

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Présenté par :

* **BIDI Manel**

Thème :

Conception d'une centrale photovoltaïque pour recharge de voitures

Encadreur :

* **Amirat Belkacem**

Soutenue publiquement le : 26 juin 2019

Devant le jury composé de:

Ihaddadene R	MCA
Amirat B.	MCB
Bouaouina L	MCB
Taloub D	MCB

Année Universitaire : 2018 / 2019



Remerciements :

Je remercie premièrement le bon Dieu pour son bien fait.

J'adresse aussi et chaleureusement toute ma gratitude à mon respecté encadreur Monsieur AMIRAT BELKACEM, pour son aide et son précieux concours.

Mon vif remerciements vont aussi à mes parents qui nous ont donné la lumière et guidés et à tous mes professeurs qui m'ont orientés, assistés et aidés à concevoir ce mémoire ainsi qu'à tous ceux qui, durant ma vie scolaire et universitaire m'ont apporté leurs précieux conseils et m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui.

Finalement je remercie l'université de Mohamed Boudiaf M'sila et le département de mécanique.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon père, et à ma mère, en témoignage de
Ma reconnaissance et ma gratitude pour leur soutien et leur
Compréhension durant toutes mes études.

A mes frères

Mon très cher frère : Younes

A mes amis : widad, olaya, Fayza, Rahima, Meriem et Maria.



Résumé

Le thème traité parle de l'énergie solaire photovoltaïque. Cette l'énergie prometteuse provient de la lumière et de la chaleur du soleil.

Le but de recherché est d'arriver à éliminer progressivement les énergies fossiles en les remplacements par les énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire.

Les énergies fossiles sont suivi ils à l'environnement est par conséquent à la planète qui est notre seule richesse.

Mots clés : soleil, énergie renouvelable, énergie photovoltaïque.

المخلص

موضوع دراستنا يتمحور حول الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، هذه الطاقة الواعدة تأتي من ضوء وحرارة الشمس.

الهدف من هذا البحث هو التخلص التدريجي من الطاقات الأحفورية عن طريق استبدالها بالطاقات المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية .

تأثر الطاقات الأحفورية سلبا على البيئة وبالتالي على الكوكب الذي هو مصدر ثروتنا الوحيد.

الكلمات المفتاحية: الشمس، الطاقة المتجددة، الطاقة الكهروضوئية.

Abstract

In this work , we study about solar photovoltaic energy. This remenable energy comes in the light and heat of the sum.

The main goal of this search is the gradually disposal of fossil engiens by replacing them by renewable energies and especially solar energy.

Fossil energies effect to the environnent adversely , and there fore to the planet which is our only of wealth.

Key words :Solar, renewable energies, photovoltaic energy.

Liste des figures :

Figure I.1 : le soleil.....	(4)
Figure I.2 : la distance entre le soleil et la terre.	(4)
Figure I.3 : le chauffage de la maison par énergie solaire passive.....	(5)
Figure I.4 : éclairage naturel.	(6)
Figure I.5 : principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température.....	(7)
Figure I.6 : centrale thermodynamique parabolique.....	(7)
Figure I.7 : centrale thermodynamique à tour.	(8)
Figure I.8 : centrale thermodynamique cylindro-parabolique.	(8)
Figure I.9 : schéma représente la production de l'eau chaude.	(8)
Figure I.10 : centrale photovoltaïque.....	(9)
Figure I.11 : schéma production de l'électricité par cellule photovoltaïque.	(9)
Figure II.1 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en kWh/m ² /jour sur un plan horizontal.	(13)
Figure II.2 : Différents composants du rayonnement.....	(14)
Figure II.3 : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.....	(15)
Figure II.4 : raffinage de silicium.....	(16)
Figure II.5 : structure cristalline de silicium.	(16)
Figure II.6 : Diagramme de bandes d'énergie du silicium.	(17)
Figure II.7 : Structure électronique d'un atome de silicium.	(18)
Figure II.8 : silicium dopé N.....	(19)
Figure II.9 : silicium dopé P.....	(19)

Figure II.10 : Le dopage N et P du silicium.....	(20)
Figure II.11.a : Représentation d'une jonction PN.....	(21)
Figure II.11.b : Coupe transversale d'une jonction PN.....	(21)
Figure II.12: l'effet photovoltaïque.....	(22)
Figure II.13 : étapes de fabrication d'un panneau solaire.....	(23)
Figure II.14 : différentes composants de panneau photovoltaïque.....	(24)
Figure II.15 : principe de fonctionnement de panneau solaire.....	(24)
Figure II.16 : Formation d'un module PV de 36 cellules série et 2 branches en parallèle et un Générateur PV de 15 modules série et 2 branches en parallèle.	(25)
Figure II.17 : les caractéristiques électriques (U et I) pour différents éclairements.....	(26)
Figure II.18 : Caractéristique I (V), et P (V) du module PV à 36 cellules série et 2 branche Parallèles.	(27)
Figure II.19 : branchement de panneaux solaire en série.	(28)
Figure II.20 : les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en série.....	(29)
Figure II.21 : branchement de panneaux solaire en parallèle.	(29)
Figure II.22 : les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en parallèle.	(30)
Figure II.23 : types de panneaux solaires.....	(30)
Figure II.24 : Panneau Monocristallin.	(31)
Figure II.25 : Panneau poly-cristallin.	(32)
Figure II.26 : Panneau silicium amorphe.	(33)
Figure II.27 : inclinaison de panneau solaire.	(34)
Figure II.28 : Branchement au régulateur.....	(36)
Figure II.29 : Schéma d'installation type.....	(37)
Figure III.1 : irradiation solaire moyenne.	(40)

Figure III.2 : centrale photovoltaïque.....	(41)
Figure III.3 : voiture électrique.....	(41)
Figure III.4 : la constitution voiture électrique.....	(41)
Figure III.5 : moteur électrique.	(42)
Figure III.6 : station de charge électrique.	(47)

Liste des tableaux :

Tableau.III.1: Comparatif entre les structures pour produire une puissance de 1000W... (46)

Tableau.III.2: Les caractéristiques de la centrale photovoltaïque.....(48)

Les notations des symboles

symbole	Désignation	Unité
H	L'irradiation	Wh/m ²
G	L'éclairement	W/m ²
h	Angle entre la position du soleil et le point directement au-dessus de la surface de la terre.	Degré Celsius
V _{co}	Tension du circuit ouvert d'une cellule	V
V _{coNs}	Tension du circuit ouvert du module	V
N _s	Nombre de cellules en série	Sans unité
I _{cc}	Courant de court-circuit d'une cellule	A
I _{ccNp}	Courant de court-circuit du module	A
P _{max}	Puissance maximale ou puissance crête	W
N _P	Nombre de cellules en parallèle	Sans unité
V _{op}	Tension optimale	V
I _{op}	Courant optimal	A
I _{mod}	Courant du module	A
V _{mod}	Tension du module	V
I	Tension de la cellule	V
P	Puissance du module	W
η	Rendement énergétique	Sans unité
S	Surface active du générateur photovoltaïque	m ²
FF	Facteur de forme	Sans unité
I _{ph}	Courant photovoltaïque	A
I _o	Courant de saturation de la diode	A
n	Facteur d'idéalité de la diode	Sans unité
R _s	Résistance série	ohm(Ω)
R _{sh}	Résistance shunt	ohm(Ω)
I _m	Courant au point PPM	A
V _m	Tension au point PPM	V
V _{sg}	Tension global en série	V
I _{sg}	Courant global en série	A
V _{pg}	Tension global en parallèle	V
I _{pg}	Courant global en parallèle	A

Sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I : Généralité sur l'énergie renouvelable

I .1.Introduction.....	03
I .2. les énergies renouvelables.....	03
I .2.1.l'énergie solaire.....	05
I .2.1.2.le soleil.....	05
I .2.1.3.type d'énergie solaire.....	05
I .2.1.4.l'énergie solaire passive.....	05
I .2.1.5.l'éclairage naturel.....	06
I .2.1.6.l'énergie solaire thermique.....	06
I .2.1.6.1.l'énergie solaire thermique à base température	06
I .2.1.6.2. L'énergie solaire thermique à haute température	07
I .2.1.7.l'énergie solaire photovoltaïque.....	08
I .2.1.8.l'énergie éolienne.....	09
I .2.1.9.l'énergie hydraulique.....	10
I .2.1.10.la biomasse.....	10
I .2.1.11.la géothermie.....	11

Chapitre II: L'énergie photovoltaïque

II.1. Introduction.....	13
II.2. l'éclairement et l'irradiation.....	13
II.2.1. l'irradiation.....	13
II.2.2. l'éclairement.....	13
II.3.rayonnement solaire.....	14
II.4.les différents types de rayonnement.....	14

II.4.1. le rayonnement direct.....	14
II.4.2. le rayonnement diffus.....	14
II.4.3. le rayonnement réfléchi.....	14
II.4.4. le rayonnement global.....	15
II.5. conversion photovoltaïque.....	15
II.5.1. semi-conducteur.....	15
II.5.2. structure cristalline du silicium.....	16
II.5.3. diagramme de bande d'énergie.....	17
II.5.4. le dopage.....	17
II.5.4.1. le semi-conducteurs dopé N.....	18
II.5.4.1. le semi-conducteurs dopé P.....	19
II.5.5. jonction P-N.....	20
II.5.6. l'effet photovoltaïque.....	21
II.6. le panneau photovoltaïque.....	22
II.7. fabrication de panneau photovoltaïque.....	22
II.8. principe de fonctionnement de panneau photovoltaïque.....	24
II.9. les caractéristiques électriques du panneau photovoltaïque.....	25
II.10. l'association de panneau photovoltaïque.....	28
II.10.1. Mise en série.....	28
II.10.2. Mise en parallèle.....	29
II.11. type de panneaux solaire.....	30
II.11.1. le Monocristallin.....	31
II.11.1.1. les avantages.....	31
II.11.1.2. les inconvénients.....	31
II.11.2. le poly-cristallin.....	32
II.11.2.1 les avantages.....	32
II.11.2.2. les inconvénients.....	32
II.11.3. le panneau Amorphes.....	32
II.11.3.1 les avantages.....	33

II.11.3.2. les inconvénients.....	33
II.12. l'installation et la protection.....	34
II.12.1. l'installation et le choix de site.....	34
II.12.2. l'inclinaison.....	34
II.12.3. orientation.....	34
II.12.4. installation solaire.....	35
II.12.4.1. branchement au régulateur.....	35
II.12.5. protection contre la foudre et mise à la terre	37
II.13. entretien de l'installation photovoltaïque.....	37

Chapitre III : Conception de la centrale photovoltaïque

III.1. introduction.....	40
III.2. la centrale photovoltaïque.....	40
III.3. la voiture électrique.....	41
III.3.1. le moteur électrique.....	42
III.3.2. la batterie	42
III.3.4. la puissance de compteur pour la recharge d'une voiture électrique.....	43
III.3.4. les prises recharge d'une voiture électrique.....	43
III.4. les différents calculs de la centrale photovoltaïque.....	44
III.4.1. choix de type de panneau.....	44
III.4.2. calcule du nombre de panneau.....	46
III.4.3. calcule la surface de la centrale.....	47
III.4.4. calcul la puissance d'une chaque station de recharge.....	47
III.4.5. calcul le nombre des voitures recharges dans une station.....	48
Conclusion générale.....	51

Introduction

Générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ainsi que les pays en voie de développement ne cessant de se multiplier. Cette production a triplé depuis les années 60 à nos jours. La totalité de la production mondiale d'énergie provient de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. De plus le recours excessif au stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, la biomasse et l'énergie hydroélectrique, sont des solutions prometteuses pour suppléer les sources d'énergie de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire. On entend par énergie renouvelable, des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. À la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Le type d'énergie renouvelable faisant l'objet du présent travail est l'énergie solaire photovoltaïque qui consiste en la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en électricité par le biais de panneaux photovoltaïques. Ces panneaux photovoltaïques associations série / parallèle de panneaux permettent d'atteindre la puissance utilisable désiré. L'énergie solaire photovoltaïque a longtemps été limitée aux applications rurales pour l'alimentation de sites isolés en électricité ou en eau potable comme cela a été le cas en Algérie. Mais depuis quelques années, le solaire photovoltaïque a fait son entrée dans les agglomérations, notamment dans les pays développement, avec les techniques de l'intégration aux constructions et la technologie des systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Pour décrire cela, ce mémoire est présenté en trois chapitres :

- le premier chapitre aborde les généralités sur l'énergie renouvelable.
- Dans le deuxième chapitre, nous décrivons l'énergie photovoltaïque.
- Le troisième chapitre concerne la conception de la centrale photovoltaïque.

Chapitre I :
**Généralités sur l'énergie
renouvelable**

I.1. Introduction

Dans le monde, la production d'énergie électrique vient principalement des énergies fossiles et combustibles d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel elle conduit à un dégagement massif de gaz polluants et de gaz à effet de serre. La production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO_2 .

L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accident liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux : la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années, ce qui nuit à l'homme et à l'environnement (la faune et la flore)

Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole, limitées (moins de cent ans au rythme actuel de consommation). [1]

Pour remédier à tous ces problèmes, nous recourons aux énergies renouvelables :
Énergie solaire, énergie éolienne, énergie géothermique,....,

I.2. les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être régénérées naturellement.

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- la géothermie. [29]

I.2.1. l'énergie solaire

Non polluante, économique, disponible, aisément transformable, telle est l'énergie solaire. Grâce à des équipements robustes et fiables, les modules photovoltaïques, elle permet de produire de l'électricité.

I.2.1.1. Le soleil

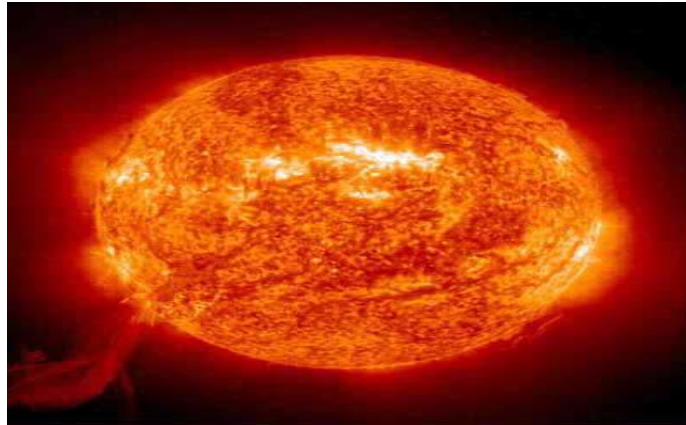


Figure I.1 : le soleil.

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 139.10^4 Km. Le soleil est composé de matières gazeuses, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium et il est le siège de réactions de fusion nucléaire permanentes et sa température de cœur atteint 10^7 K.

