétés nationales et étrangères qui maîtrisent le mieux la fabrication des équipements et les métiers divers des énergies renouvelables. Des actions concrètes ont déjà été engagées dans ce sens .

Chapitre 2

Technologie Photovoltaïque

2.1- Cellules photovoltaïque

2.1.1- Définition

L'élément fondamental dans un système photovoltaïque est la cellule photovoltaïque qui convertit l'énergie reçue par rayonnement solaire en énergie électrique. C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité.

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques[12].

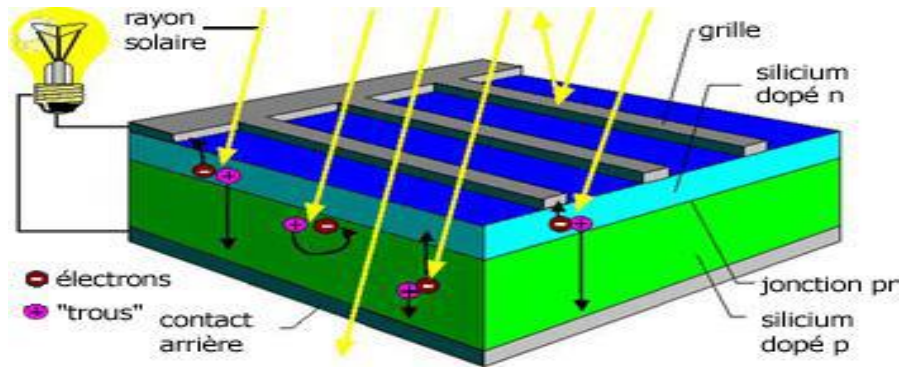


Figure.2.1 N dans une cellules-Jonction P :photovoltaïques

2.1.2 - Semi-conducteur

Un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante.

En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants. Le comportement électrique des semi-conducteurs est généralement modélisé à l'aide de la théorie des bandes d'énergie[13].

Ce modèle stipule qu'un électron dans un solide ne peut que prendre des valeurs d'énergie comprises dans certains intervalles que l'on nomme « bandes », plus spécifiquement bandes permises, lesquelles sont séparées par d'autres « bandes » appelées bandes d'énergie interdites ou bandes interdites.

Deux bandes d'énergie permises jouent un rôle particulier :

- la dernière bande complètement remplie, appelée « bande de valence »
- la bande d'énergie permise suivante appelée « bande de conduction »

La bande de valence est riche en électrons mais ne participe pas aux phénomènes de conduction (pour les électrons). La bande de conduction, quant à elle, est soit vide (comme aux températures proches du zéro absolu dans un semi-conducteur) soit semi-remplie (comme dans le cas des métaux) d'électrons. Cependant c'est elle qui permet aux électrons de circuler dans le solide. Dans les conducteurs (métaux),

la bande de conduction et la bande de valence se chevauchent. Les électrons peuvent donc passer directement de la bande de valence à la bande de conduction et circuler dans tout le solide. Dans un semi-conducteur, comme dans un isolant, ces deux bandes sont séparées par une bande interdite, appelée couramment par son équivalent anglais plus court « gap ». L'unique différence entre un semi-conducteur et un isolant est la largeur de cette bande interdite, largeur qui donne à chacun ses propriétés respectives. Dans un isolant cette valeur est si grande (aux alentours de 6 eV pour le diamant par exemple) que les électrons ne peuvent passer de la bande valence à la bande de conduction: les électrons ne circulent pas dans le solide. Dans les semi-conducteurs cette valeur est plus petite (1,12 eV pour le silicium, 0,66 eV pour le germanium, 2,26 eV pour le phosphure de gallium). Si on apporte cette énergie (ou plus) aux électrons, par exemple en chauffant le matériau, ou en lui appliquant un champ électromagnétique, ou encore dans certains cas en l'illuminant, les électrons sont alors capables de passer de la bande de valence à la bande de conduction, et de circuler dans le matériau[13].

Dans un atome isolé, les électrons prennent des niveaux d'énergie discrets (théorie de Niels Bohr en 1914). Lorsque, les atomes sont rassemblés pour former un solide, les niveaux discrets de chaque atome se différencient pour former des bandes continues d'énergie. Cette structure électronique de bandes nous permet de classer les matériaux en trois grandes familles : les métaux, les isolants et les semi-conducteurs (**Figure 22..**)

Pour un métal, tous les niveaux supérieurs au niveau de fermi étant autorisés et la quasi totalité de ces niveaux étant inoccupés à température ambiante, toutes les longueurs d'onde peuvent être alors absorbées, mais cette énergie absorbée est convertie en phonons (thermalisation des électrons).

Dans un isolant, le rayonnement solaire ne peut être absorbé par ce dernier car son gap (8-10 eV) est plus grand que les énergies de ce spectre.

Par contre, un semi-conducteur a un gap plus faible que celui d'un isolant (0.6-2 eV). A titre d'exemple, le silicium cristallin (Si) a un gap de 1.12 eV, le germanium (Ge) de 0.7 eV, l'arsenic de gallium (GaAs) de 1.42 eV. Par conséquent, le spectre solaire absorbé par les semi-conducteurs fournit de l'énergie aux électrons et les libère dans le cristal pour participer à la conduction[13].

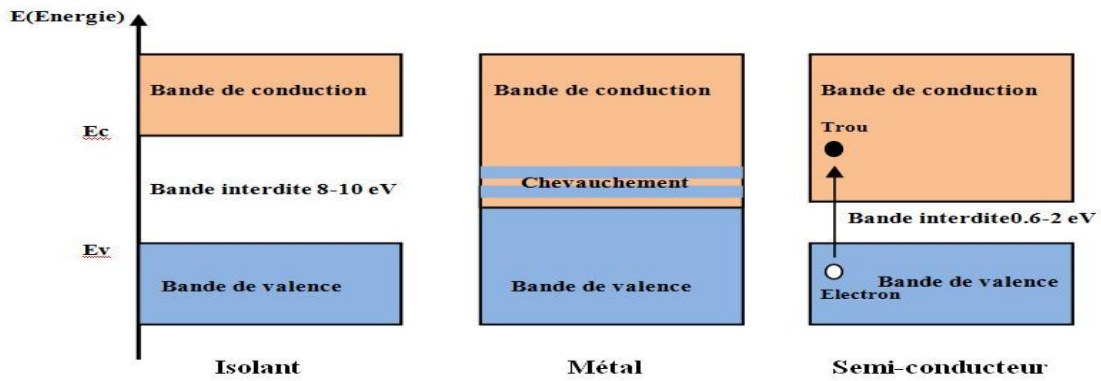


Figure.2.2- :Trois grandes familles des matériaux

2.1 .3-Historique les cellules photovoltaïques

La conversion de la lumière en électricité, appelé effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

L'utilisation des cellules solaires dans les années quarante dans le domaine spatial. Les recherches d'après guerre ont permis d'améliorer leurs performances et leur taille mais il faudra attendre la crise énergétique des années septante pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque et ses applications terrestres.

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque[14]. :

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

l'image au sous-dessus, représente les trois chercheurs americains qui a réalise le premier satellite qui alimente par des panneaux solaires

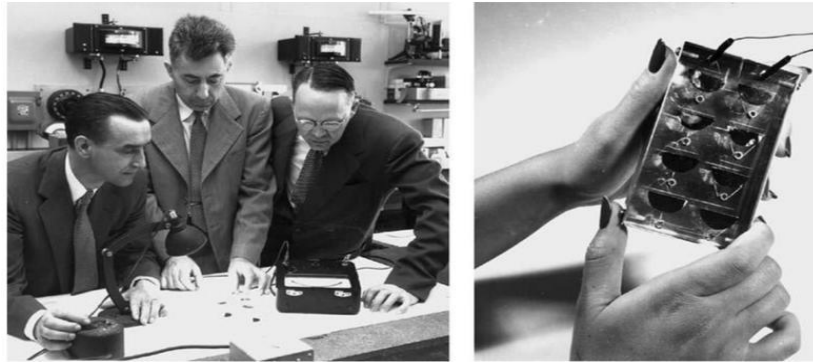


Figure.2.3- :les trois chercheurs americains

2.2- Fabrication des cellules photovoltaïques

2.2.1 La silice (matière première d'une cellule photovoltaïque)

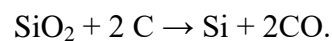
On consacre sur la méthode de fabrication de polycrystalline. La silice est un composé chimique nommé aussi dioxyde de silicium, de formule chimique SiO_2 . La silice est l'élément le plus répandu dans la croûte terrestre après l'oxygène. Il représente 25 % de la masse de la croûte terrestre. La silice se présente sous la forme d'un minéral dur. Dans la nature, on la trouve en grande quantité dans [15]:

- . Les roches sédimentaires détritiques (sables, grès),
- . Les roches métamorphiques, (schistes, gneiss, quartzites), les roches métamorphiques sont formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou de roches magmatiques sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.