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre ,150millions de kilomètres environ, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180millions de giga watts, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux sources d'énergie fossiles.

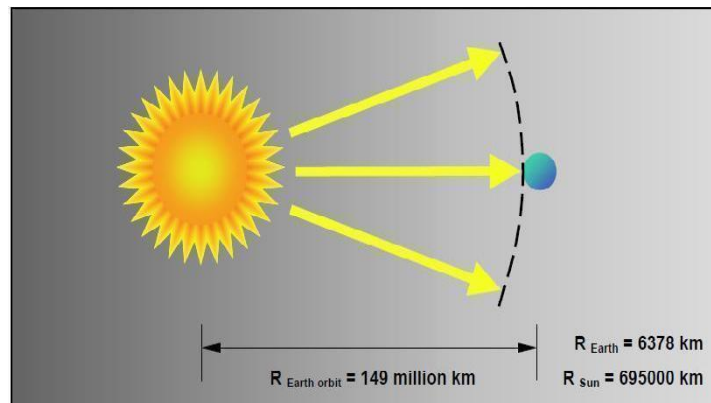


Figure I.2 : la distance entre le soleil et la terre.

I.2.1.2. Types d'énergie solaire

Les adeptes de l'énergie solaire se plaisent à rappeler que toute forme d'énergie sur terre a pour origine le soleil.

Que ce soit les vents engendrés par les fluctuations de températures à la surface de la terre, le cycle de l'eau qui s'évapore sous ses rayons, la biomasse qui transforme son énergie en matière organique ou même les combustibles fossiles façonnés lentement par sa chaleur, il est indispensable à toute forme d'énergie terrestre. [2]

I.2.1.3. L'énergie solaire passive

L'énergie solaire passive est une énergie abondante et non polluante qui suppose la conception de bâtiments et la mise en place des composants de construction appropriés.

Le chauffage solaire passif fonctionne comme suit : l'énergie lumineuse du Soleil qui pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres est absorbée par les murs, les planchers et les meubles, puis libérée sous forme de chaleur. Des baies vitrées ainsi que la thermo-circulation permettent de faire diminuer la consommation en d'autres énergies. [3]

Donc l'énergie solaire passive peut être utilisée avec profit tout en améliorant significativement le confort des occupants.

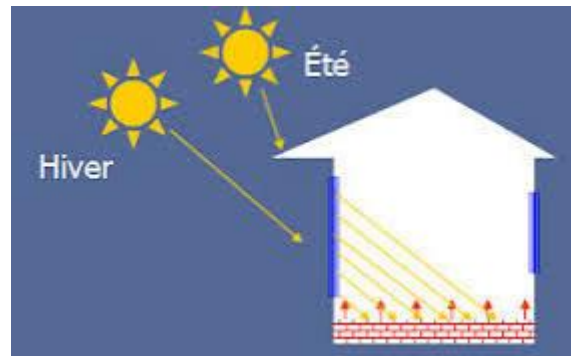


Figure I.3 : le chauffage de la maison par énergie solaire passive.

I.2.1.4. L'éclairage naturel

L'éclairage naturel est défini par l'apport lumineux fourni par le soleil, et est source de lumière dynamique, elle varie continuellement à travers la journée.

Le système doit être activé manuellement.



Figure I.4 : éclairage naturel.

I.2.1.5. L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés pour assurer le chauffage.

Il existe deux types d'énergie solaire thermique :

I.2.1.5.1. L'énergie solaire thermique à base température

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus.

Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct". [4]

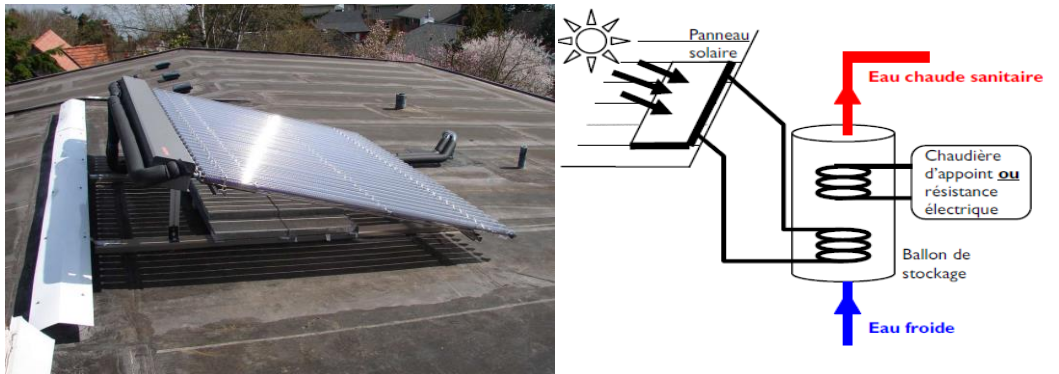


Figure I.5 : principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température.

I.2.1.5.2. L'énergie solaire thermique à haute température

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400 °C et 1 000 °C.

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'hélio-thermodynamie que Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

- Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.



Figure I.6 : centrale thermodynamique parabolique.

- Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.

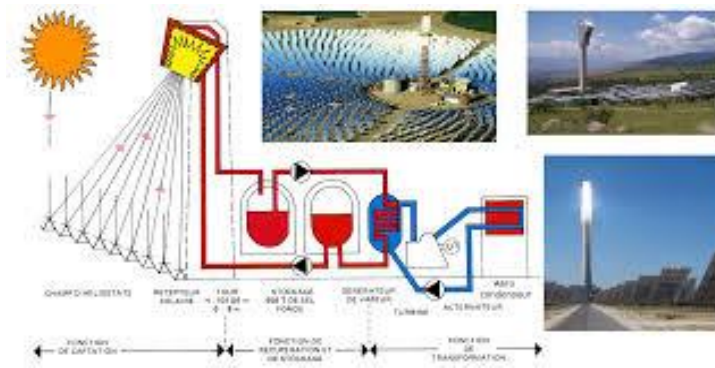


Figure I.7 : centrale thermodynamique à tour.

- Troisième technologie : des capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.

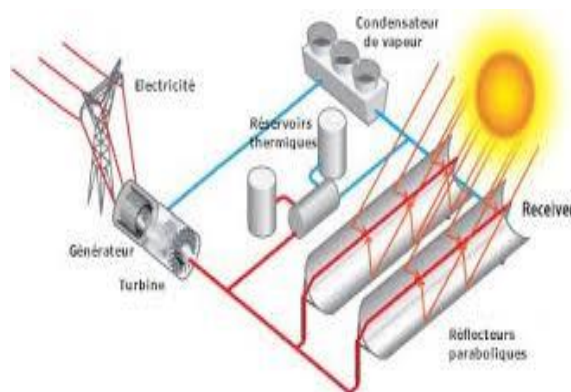


Figure I.8 : centrale thermodynamique cylindro-parabolique.

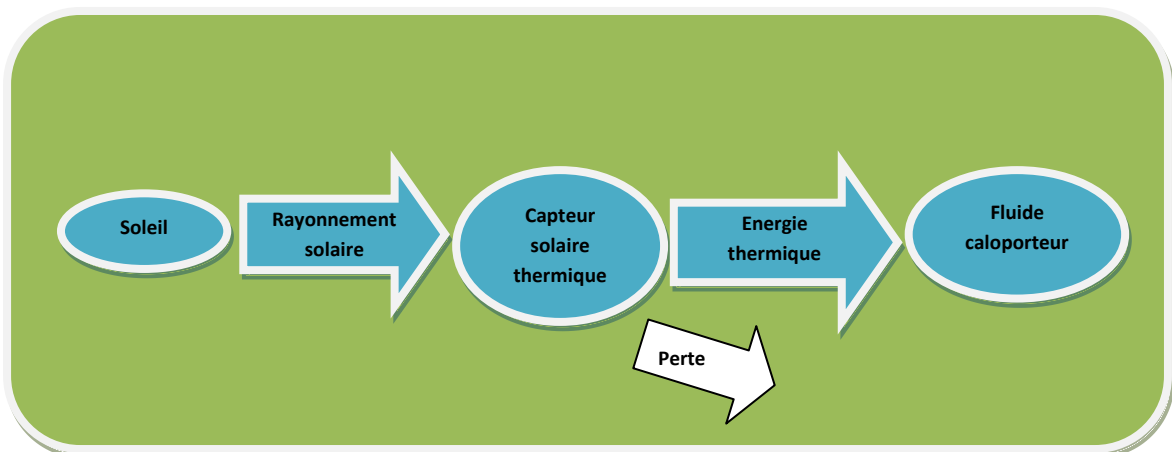


Figure I.9: schéma représente la produire de Léau chauffe.

I.2.1.6. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est la conversion directe de lumière solaire en électricité. Le mot "photo" vient du grec qui veut dire lumière et "voltaïque" vient du nom d'un physicien

Italien Alessandro Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité et d'après son nom on a aussi nommé l'unité de tension électrique le "volt".

L'énergie photovoltaïque est la manière la plus élégante de produire de l'électricité. Elle se produit sans bruit, sans parties mécaniques, et sous pollution.



Figure I .10: centrale photovoltaïque.

Donc l'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable, elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie de rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.

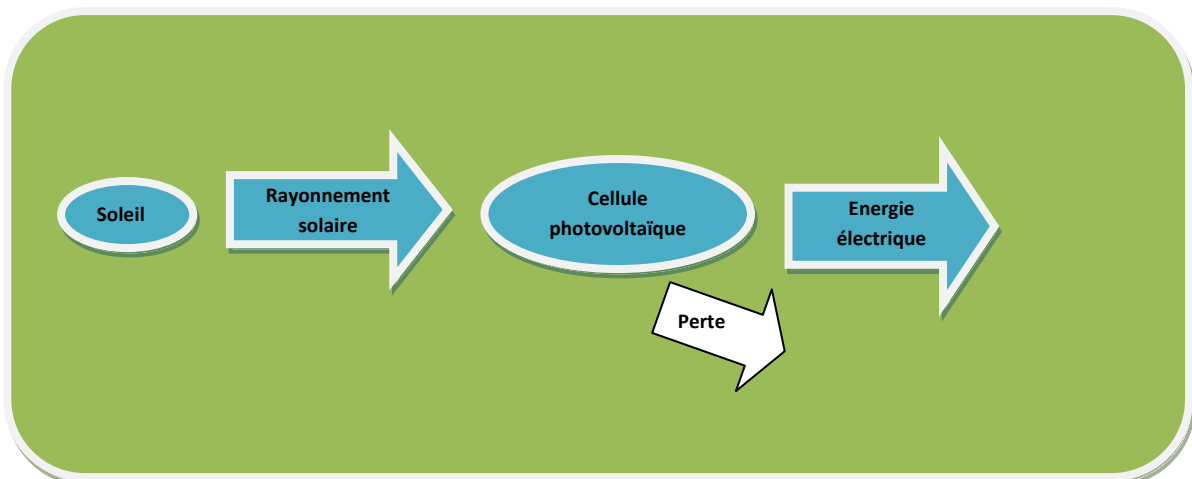


Figure I .11: schéma production de l'électricité par cellule photovoltaïque.

I.2.1.7. l'énergie éolienne

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut

être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou être utilisée par des charges isolées.

- Les éoliennes exploitent le mouvement de l'air pour produire de l'énergie et cela par la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ou électrique.
- L'énergie éolienne, ne produit pas de pollution et constitue une forme d'énergie indéfiniment durable.
- Le vent tourne les pales de l'hélice qui a leurs tours font tourner l'arbre d'une génératrice produisant de l'électricité.

I.2.1.8. l'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique fonctionne un peu comme l'énergie éolienne : le mouvement de l'eau fait tourner une turbine qui produit de l'électricité. Plus l'eau coule vite, plus l'énergie produite est importante. En effet, la quantité d'énergie produite dépend de la pression et du volume d'eau à disposition. La pression est elle-même liée à la différence de hauteur entre la surface du lac et la position de la turbine. Ce mode de production d'électricité est l'un des plus propres et des plus efficaces (pas de déchets ni de CO_2).

Il s'appuie sur une ressource puissante et illimitée qui n'a pas besoin d'être transformée : l'eau passe à travers une centrale, et en ressort intacte ! [5].

I.2.1.9. la biomasse

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des co-produits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage.

Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies [6].

I.2.1.10. la géothermie

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. Plus on creuse profondément, plus on atteint des températures élevées. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité [5]. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie de « haute énergie » (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée et on pourra en faire des usages différents

- L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre.
- Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu' à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux.

Chapitre II
L'énergie photovoltaïque

II.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables la plus utilisée. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique (solaire ou autre) en électricité. Cette dernière est l'une des formes non polluantes et silencieuses de conversion de l'énergie solaire, elle se produit au moyen d'un dispositif de conversion appelée « panneau solaire » basé sur l'effet photovoltaïque.

II.2. L'éclairement et l'irradiation

II.2.1. L'irradiation

L'irradiation est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en $J m^{-2}$ (joule par mètre carré). Symbole **H**. D'autres unités peuvent être utilisées comme le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré). [12]

II.2.2. L'éclairement

L'éclairement est défini comme une puissance reçue par une surface, il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). Symbole **G**. [12]

Signalons que, outre l'incidence de l'atmosphère, l'irradiation solaire dépend :

- de l'orientation et l'inclinaison de la surface.
- de la latitude du lieu et son degré de pollution.
- de la période de l'année et de l'instant considéré dans la journée
- de la nature des couches nuageuses. [14]

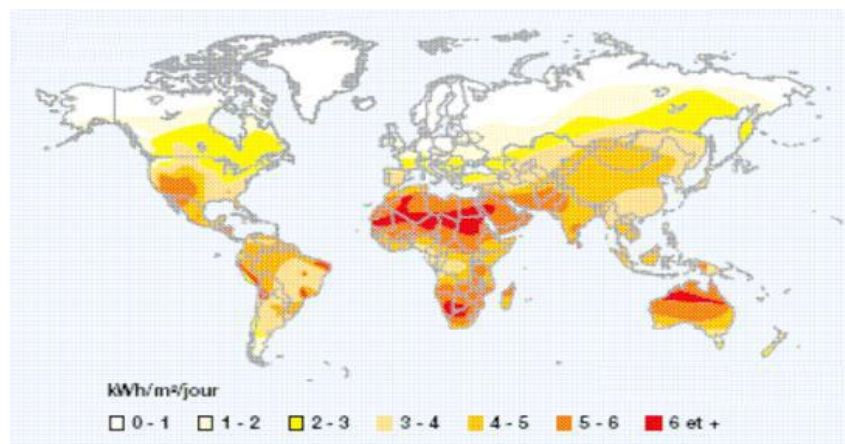


Figure II.1 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en $kWh/m^2/jour$ sur un plan horizontal. [13]

II.3. Rayonnement solaire

Bien que le rayonnement de la surface du soleil soit pratiquement constant, au moment où il atteint la surface de la terre il devient fortement variable, et cela est dû à son absorption et à sa dispersion dans l'atmosphère terrestre.