2.2.2 Extraction et purification du silicium

➤ Extraction du silicium à partir de la silice

Le silicium est un élément chimique de symbole Si. Il n'existe pas à l'état pur dans la nature. Le silicium est donc extrait de la silice (SiO_2) grâce à la réaction chimique simplifiée suivante :



Cette réaction se réalise dans un four à arc car elle nécessite de faire fondre la silice. La température du four peut atteindre 3 000 °C [15]. La puissance du four peut aller jusqu'à 30 MW, afin d'enclencher les réactions chimiques.

En réalité, la réaction de réduction de la silice en silicium résulte d'un grand nombre de réactions chimiques intermédiaires. La puissance du four peut aller jusqu'à 30 MW, afin d'enclencher les réactions chimiques.

Après cette opération, le silicium est obtenu sous forme liquide qui représente par la figure (2.4). Sa pureté est de 98 %. Il faut le purifier encore de plusieurs ordres de grandeur afin d'obtenir un matériau adéquate pour les applications photovoltaïques.

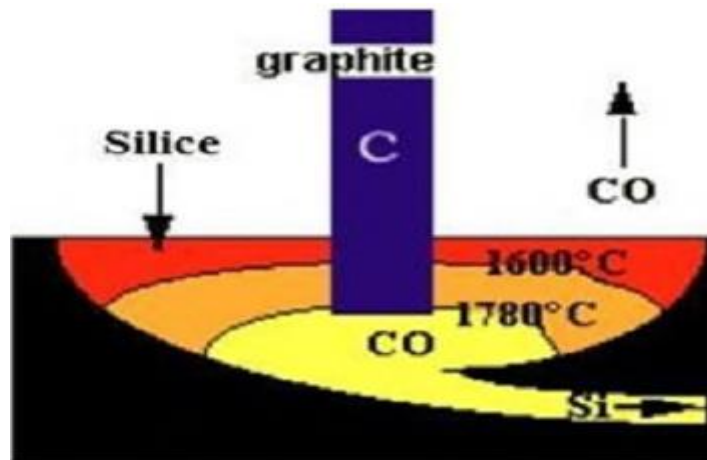


Figure .2.4-: Extraction du silicium à partir de la silice

➤ **Purification du silicium**

Il s'agit, en partant du silicium métallurgique, de faire une purification chimique. De nombreux procédés ont été développés par les différents producteurs mondiaux de silicium.

Au final, le procédé de purification aboutit à l'obtention de lingots de silicium purifiés à 99.99 %.

2.2.3 Obtention des lingots de silicium

Une fois l'étape de purification terminée, vient l'étape de cristallisation du silicium liquide. Le produit issu de cette étape est un lingot de silicium à l'état solide. Il existe deux grandes méthodes de cristallisation. La première permet d'obtenir du silicium polycristallin (composé de plusieurs cristaux). La deuxième permet d'obtenir du silicium monocristallin (composé d'un seul cristal) [15], comme montrée dans la figure (2.5).



Figure.2.5-: Lingot de silicium

2.2.4. Obtention des wafers photovoltaïques

Les lingots cylindriques (silicium monocristallin) ou parallélépipédiques (silicium polycristallin) de silicium obtenus à l’issue de l’étape de solidification sont ensuite sciés en fines plaques de 200 micromètres d’épaisseur qui sont appelées « wafers » (en anglais, « wafer » signifie « galette »). La coupe des lingots est effectuée par une scie à fil.

Compte-tenu de la faible épaisseur des tranches à découpées (300 µm), le principal problème du sciage est la perte de découpe. Afin de minimiser ces pertes, la solution technique retenue est la scie à fil. En effet, la perte de découpe (kerf) typique des scies à fil est de 200 µm à 240 µm, ce qui représente 55% de perte en moins par rapport aux scies à diamètre intérieur (perte de découpe de 310 µm à 350 µm) [15]. Avec une scie à fil, il faut donc 570 µm de silicium pour produire une tranche de 350 µm (voir la figure (2.6)). L’étape du sciage représente un élément déterminant dans le coût de la production des cellules photovoltaïques.

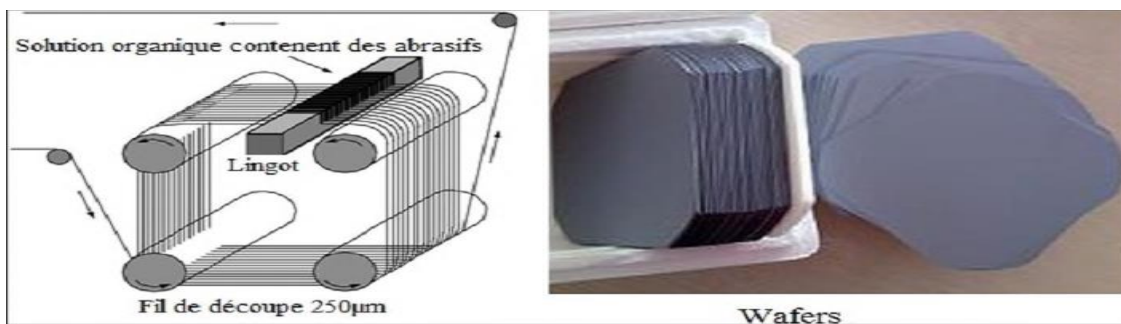


Figure .2.6-: Obtention des wafers photovoltaïques

2.2.5 Dopage du silicium

Les wafers de silicium obtenus à l’issue de l’étape de sciage sont alors introduits dans un réacteur de croissance dans lequel va se dérouler l’étape de dopage comme montre les deux figures (2.7) et (2.8).

Le dopage est une méthode permettant de réaliser la jonction P-N. Cela consiste à introduire des impuretés dans un cristal intrinsèque pour modifier ces propriétés électriques. Le semi-conducteur dopé est alors appelé « semi-conducteur extrinsèque ».

Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif) [15].

2.2.5.1 Dopage de type N

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium. Le phosphore disposant de 5 électrons sur sa couche électronique externe va s’associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un électron : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale négative

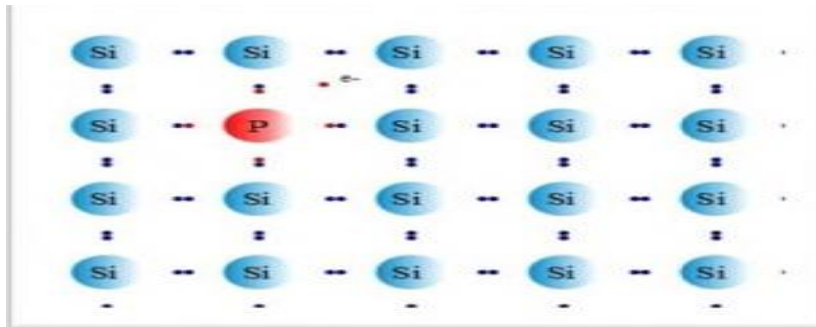


Figure.2.7-: Dopage de type N

2.2.5.2 Dopage de type P

Le dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium. Le bore disposant de 3 électrons sur sa couche électronique externe va s’associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un trou : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive

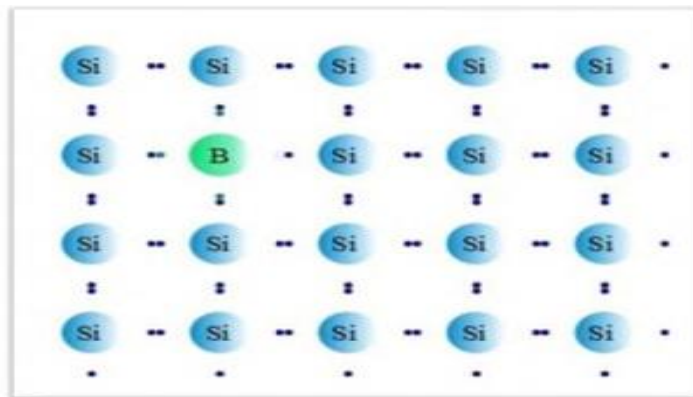


Figure .2. 8-: Dopage de type P

2.3. Générations du photovoltaïque

2.3.1. 1^{ère} Génération

Industriellement les matériaux les plus utilisés sont à base de silicium à cause de sa disponibilité et son faible coût de production. Les cellules PV au silicium cristallin (mono ou multi) représentent la majorité de la production mondiale (respectivement 29 % et 51% de la production mondiale).

a) Silicium polycristallin

Il est constitué de plusieurs monocristaux juxtaposés dans différentes orientations donnant à la cellule un aspect mosaïque.