II.4. Les différents types de rayonnement

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé vers le sol, On distingue plusieurs composantes [7] :

II.4.1. Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire.

II.4.2. Le rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Les deux rayonnements direct et diffus sont illustrés sur la figure (II.2).

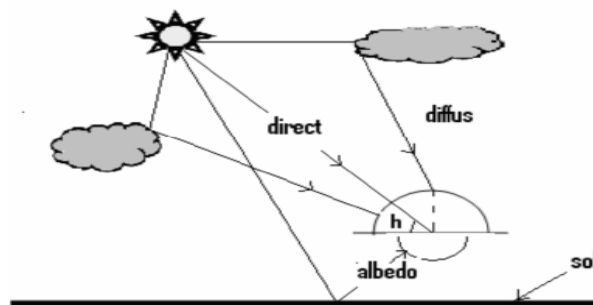


Figure II.2. Différents composants du rayonnement [8].

La conversion photovoltaïque utilisant les modules photovoltaïques(PV) convertit aussi bien le rayonnement direct que le rayonnement diffus.

II.4.3. Le rayonnement réfléchi

C'est la fraction du rayonnement incident diffusée ou réfléchi par le sol et les nuages. Ce terme étant généralement réservé au sol, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour

le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

II.4.4. Le rayonnement global

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements: Direct, Diffus et Réfléchi.

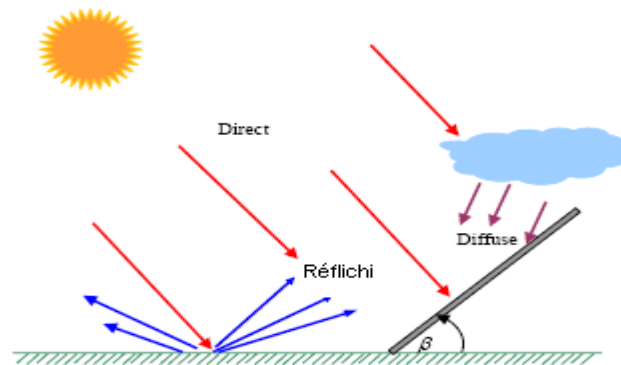


Figure II.3 : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

[1]

II.5. Conversion photovoltaïque

II.5.1. Semi-conducteur

Les semi-conducteurs sont des éléments naturels. Sensibles à la lumière visible et invisible (rayon ultra violet, infrarouge..), Ils conduisent le courant nettement moins bien que les métaux, mais d' autant mieux que la température est plus élevée (Exemples types : le silicium Si, le germanium Ge) La bonne conductivité électrique des métaux est due à la présence des électrons libres du gaz électronique qui parcourent tout le réseau métallique.

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément le plus utilisé car il est peu coûteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice ou dioxyde de silicium SiO_2 contenu dans le quartz ou le sable (**figure II.4.a**), parfaitement stable et non toxique.

Le silicium métallurgique (MG-Si) résulte de la transformation de la silice à l'intérieur d'un four à arc (**figure II.4.b et c**) dont on extrait l'oxygène. Cette réaction est appelée réduction carbothermique.

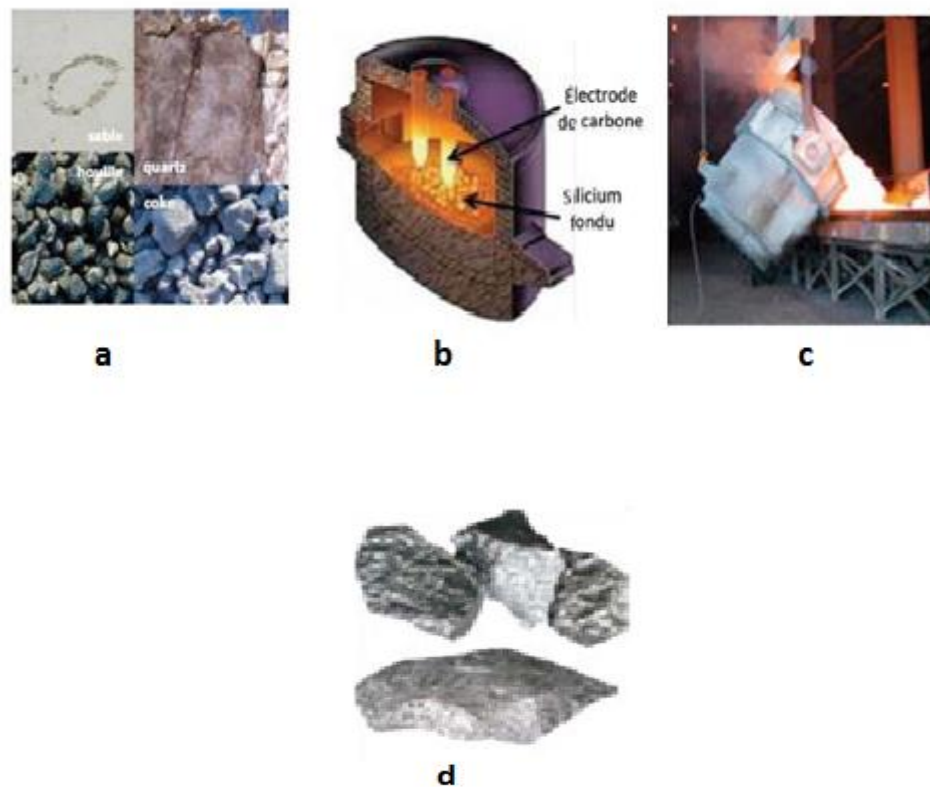


Figure II.4: raffinage de silicium.

II.5.2. Structure cristalline du silicium

Une structure cristalline est constituée d'un assemblage régulier d'atomes (Figure. II.5), Ils mettent en commun des électrons de leur couche périphérique pour constituer des liaisons Covalentes ; La couche électronique périphérique assure la stabilité de l'atome, Elle est complète lorsqu'elle comporte 8 électrons pour atteindre la saturation (la couche périphérique ne peut en comporter d'avantage). [14].

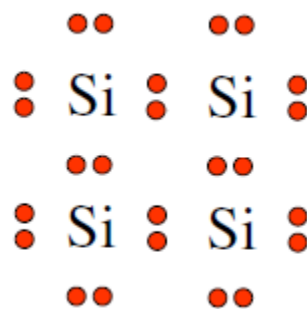


Figure. II.5 : structure cristalline de silicium.

II.5.3. Diagramme de bande d'énergie

La situation peut être résumée au moyen du diagramme de bandes d'énergie illustré à la **Figure II.6**. Celle-ci montre les niveaux énergétiques que peuvent occuper les électrons périphériques issus des atomes du cristal. Les niveaux sont repartis en deux bandes : la bande inférieure, appelée bande de valence est réservée aux électrons participant aux liaisons covalentes ; la bande supérieure, ou bande de conduction, est occupée par les électrons de conduction. Les bandes sont séparées par une région inoccupée appelée bande interdite, dont la largeur correspond à l'énergie du gap E_g , au zéro absolu de la température, les électrons participent tous aux liaisons covalentes et occupent la bande de valence, cf. **figure II.6 (a)**. La bande de conduction est vide et le matériau ne peut conduire un courant électrique. [18]

Lorsque la température augmente, des paires électron-trou sont générées : plusieurs électrons de la bande de valence gagnent de l'énergie et transitent vers la bande de conduction. Les vacances de charge résultantes dans la bande de valence correspondent aux trous, cf. **Figure II.6 (b)**. Sous l'action d'un champ électrique, les électrons de conduction peuvent gagner de l'énergie cinétique : ils transitent alors, au sein de la bande de conduction, vers des niveaux d'énergie E plus élevés. Les trous peuvent également gagner de l'énergie cinétique en transitant au sein de la bande de valence. [18]

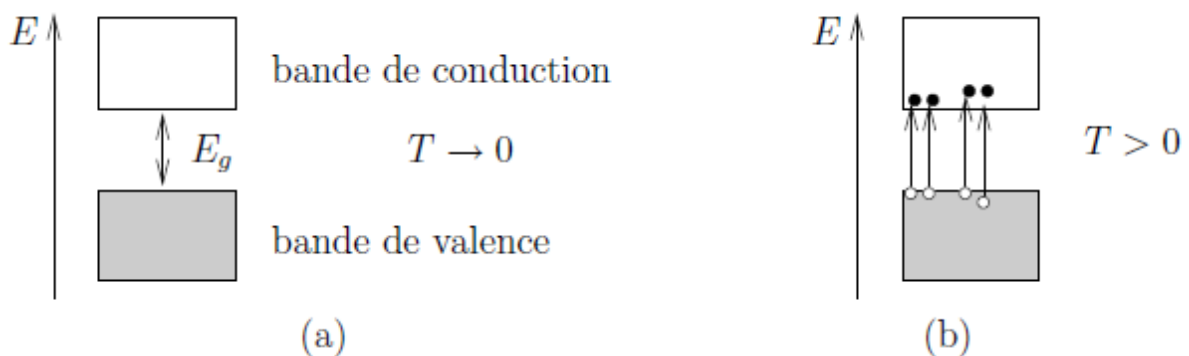


Figure. II.6: Diagramme de bandes d'énergie du silicium.

II.5.4. Le dopage

Le silicium à l'état pur est un semi-conducteur intrinsèque, avec un niveau de Fermi (E_F) placé au milieu du "gap", entre une bande de valence pleine (BV) et une bande de conduction vide (BC). Vis à vis des propriétés de conduction, il est nécessaire de posséder des porteurs mobiles pour permettre l'établissement d'un courant électrique. Avec une BC vide,

une BV totalement remplie et aucun état permis dans le gap, la seule possibilité n'est la génération thermique de paires électrons-trous à travers tout le gap du semi-conducteur. Avec un gap de 1,1eV et $T= 300K$, la probabilité de générer une telle paire est extrêmement faible. De plus le gap du silicium étant indirect (déphasé dans l'espace réciproque), il n'est pas possible de générer ces paires directement avec une source de lumière : un couplage avec les phonons est nécessaire et la probabilité de cet événement est encore plus rare. Le silicium pur est donc extrêmement résistif à température ambiante. [19]

- l'ajout de phosphore (cinq électrons de valence - (K) 2 (L) 8 (M) 5) au silicium (quatre électrons de valence - (K) 2 (L) 8 (M) 4) se traduit par un excès d'électrons dans le réseau : cette association forme alors un semi-conducteur de type N (conduction assurée par des charges négatives).
- l'ajout d'aluminium (trois électrons de valence - (K) 2 (L) 8 (M) 3) au silicium se traduit par un défaut d'électrons formant des trous dans le réseau: il s'agit alors d'un semi-conducteur de type P (conduction assurée par des charges positives).

Le dopage est un moyen d'augmenter la conductivité électrique du corps. Les atomes du matériau de dopage, ou dopant (donneurs ou accepteurs d'électrons), et ceux de l'hôte ont un nombre différent d'électrons périphériques. Le dopage produit ainsi des particules électriques chargées positivement (type P) ou négativement (type N). [20]

II.5.4.1. Le semi-conducteurs dopé N

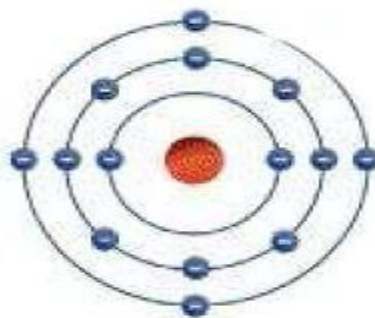


Figure II.7 : Structure électronique d'un atome de silicium.

On remarque qu'il y a 4 électrons libres dans la couche m.

En choisissant un dopant de valence 5 (phosphore, arsenic, antimoine), le semi-conducteur contient des électrons excédentaires qui traduisent des charges négatives supplémentaires : le semi-conducteur est de type N.

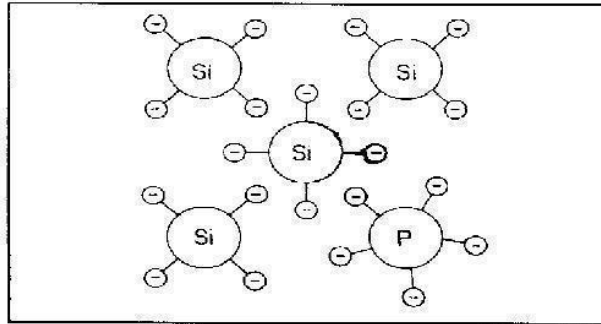


Figure II .8 : silicium dopé N

Dans le silicium de type N, des atomes de phosphore (P) à cinq électrons périphériques remplacent des atomes de silicium : ils offrent donc des électrons (des charges négatives) supplémentaires (un par atome de phosphore). Figure II .10.a

II.5.4.2. Le semi-conducteurs dopé P

En substituant des atomes de valence 3 (bore, aluminium, gallium, indium), des électrons manquant pour compléter les couches périphériques voisines.

Ceci entraîne la présence de charges positives excédentaires : le semi-conducteur est dopé P.

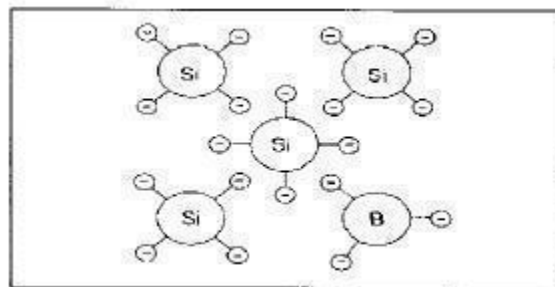


Figure II .9: silicium dopé P

Dans le silicium de type P, des atomes d'aluminium (Al) avec trois électrons périphériques entraînent un défaut d'électrons (création de charges positives) et engendrent la formation de trous (un par atome d'aluminium). Les électrons en excès ou les trous conduisent l'électricité.