Le silicium polycristallin est la technologie la plus répandue sur le marché mondial en raison de son bon rendement (environ 15 %) pour des coûts de fabrication maîtrisés. Il offre actuellement un bon rapport qualité /prix.



Figure.2.9: Photo de cellule poly cristallin

b) Silicium monocristallin

Il est constitué d'un seul cristal offrant à la cellule un arrangement parfait des atomes. Il présente un rendement légèrement supérieur au silicium polycristallin (environ 19 %). Néanmoins, il reste assez onéreux en raison de son exigence de grande pureté et de l'importante quantité d'énergie nécessaire à sa fabrication



Figure.2.10-: photos d'une cellule monocristalline

Le tableau (2.1) représente la 1^{er} génération des cellules de silicium

Cellule solaire	Surface (cm ²)	Rendement (%)	Centre de test (date)
Silicium monocristallin	180.43	26.3 ± 0.5	FhG-ISE ^a (07/2016)
Silicium multicristallin	242.74	21.3 ± 0.4	FhG-ISE (11/2015)

Tableau. 2.-1 : Cellules solaires de : 1-^{ère} génération (**Green 2017**)

2.3.2.2^{ème} Génération

Elle concerne les cellules solaires à couches minces d'épaisseur inférieure à 50 µm utilisant le silicium amorphe ou des matériaux de composés II-VI comme l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (CdTe), le diséléniure de cuivre et d'indium (CuInSe2) et le dioxyde de titane (TiO2) .

Il est possible de réduire les coûts de production de ces types de cellules solaires par rapport à la première génération. De plus, elles sont flexibles et leur utilisation est plus variée. Cependant, Les étapes de production demandent plus d'énergie car on utilise des procédés sous vide et des traitements à haute température (Tableau(2.2))

Cellule solaire	Surface (cm ²)	Rendement (%)	Centre de test (date)
GaAs	0.9927	28.8 ± 0.9	NREL (05/2012) ^b
CIGS	0.9927	21.0 ± 0.6	FhG-ISE (04/2014) ^a
CdTe	1.0623	21.0 ± 0.4	Newport (08/2014)
Silicium amorphe	1.001	10.2 ± 0.3	AIST (07/2014) ^c

Tableau .2.2- Exemples de cellulessolairesde: 2-^{ème} génération (**Green 2017**)

^bNREL: National Renewable Energy Laboratory.

^cAIST: Japanese National Institute of Advanced Industrial Science and Technology.

2.3. 3^{ème} Génération

Actuellement, il y a beaucoup de recherche en cours dans le photovoltaïque pour des types de cellules qui peuvent dépasser le rendement de 20%, ce qu'on appelle les cellules solaires de 3^{ème} génération. Cette génération est basée sur la variété de nouveaux matériaux en dehors de silicium, y compris des nanotubes, les cellules à concentration, des fils de silicium, des encres solaires en utilisant des technologies de presse d'impression classiques, des colorants organiques et des polymères .

À l'heure actuelle, la plupart des travaux sur les cellules solaires de 3^{ème} génération est réalisée en laboratoire, et en cours d'élaboration par les nouvelles entreprises car le coût de production reste élevé. Ces cellules ne sont pour la majorité qu'à l'état d'expérimentation (Tableau (2.3))

Cellule solaire	Surface (cm ²)	Rendement (%)	Centre de test (date)
Colorante (Dye-sensitised)	1.005	11.9 ± 0.4	AIST (09/2012)
Organique	0.992	11.2 ± 0.3	AIST (10/2015)
InGaP/GaAs/InGaAs (multijonction)	1.047	37.9 ± 1.2	AIST (02/2013)
Perovskite/Si (monolithique)	0.990	23.6 ± 0.6	NREL (08/2016)
GaInP/GaAs; GaInAsP/GaInAs (à concentration)	0.0520	46.0 ± 2.2	AIST (10/2014)

Tableau.2.3-: Exemples de cellules solaires de 3^{ème} génération (Green 2017)

2.4-Montage des cellules photovoltaïques

2.4.1. Branchement en séries

Les cellules photovoltaïques peuvent se connecter en série. Les tensions de toutes les cellules s'ajoutent et le courant est le même que celui d'une seule cellule (voir figure 2.11). C'est pourquoi il faut toujours des cellules de même courant pour les mettre en séries. En fabrication, on appelle cela l'appairage : on trie les cellules selon leur courant pour les câbler en série. Si l'une d'elles était plus faible en courant, elle imposerait son courant à toute la série ce qui pénaliserait le module complet [16].

V_{coNs} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

V_{coNs} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

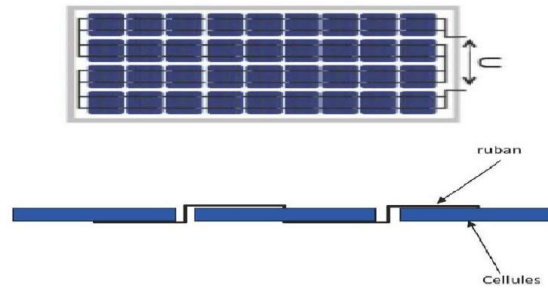


Figure (1.7) : Câblage des cellules dans un module.

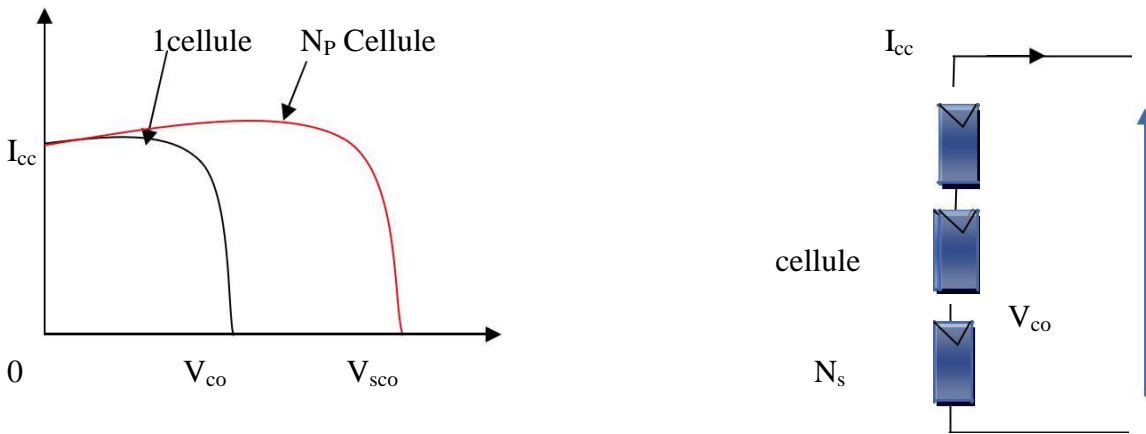


Figure .2.11-: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série

2.4.2. Branchement en parallèles

Lorsque les cellules sont connectées en parallèles, ce sont les courants qui s'ajoutent et la tension qui restera constante. Il faudra donc appairer les tensions et non les courants, lors de la mise en parallèle des modules photovoltaïques pour constituer un générateur plus puissant.

Avec:

I_{ccNp} : la somme des courants de cout circuit de (NP) cellule en parallèle

V_{coNp} : tension du circuit ouvert de (Np) cellules en parallèl e

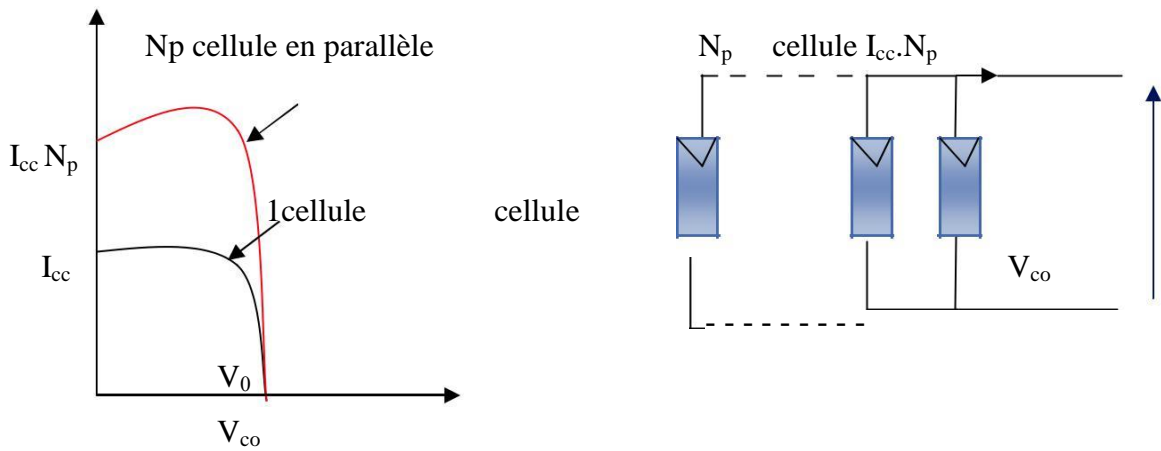


Figure.2.12 :Caractéristique courant tension de (Np) cellule en parallèle

2.5.L’effet photovoltaïque

Le terme photovoltaïque est formé à partir de deux mots :

- ⇒ « Phots », qui signifient lumière.
 - ⇒ « Volta », du nom du physicien Alessandro Volta (1745-1827, inventeur de la pile électrique)
- [17] , la figure sous-dessous représente le phénomène l’effet photovoltaïque ..

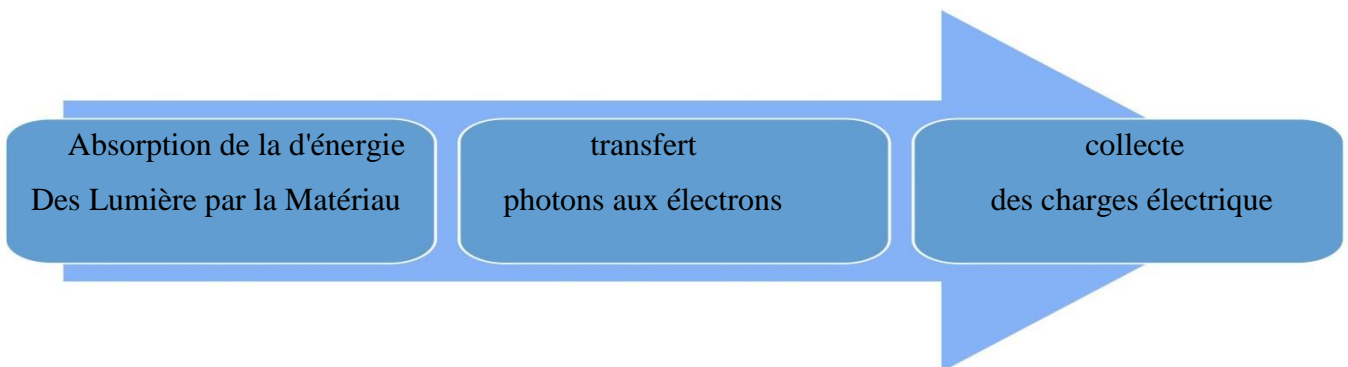


Figure.2.13 :l’effet photovoltaïque

Appelé aussi « module photovoltaïque » ou PV, c’est un panneau solaire qui est destiné à récupérer les rayonnements du soleil pour les transformer en électricité (Courant continu DC).

L’effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l’énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

La figure (2.14) illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14 % pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12 avec du silicium poly cristallin et enfin 7 à 8 % pour le silicium amorphe en films minces .La photopile ou cellule solaire comme montre le schéma (2.14) est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque.

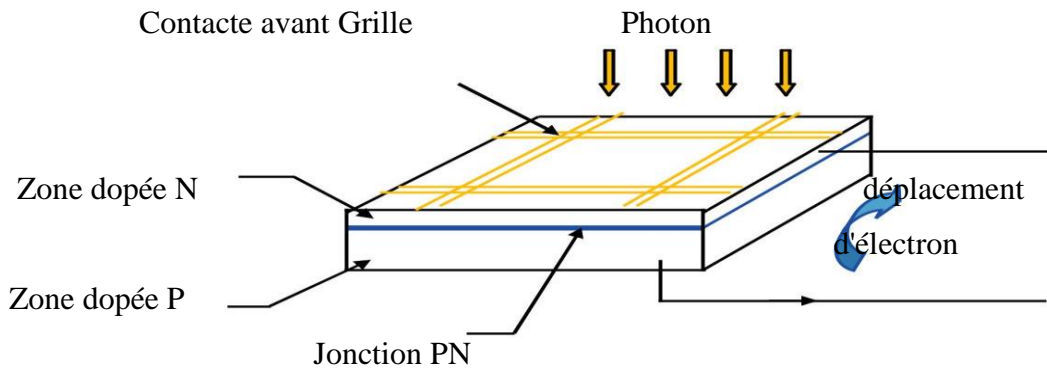


Figure.2.14-:Schéma d'une cellule photovoltaïque

2.6. Modules photovoltaïques

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque[18].

En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairement, de température et de spectre solaire. La plupart des modules commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série

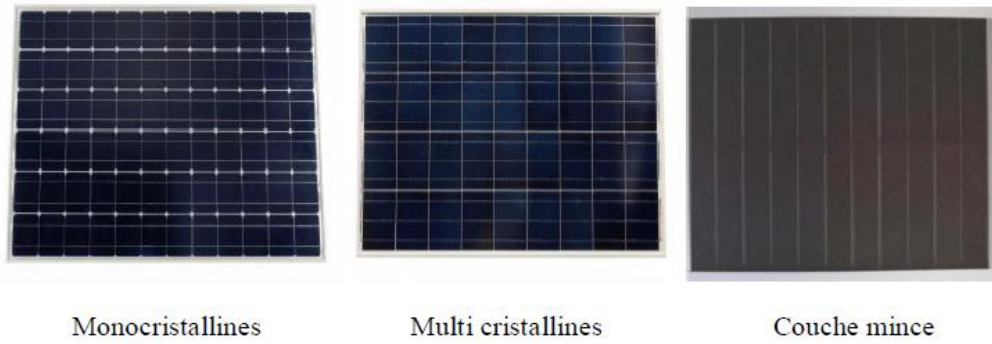


Figure.2.15:-Module photovoltaïque

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

2.6.1 Montages des modules photovoltaïques

2.6.1.1.Montage en série

Les tensions s'additionnent et le courant traversant les modules reste identique, lorsque les panneaux sont montés en série l'intensité traversant les panneaux sera celle du panneau le moins performant de la série. Ainsi, si l'ombre apparaît sur un des panneaux, toute la série aura pour rendement celui du panneau le plus faible. L'intensité restant faible, les sections de câbles sont moins importantes

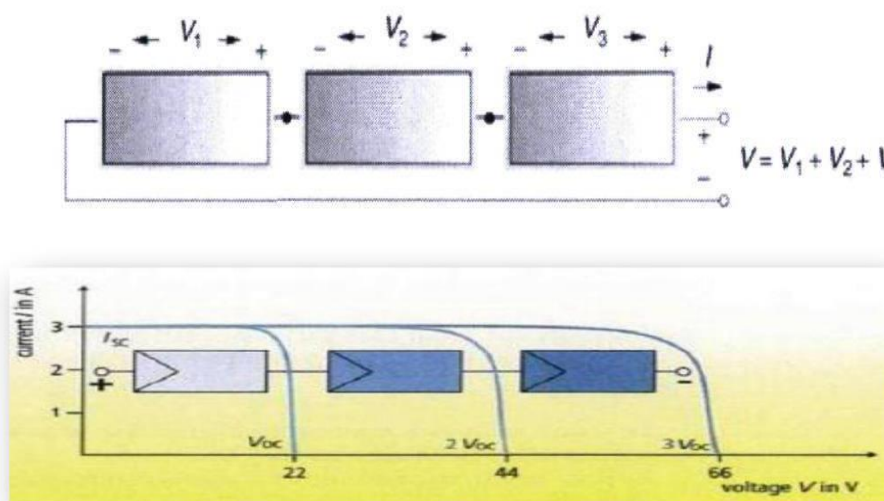


Figure .2.16:-Caractéristiques I(V) de modules en série

2.6.1.2.Montage en parallèle

Les courants des différents modules s'additionnent et la tension reste identique.

Un tel montage peut demander une section de câble plus importante due à la forte intensité.