Lorsque des zones de semi-conducteurs de type P et de type N sont adjacentes, elles forment une diode ; la zone de contact est appelée jonction P-N. figure II.10.b

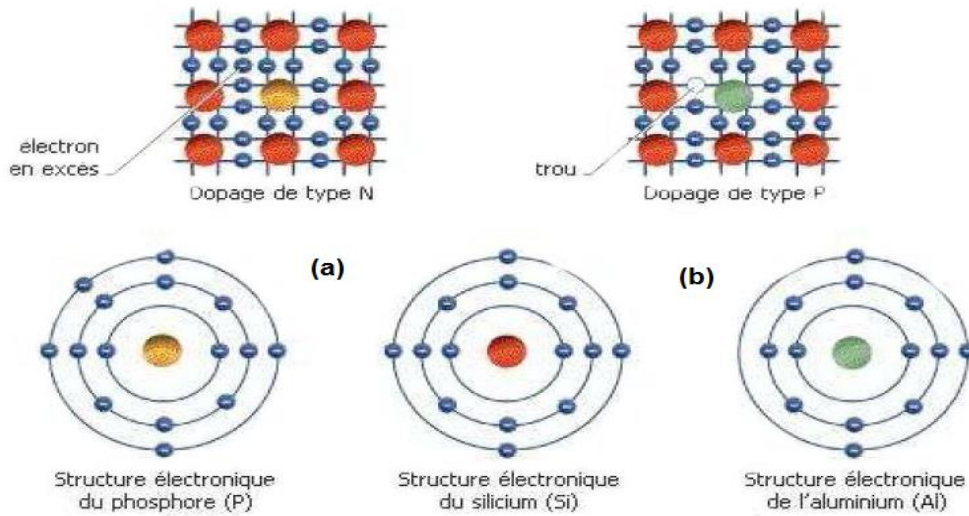


Figure II.10 : Le dopage N et P du silicium [20]

II.5.5. Jonction P-N

Une jonction PN est constituée de deux zones respectivement dopées P et N et juxtaposées d'une façon que nous supposons abrupte (**figure II.11 .a**), c'est-à-dire que la transition de la zone P à la zone N se fait brusquement. Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la région P vont diffuser vers la région N laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui diffusent vers la région P laissant derrière eux des charges positives. Il apparaît aussi au 13niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges créent un champ électrique E qui s'oppose à la diffusion des porteurs de façon à ce qu'un équilibre électrique s'établisse. [21]

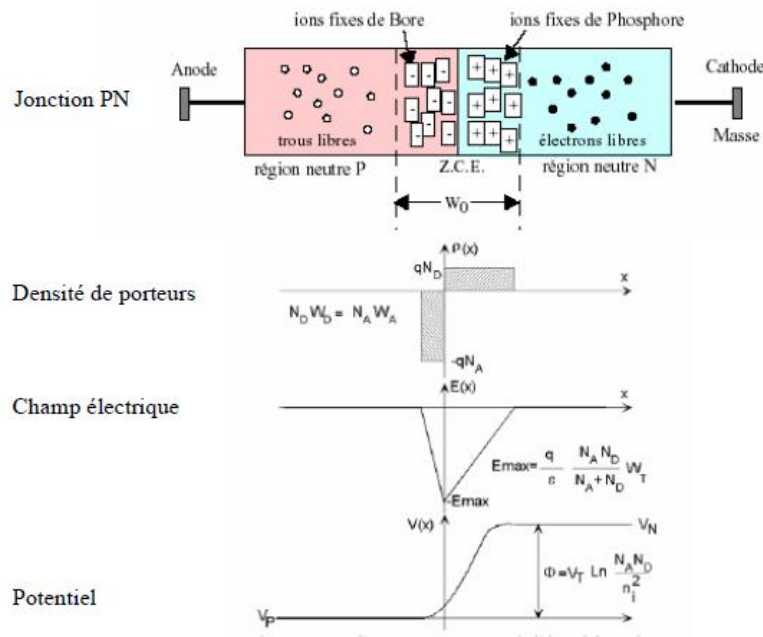


Figure II.11.a : Représentation d'une jonction PN. [21]

ρ : la zone de charge spatiale.

E: la courbe de champ électrique.

V : potentiel d'une jonction PN.

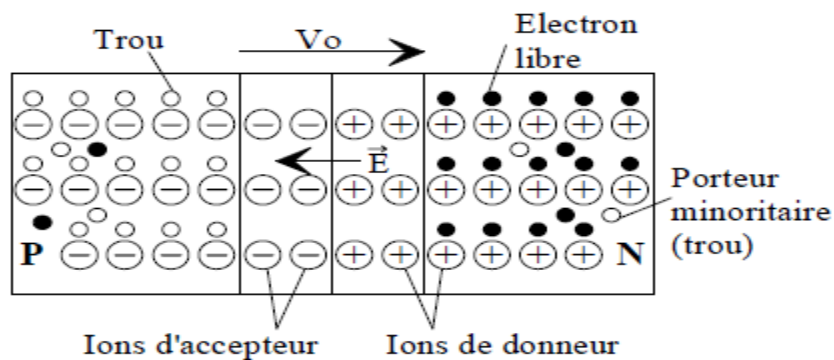


Figure II.11.b : Coupe transversale d'une jonction PN

II.5.6. L'effet photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photovoltaïque, c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charges (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est illuminé avec un

rayonnement de longueur d'onde appropriée, l'énergie des photons absorbée permet des transitions électroniques depuis la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électrons-trous, qui peuvent contribuer au transport du courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'on le polarise [9].

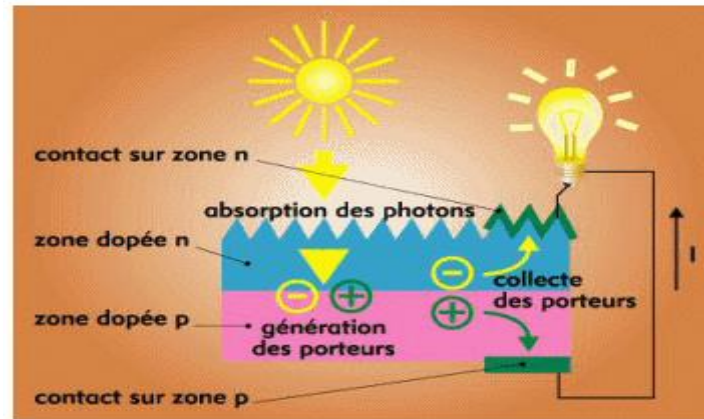


Figure II.12 : l'effet photovoltaïque.

II.6. Le panneau solaire

Un panneau solaire est un dispositif énergétique généralement plat et rigide. Les panneaux photovoltaïques standards mesurent 1,7 mètre de long et 1,0 mètre de large. L'épaisseur de leur cadre en aluminium est de 3 à 4 cm.

Un panneau classique pèse environ 19 kg, soit 11 kg par m². [22]

Il est composé de cellules de silicium, aussi appelées cellules photovoltaïques, capables de capter la lumière du soleil puis de la transformer en courant continu grâce à l'effet photovoltaïque.

II.7. Fabrication de panneau photovoltaïque

➤ La première étape de fabrication d'un panneau solaire consiste à produire des lingots de silicium, c'est-à-dire de grands blocs de silicium ultra-pur (à 99,999999 %).

Pour ce faire, on ajoute à des centaines de kilogrammes de fragments de silicium, une petite quantité de bore, élément semi-métallique dur assez qui permet de donner une polarité positive au silicium. Ces fragments « enrichis » sont ensuite cuits dans un four à plus de 1500 degrés. Le silicium est sorti du four sous forme de barres appelées « lingot ». Les lingots sont

découpées en fines plaques appelées « wafers » à l'aide de scies à fil. L'épaisseur des wafers est inférieure à 200 microns d'épaisseur, soit l'équivalent d'une feuille de papier. [22]

➤ L'étape suivante consiste à traiter chimiquement le wafer pour lui permettre de moins réfléchir la lumière.

A l'issue de ce traitement, la surface des wafers, lisse au départ, est constituée de minuscules pyramides. Cette texture en relief permet d'augmenter la conversion de la lumière en électricité.