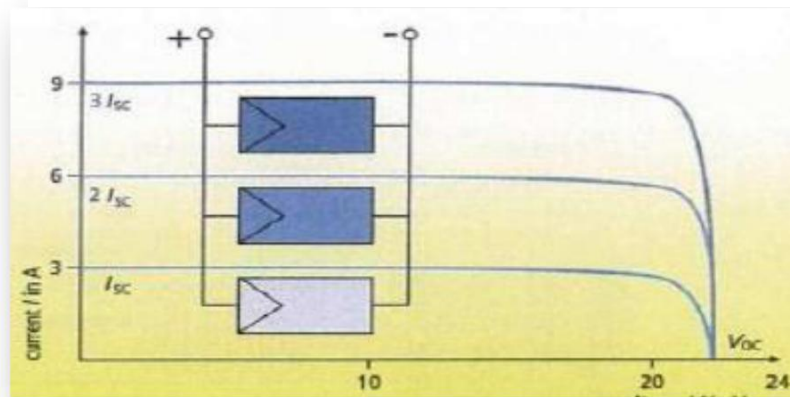
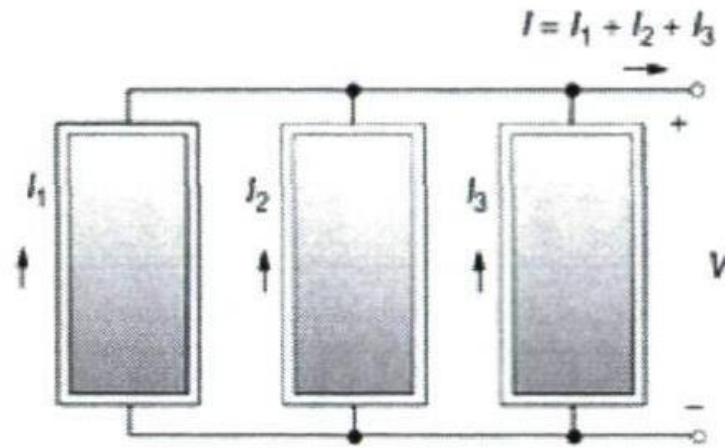


Figure2.17- : Caractéristiques I(V) de modules en parallèle

2.6.1 .3. Association de modules solaires mixte série /parallèle

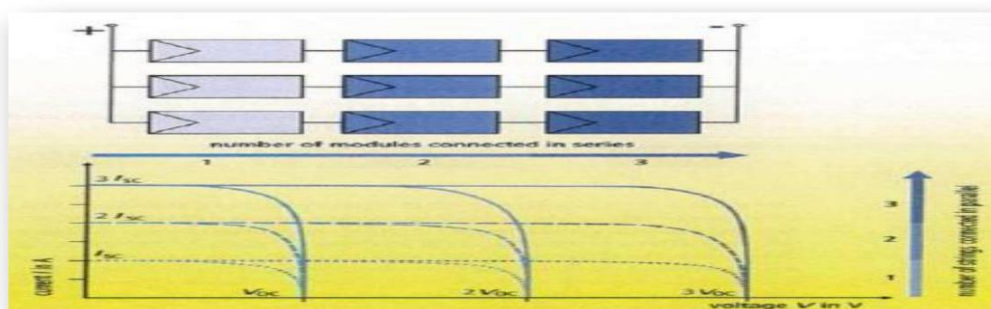


Figure.2.18 : Caractéristiques I(V) Association de modules mixte.

2.7-Les caractéristiques du panneau solaires

Les caractéristiques du panneau sont en général indiquées sur une étiquette collée à l'arrière du panneau. Par exemple pour le modèle utilisé par le Programme Santé en Sierra Leone (Makeni), acheté en Nouvelle Guinée, voici les caractéristiques :

Les grandeurs électriques indiquées sont[18]:

-Courant de court-circuit (short circuit current) I_{sc} - l'intensité est mesurée directement aux bornes du module sans récepteur.

-Courant nominal (peak power ou rated current) I_{mp} - l'intensité qui est débitée en fonctionnement STC raccordé au récepteur.

-Tension de circuit ouvert (open circuit voltage) V_{oc} - la tension est mesurée directement aux bornes du module sans charge.

-Tension nominale (peak power ou rated voltage) V_{mp} - la tension délivrée en fonctionnement STC raccordé au récepteur.

-Puissance crête (peak power ou rated power) P_{max} - la puissance crête est le produit de la tension nominale et le courant nominal en fonctionnement

Pour ce panneau solaire utilisé en Sierra Leone, on a donc :

Puissance crête = tension crête x courant crête

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

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

♦ **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$

2.8.Rendement de conversion des cellules photovoltaïque

Le rendement correspond au rapport entre la puissance électrique effectivement délivrée par les cellules PV et la quantité d'énergie solaire reçue. Le rendement caractérisant alors défini selon l'équation suivante

$$\eta_{pv} = P_{pv} / (G \cdot A_{eff})$$

Où

P_{pv} = Puissance électrique délivrée par le panneau PV (W)

A_{eff} = Surface effective du panneau PV (m²)

G = Irradiation, autrement nommée puissance lumineuse reçue par unité de surface (W/m²).

Chapitre 3
**Dimensionnement et réalisation de
l'arbre solaire**

3.1-Dimensionnement d'un système photovoltaïque

3.1.1-Constitutions d'un système photovoltaïque

Dans cette section, nous avons présenté les différents éléments constituant le système d'installation photovoltaïque,.Il existe 5 éléments principaux constituant un système générateur photovoltaïque comme représenter la figure (3.1):

- Panneaux solaires.
- Batteries.
- Onduleur.
- Régulateur de charge.
- Les cables

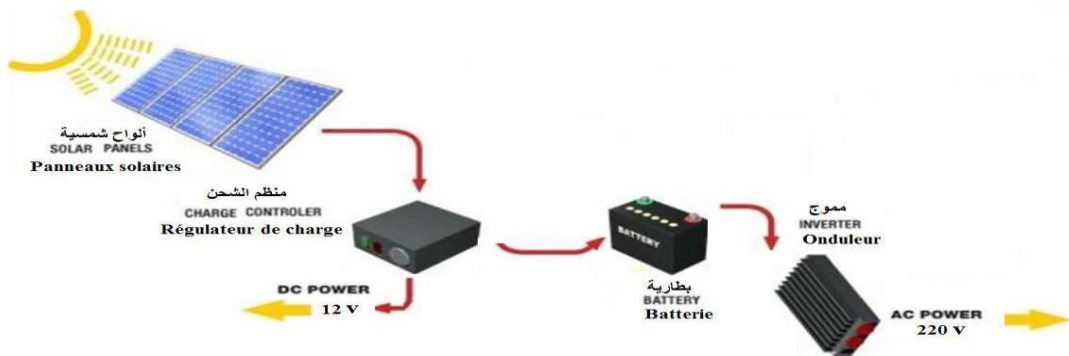


Figure .3.1:- Principe de fonctionnement d'un système PV autonome

3.1.2- Panneau solaire

Les caractéristiques du panneau sont en général indiquées sur une étiquette collée à l'arrière du panneau.

SUNTECH	
Model Number	STP050-12/Md
Rated Maximum Power (P _{max})	50W
Output Power Tolerance	±5%
Maximum Current (I _{mp})	2.93A
Maximum Voltage (V _{mp})	17.4V
Short-Circuit Current (I _{sc})	3.13A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	21.8V
Nominal Operating Cell Temp. (T _{NOCT})	45°C ±2°C
Weight	6.4Kg
Dimension	665×631×30(mm)
Maximum System Voltage	715V
Maximum Series Fuse Rating	5A
Cell Technology	Poly-Si
All technical data at standard test condition	
AM=1.5	E=1000W/m ² T _c =25°C
Add: 17-6 ChangJiang South Road, New District Wuxi, China 214028	
Customer Service Hot Line: +86 400 8888 009 Fax: +86 510 8534 3321	

Figure .3.2: Caractéristiques des panneaux

Nous représentons les grandeurs électriques sur le tableau (3.1) .

Caractéristiques des panneaux	Représentation
-Courant de court-circuit (short circuit current) I_{sc}	l'intensité est mesurée directement aux bornes du module sans récepteur.
Courant nominal (peak power ou rated current) I_{mp}	l'intensité qui est débitée en fonctionnement STC raccordé au récepteur.
Tension de circuit ouvert (open circuit voltage) V_{oc}	la tension est mesurée directement aux bornes du module sans charge.
Tension nominale (peak power ou rated voltage) V_{mp}	la tension délivrée en fonctionnement STC raccordé au récepteur.
Puissance crête (peak power ou rated power) P_{max}	la puissance crête est le produit de la tension nominale et le courant nominal en fonctionnement STC
Puissance crête = tension crête x courant crête	$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp}$

Tableau .3.1- :Caractéristiques des panneaux

tous les panneaux utilisés sur une même installation doivent avoir les mêmes caractéristiques (tension et ampérage).

3.1.3-Régulateur

a- Choix du régulateur

Afin d'éviter les surcharges et les décharges trop profondes des batteries, le régulateur solaire (aussi appelé régulateur de charge ou même contrôleur de charge) gère le niveau d'énergie stockée dans les batteries :

- Il limite la charge quand la batterie est complètement chargée
- Il ralentit la décharge afin d'éviter les décharges profondes

Il y a 2 éléments principaux à prendre en compte :

- La tension entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en général 12V, 24V ou 48V).
- L'intensité maximale du régulateur : l'intensité du régulateur (en ampères, A) doit être supérieure à l'intensité de court circuit du ou des panneaux solaire auquel il est connecté[19].

b-Fonctionnalités avancées

- Possibilité de connexion à un ordinateur.

- Déclenchement d'alarmes (signal sonore, e-mail ou même SMS).
- Enregistrement de données.
- Choix du mode de charge (recharge rapide, veille...).

Déclenchement automatique de sources d'énergie complémentaires : groupe électrogène ou réseau électrique[19].

3.1.4-Batterie

a- Définir la capacité de stockage[20]

Exprimée en Ampères Heure (Ah), la capacité d'une batterie solaire désigne le débit total d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...).

Ainsi, en utilisant au plus 60% de la capacité d'une batterie, une batterie 100 Ah – 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah (60% de 100Ah).

Ce qui donne en consommation d'énergie : $60 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 720 \text{ Wh}$

b- Tension requise pour le système

Après avoir défini la capacité de stockage nécessaire à vos besoins, vous devez déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V ou 48V. Plus vous utilisez d'énergie, plus vous devez utiliser une tension élevée. Cela permet notamment de diminuer les déperditions d'énergie, qui surviennent quand l'énergie est transportée ou stockée.

Puissance de l'installation photovoltaïque Tension recommandée de 0 à 800 Wc /12V, de 800 à 1600 Wc 24Vet au-dessus de 1600 Wc 48V

c- Raccordement de batteries

Dans les systèmes photovoltaïques on utilise trois types de raccordement des batteries comme indiquer sur les figures (3.3), et (3.4):

1-Raccordement en série :c'est-à-dire en reliant les bornes "+" aux bornes "-" et les bornes "-" aux bornes "+" pour additionner la tension des batteries (enVolts). La capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

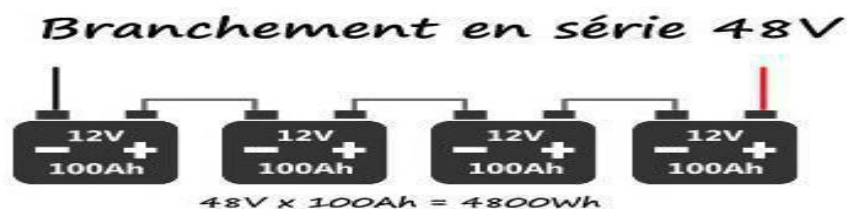


Figure .3.3- Raccordements des batteries en série

2-Raccordement en parallèle : c'est-à-dire en reliant les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-" pour additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).

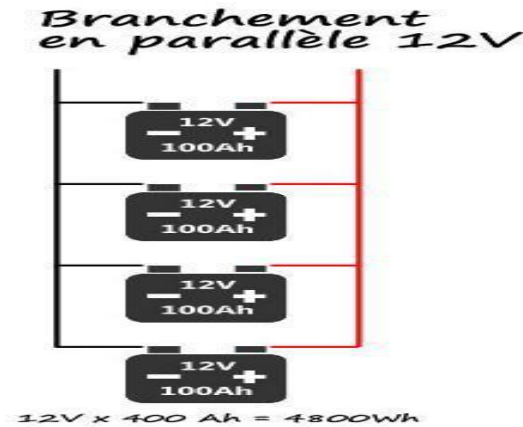


Figure .3.4-: Raccordement des batteries parallèle

3-Raccordement mixte

Dans ce cas on joue sur les deux grandeurs tension et capacité selon les besoins alors on va raccorder un ensemble en série pour avoir une telle tension (24V ou 48V par exemple) et le même autre ensemble en parallèle pour augmenter la capacité (Ah)[20].

3.1.5-L'onduleur « Inverter »

L'onduleur est un ensemble électronique qui permet de produire du courant alternatif (220V) à partir d'un courant continu (12V). Celui-ci est directement connecté sur les batteries (12 volts), puis relié aux consommateurs (220 volts).

a- Principe de fonctionnement d'un onduleur

La fonction de l'onduleur photovoltaïque est de convertir la puissance électrique générée par le champ photovoltaïque en une puissance électrique alternative compatible avec le réseau électrique. Pour cela, le premier étage d'un circuit électronique recherche le point de fonctionnement ou la puissance est maximum sur tous les points possibles de fonctionnement (en courant tension continu) en sortie du champ photovoltaïque pour créer une tension continue intermédiaire. Ce système de recherche du point optimum de fonctionnement est appelé système MPPT (pour Maximum Power Point Tracking). Puis un deuxième système électronique appelé onduleur convertit la tension continue intermédiaire en tension alternative compatible en tension et en phase avec celle du réseau électrique tout en injection dans le réseau électrique un courant électrique alternatif tel que la puissance injectée égale à celle provenant du champ photovoltaïque, moins les pertes électriques dans l'onduleur.

L'électronique de l'onduleur photovoltaïque doit aussi prendre en compte les normes de sécurité en vigueur, tel que le découplage du réseau électrique en cas d'absence momentanée de celui-ci ou

encore éviter l'émission d'harmoniques sur le réseau pouvant perturber le fonctionnement d'appareils électriques sensibles. Une partie du suivi du bon fonctionnement de l'installation photovoltaïque peut aussi être assuré par l'onduleur en enregistrant ou en transmettant sur un serveur les informations de fonctionnement.

b- Caractéristiques électriques d'un onduleur [20]

Les onduleurs photovoltaïques possèdent des caractéristiques électriques à respecter pour les utiliser correctement. Voici les principales caractéristiques :

1-Coté courant continu en entrée :

- La puissance maximum en entrée : $P_{in\ maxi}$ en watt
- La tension maximum en entrée : $V_{in\ maxi}$ en volt
- La plage de tension de fonctionnement mpp en entrée : de $V_{mppt\ mini}$ à $V_{mppt\ max}$
- L'intensité maximum en entrée : $I_{in\ max}$ en ampère

2-Coté courant alternatif en sortie :

- La puissance nominal maximum de sortie : $P_{out\ max}$ en watt
- la tension typique et la plage de fonctionnement en sortie: V_{actyp} , de $V_{ac\ mini}$ à $V_{ac\ max}$
- L'intensité maximum en sortie : $I_{ac\ max}$
- Rendement de conversion à la puissance nominal

3.2-Etude expérimentale

3.2.1- Région de M'sila

M'sila, dans ses limites actuelles, occupe une position privilégiée dans la Partie centrale de l'Algérie du nord dans son ensemble, elle fait partie de la région des Hauts Plateaux du centre et s'étend sur une superficie de 18.175 km².

Sa position géographique fait que sa vocation principale demeure l'agro-pastoralisme tributaire d'une pluviométrie malheureusement faible et irrégulière ne dépassant pas les 250mm par an . Elle est limitée :

- Au Nord Est : les wilayas de Bordj Bou-Argeridj et Sétif.
- Au Nord Ouest : les wilayas de Médea et Bouira.
- A l'est : la wilaya de Batna.
- A l'ouest : la wilaya de Djelfa.
- Au Sud Est : la wilaya de Biskra.

Ses coordonnées géographiques sont : - Altitude :477 m, Latitude :35°7 Nord et Longitude : 4°54'194 Est

3.2.2- Le climat

Le climat de la Wilaya est de type continental soumis en partie aux influences sahariennes. L'été y est sec et très chaud, alors que l'hiver y est très froid. Sur le plan pluviométrique, la zone la plus arrosée est située au nord, elle reçoit plus de 480 mm par an (Djebel Ech-Chouk, Chott de Ouenougha), quant au reste du territoire, la zone la plus sèche est située à l'extrême sud de la Wilaya et reçoit moins de 200 mm/an. Les précipitations moyennes annuelles de la wilaya en 2010 sont de 153 mm par ans. Les températures moyennes mensuelles de l'année sont de 20 C°, enregistrées au mois plus chaud (Août) sont de 32 C° et le mois plus froid (Janvier) sont de 11 C°. Les températures min et max, enregistrées (-0,2) C° en mois de janvier et (45,7) C° en mois de juillet.

3.2.3- Orientation du champ PV

En Algérie, et plus généralement dans tout l'hémisphère nord, on privilège toujours une orientation du champ PV vers le sud 0 (plein sud) comme représenté sur la figure (3.5).

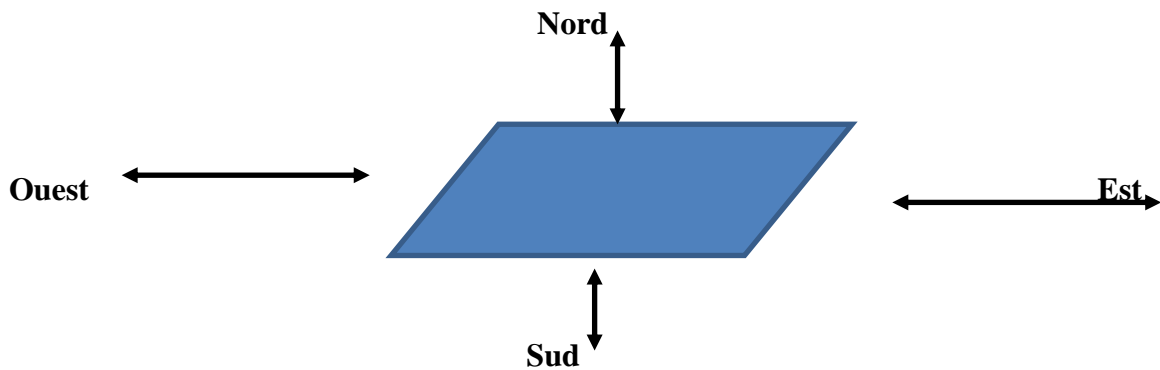


Figure . 3.5-: Orientation du champ PV

3.2.4- L'angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison correspond à l'angle formé par le plan du module solaire par rapport à l'horizontale voir la figure ((3.6)).

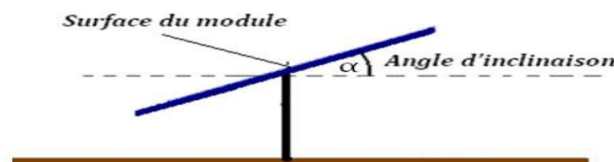


Figure .3.6-: Angle d'inclinaison des modules photovoltaïques

3.3- Détermination du gisement solaire

On peut déterminer le gisement solaire du lieu choisi par :

- 1- Données réelles mesurées par des stations météorologiques.
- 2- Calculer par un modèle mathématique.
- 3- Les données fournit par : NASA, PVGIS, RETScreen ou Meeonorm.

L'irradiation moyenne mensuelle decommune à M'sila donnée par le PVGIS (PhotoVoltaic GISement).

- 1- Aller à : <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=fr>

La carte géographique de la region de M'sila indique sur la figure (3.7)et les valeurs de rayonnement solaire monssionnés sur le tableau (3.1)

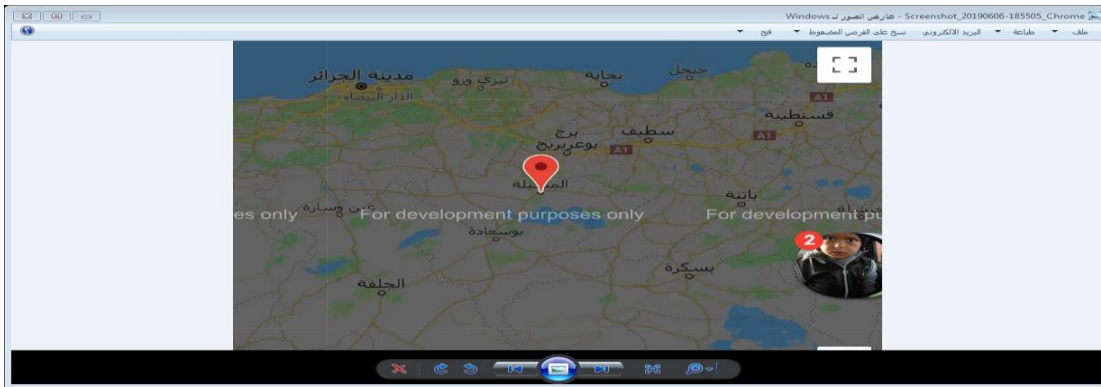


Figure .3.7:- Crte géographique de la region de M'sila

Nous obtenions les résultats suivants .

L'angle d'inclinaison optimale est: 33 degrÅs

Irradiation annuelle perdue Å cause des ombres (horizontale): 0.0 %

Mois	Hopt	lopt
Jan	4790	61
Fev	5440	53
Mar	6510	39
Avr	6590	25
Mai	6780	11
Juin	7040	3
Jui	7250	6
Aug	7250	18
Sep	6400	34
Oct	6100	48
Nov	5010	58
Dec	4430	63
AnnÅe	6140	33

Hopt: Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale (Wh/m2/jour)

lopt: Inclinaison optimale (deg.)

Tableau .3.2- : Irradiation moyenne mensuelle de M'sila

3.4- Réalisation de l'arbre solaire

Nous avons réalisé notre arbre solaire en utilisant les composants suivants:

3.4.1 -Cellules photovoltaïques

Pour la conception l'arbre solaire, nous avons besoin de 25 cellules solaires (voir image 3.8) qui sont caractérisés par :

- P_{max} : 3.0W
- V_{oc} : 7.2V
- I_{cc} : 0.56 A
- V_{mp} : 6 V
- I_{mp} : 5 A

Maximum system voltage : 1000 V



Figure .3.8-: Cellules photovoltaïque

3.4.2- Barres de fer

Nous avons besoin de 7 barres de fer pour fixer les cellules solaire où les supports des feuilles sont symétriques et ses dimensions sont:

- Deux branches avec 1.10m
- Deux branches avec 0.9m
- Trois branches avec 0.8m
- La distance avec les branches est 0.6m



Figure .3.9-: 1^{er} étape concernat la coupure et la cédure de support métallique

3.4.3- Branchement les cellules

Dans cette étape nous avons fixé les cellules solaires sur le support en prend compte l'orientation optimal tout en évitant l'ombre.



Figure. 3.10-: 2^{ème} étape fixation les feuilles

3.4.4- Câblage électrique

Nous avons besoin des files électriques de 30m pour connectées les cellules photovoltaïques (15m en couleur rouge et 15m en couleur noir).

3.4.5-Régulateur

Pour calculer la puissance des panneaux solaires, nous avons besoin un de régulateur qui caractérise par :

La Tension : 12v-24v

La courante : 30 A



Figure .3.11:-Régulateur choisie

3.4.6- Batterie

Le stockage de la charge pour assurer l'alimentation des équipements électriques ; la batterie qui adapte le besoin énergétique est :

- Batterie Gel(12v-150 ah)



Figure .3.12:-Batterie adaptée

3.5- Résultat expérimental

3.5.1- L'inclinaison

D'après nos expériences réalisées, on a pu constater que de l'intensité électrique FOURNIT PAR les cellules variés pararraport l'inclinaison des cellules. Celle-ci est maximale quand la cellule est perpendiculaire aux rayons lumineux.

Nous avons donc dû chercher l'inclinaison des rayons du soleil par rapport à la Terre pour orienter au mieux les cellules de notre arbre.

L'étude expérimentale de notre arbre se déroule dans la période de mai et de juin par les mesures de l'intensité et la tension Nous avons donc cherché pratiquement la meilleure inclinaison avec une cellule reliée à un ampèremètre. Les résultats de cette étape sont montrés dans tableau (3.3).

Inclinaison par rapport à l'horizontale	Intensité
0°	1.64
5°	1.39
10°	2.24
15°	2.89
20°	3.23
25°	3.26
30°	3.45
35°	3.78
40°	2.84

Tableau .3.3- :l'intensité en fonction de l'inclinaison

Donc nous avons fixe les panneaux de l'arbre solaire à 33°.

3.5.2- Branchement des cellules photovoltaïques

Le dimensionnement qui a fait montre la meilleur configuration de branchement est trois cellules photovoltaïques en série et pour dix cellules branches en parallèle. Le résultat montré dans tableau (3.4).

	U (v)	I (mA)
Toutes les cellules sont Éclairées	20.1	3.5
1 cellule est à l'ombre	20.1	2.9

Tableau .3.4-:résultat de l'intensité et la tension

3.5.3- Puissance électrique

Pour comparer la puissance électrique fournie par notre arbre, nous avons également construit un panneau fixe incliné à 33° (Fig .3.13).avec le même nombre de cellules et le même branchement électrique que notre arbre.



Figure.3.13-: Mesure électrique de l'arbre et des panneaux fixés

Nous avons mesuré la puissance électrique à différents moments d'une journée type ensoleillée (le lundi 18 juin). Le panneau fixe était orienté au Sud-Nord alors que la face avant de l'arbre était au Sud. La figures (3.14) montre la variation du courant en fonction de la tension pour les panneaux fixés et l'arbre solaire respectivement .

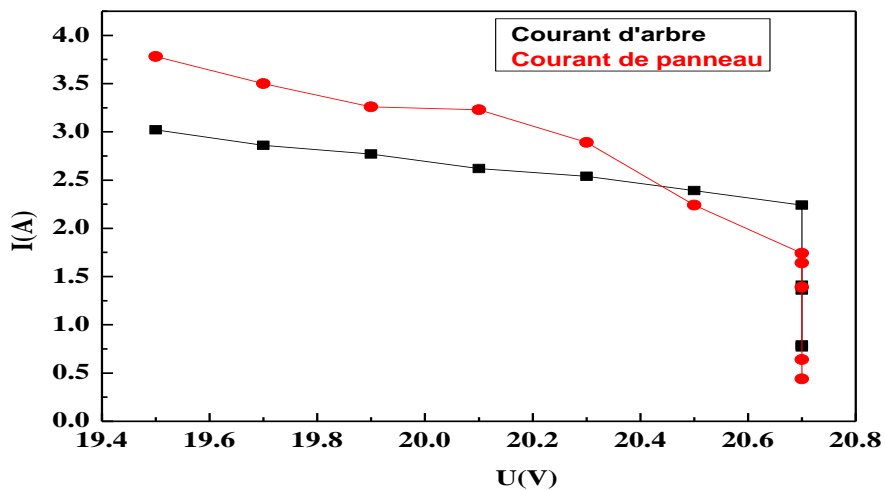


Figure.3.14-: Courant en fonction de la tension

Nos résultats de la caractéristique $I(V)$ est approximativement les résultats théoriques.

Sur la figure (3.16) nous présentons la puissance électrique fournie par les panneaux fixés et l'arbre solaire en fonction du temps.

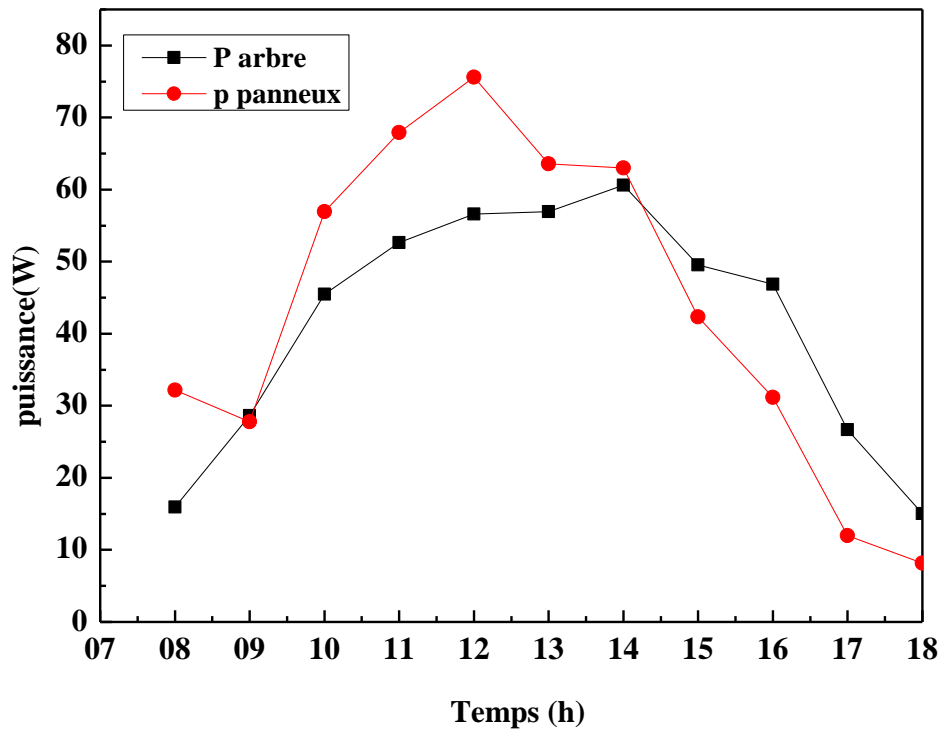


Figure .3.15- : Variation de la puissance production avec le temps

L'analyse des courbes montre:

-On a mentionné que la puissance maximale a été dans la période 12h00 jusqu'à 13h00 pour les deux systèmes.

-La production de panneaux fixé est meilleure que celle de arbre solaire entre le période 08:00h à 14:00h tell que :

- La productivité journalière des panneaux fixés solaire est d'environ 386.978 Wh/jour, alors que pour du arbre solaire, elle atteint 316.361 Wh/jour

-La production de l'arbre solaire est meilleure que celle de panneaux fixés entre le période 14:00h à 18:00h tell que la puissance fournie par l'arbre est 113.046 W en pabelle, la puissance des panneaux fixés 93.684 W

3.5.4- Paramètres influant sur le rendement de l'arbre

Pour optimiser le rendement des cellules de l'arbre on aurait pu prendre en compte l'énergie globale du flux lumineux c'est à dire l'énergie diffuse et l'énergie directe.

Les cellules chauffent trop elles produisent moins d'énergie. Pour améliorer leurs rendements on cherche des condition favorables qui permettra le bon fonctionnement de système PV.

Conclusion

Conclusion

L'énergie solaire est un type renouvelable, propre et inépuisable, elle est suffisamment disponible sur le territoire algérien.

L'importance de notre travail se base sur l'exploitation de l'énergie solaire pour produire l'électricité. A cet effet nous avons détaillé une étude sur le gisement solaire en Algérie qui a 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, la durée d'ensoleillement elle dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara.

Nous avons présenté les notions fondamentales concernant le principe de l'effet photovoltaïque, les méthodes de fabrication des cellules solaires et les différents constituants de base d'une cellule photovoltaïque conventionnelle.

Nous avons réalisé un prototype d'arbre solaire artificiel en utilisant de la matière disponible dans le marché local : 25 cellules solaires, support métallique, files électriques, régulateur et batterie.

L'étude expérimentale a montré que la puissance maximale était fournie par l'arbre solaire d'une valeur de 316.361 Watt.

La production de panneaux fixé est meilleure que celle de l'arbre solaire entre le période 08:00h à 14:00h à d'environ 386.978 W, alors que pour de l'arbre solaire, elle atteint 316.361 W.

Par contre la production de l'arbre solaire est meilleure que celle de panneaux fixés entre le période 14:00h à 18:00h, tell que la productivité journalière des panneaux fixé est d'environ 93.684 W alors que pour de l'arbre solaire elle atteint 113.046 W.

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

L'avantage majeure de la réalisation de notre arbre solaire est de limiter le maximum la surface de la conception. Alors les résultats trouvés sont encouragés en proposant de faire à l'avenir une étude de grand arbre solaire installé au sein du pôle universitaire de M'sila.

Conclusion

Bibliographie

Bibliographie

- [1] M. SALMI Mohamed ,Support de cours : Gisment Solaires. Université de M'sila(2015)
- [2] J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire . Dunod (1984).
- [3] R. Bernard ; G. Menguy ; M. Schwartz, Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation Lavoisier, 2 ème édition (1980).
- [4] M. Salmi « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques ».Thèse de doctorat, Université de de SÉTIF, (2012).
- [5] http://www.lamap.fr/bdd_image/380_dossier_energie_solaire.pdf (consulté mois du Mars 2010).
- [6] R Alain : Gisement solaire et transferts energetiques. Mémoire de D.E.A.,Cergy-Pontoise, janvier 2011.
- [7] T. Nacer Eddine«Modélisation et Simulation d'unSystème Photovoltaïque». Thèse deMASTER ACADEMIQUE. Université de El-Oued,2015.
- [8] A Hamlat et S M El amine : L'impact des energies renouvelables sur le réseaelectrique ouest algérien 220 kv. Mémoire de D.E.A., Tahar Moulay de Saïda,2014.
- [9] S Matallah : Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïquepour alimenter un habitat dans la wilaya d'ouargla. Mémoire de D.E.A., KasdiMerbah - Ouargla, 2015.
- [10] Amal Resfa«Étude d'un système de pompage photovoltaïque». Thèse deMASTER . Université de Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen,2017.
- [11] <http://www.algerie-eco.com/2018/04/04/energie-solaire-lalgerie-enfin-determinee-a-exploiter-so-enorme-potentiel/#>
- [12] l.brahim et madi. S: "Etude et caractérisation d'un panneau photovoltaïque type condor ". Thèse de master . Université de A.MIRA de Béjaia,2015.
- [13] Sofian Abada " Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recherche d'une Baherie avec une convertisseur Sepic" la faculté des études supérieurs et Thèse doctorales de une Université la val
- [14] K.Touafet; " Etude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique" . Thèse de Magister.Ecole nationale polytechnique .Alger.(2005).
- [15] <http://www.Hallou Solaire.com>
- [16] S. Petibon " Nouvelles architecteure distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour l'application photovoltaïque". Universitéde toulouse .(2009).
- [17] juin 2007.[http:// www.scribd .com](http://www.scribd.com) . B.Flèche." Energie solaire photovoltaïque.doc".

Bibliographie

- [18] Hananou Fatiha Rouabah Aicha "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque " .
Thèse de Master.Kasdi merbah Ouargla. 2014.
- [19] MERABET Abd El Hak« Dimensionnement d'un système d'alimentation en énergie électrique par voie photovoltaïque pour l'alimentation d'une habitation»
mémoire de master. Université de Biskra 2018
- [20] Note de cours : Inter Aide Sierra Leone – Support Electrique pour Installation Solaire
- [21] <http://www.flexyourte.com/panneau-photovoltaïque.html>
- [22] B. Hamza «Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw»
mémoire de master. Université de BOUMERDES 2017.