Pour que le wafer devienne une cellule photovoltaïque, du phosphore, corps simple non métallique et lumineux dans l'obscurité, est déposée à très haute température sur sa face avant. Cet apport de phosphore permet de donner une polarité négative à cette face avant. Le wafer est maintenant une cellule photovoltaïque, disposant d'une face arrière de polarité négative et d'une face avant de polarité positive. [22]

Il reste à déposer des contacts métalliques sur les faces avant et arrière de la cellule pour collecter les électrons libérés dans le silicium. Chaque cellule photovoltaïque fonctionne donc comme une pile électrique, avec un pôle positif et un pôle négatif, à la différence près que la cellule photovoltaïque ne s'épuise jamais !

Les panneaux les plus courants sont composés de 60 cellules. Les cellules sont disposées entre deux pellicules de résine transparente. Un film en polyester est ensuite placé sur la face arrière. Ce sandwich est placé dans un tunnel dans lequel il est chauffé. Les deux pellicules de résine encapsulent les cellules de façon totalement étanche pour les protéger de toutes les agressions extérieures.

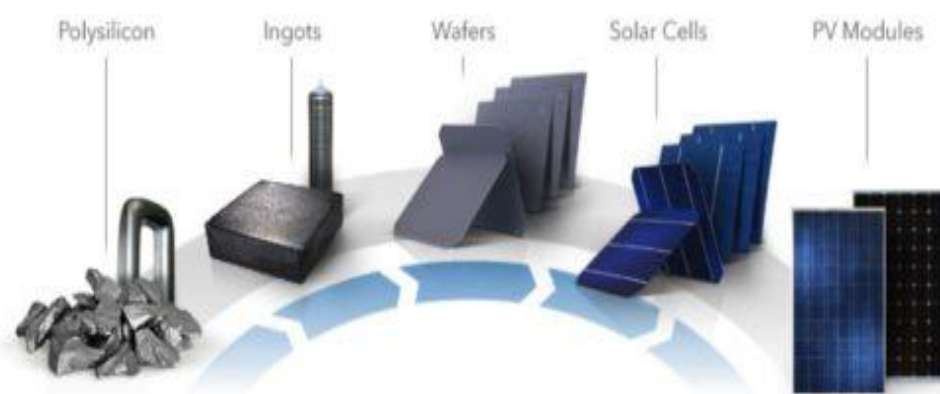


Figure II.13 : étapes de fabrication d'un panneau solaire.

➤ L'étape suivante consiste à placer un verre trempé, dont l'épaisseur est de 3 à 4 mm, en face avant. Le panneau est ensuite équipé de son cadre en aluminium dont la composition et le profil ont été étudiées pour offrir les meilleures qualités de résistance mécanique.

Enfin, une boîte de jonction est fixée à l'arrière du panneau solaire : il s'agit de la borne de sortie de l'électricité solaire. Chaque borne présente un câble « plus » et un câble « moins » équipé d'une connectique spéciale pour assurer la meilleure connexion électrique et une étanchéité parfaite.

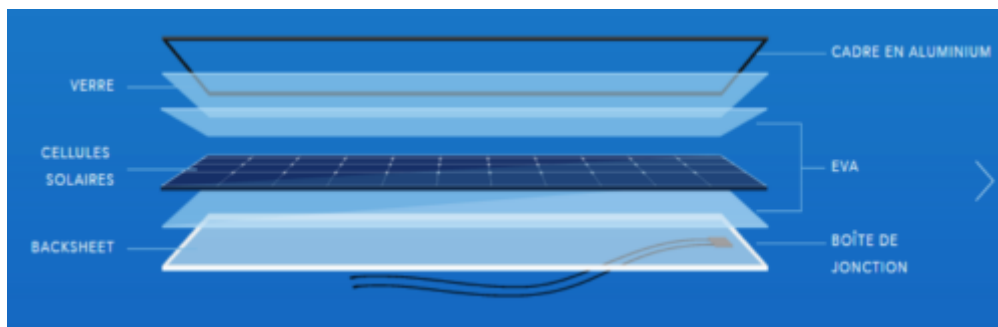


Figure II.14 : différentes composants de panneau photovoltaïque.

II.8. Principe de fonctionnement de panneau solaire

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque à la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium.

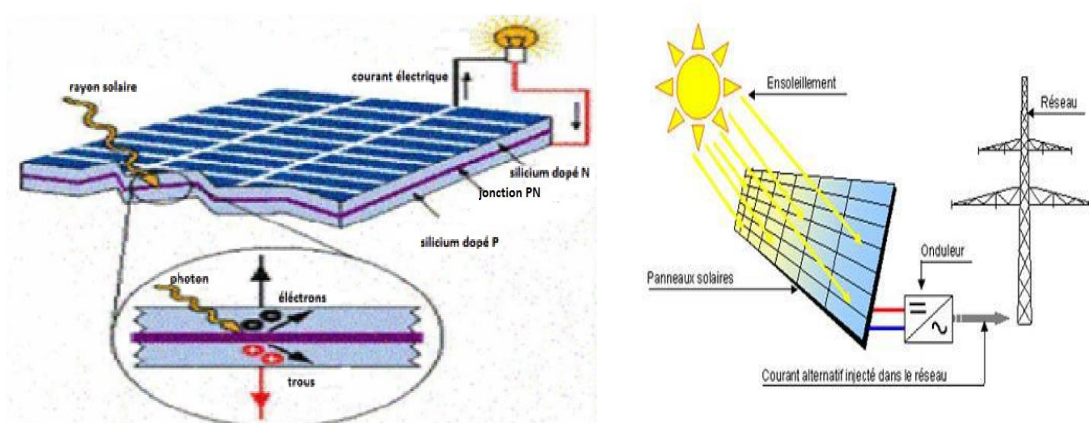


Figure II.15: principe de fonctionnement de panneau solaire.

II.9. Les caractéristiques électriques du panneau solaire

Un panneau photovoltaïque est composé de cellules branchées en série et/ou en parallèle. Ces cellules sont soudées les unes aux autres, traditionnellement sur leur face avant.

Dans le présent travail, le module PV utilisé est formé de 36 cellules en série et 2 branches en parallèle, et le générateur se compose de 15 modules connectés en série et de 2 branches en parallèle [8]

Le passage d'un module à un panneau se fait par l'ajout de diodes de protection, une en série pour éviter les courants inverses et une en parallèle, dite diode by-pass, qui n'intervient qu'en cas de déséquilibre d'un ensemble de cellules pour limiter la tension inverse aux bornes de cet ensemble et minimiser la perte de production associée [10].

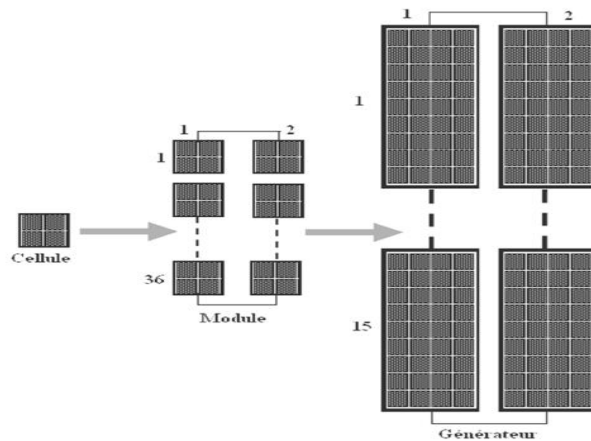


Figure II.16. Formation d'un module PV de 36 cellules série et 2 branches en parallèle et un Générateur PV de 15 modules série et 2 branches en parallèle.

Le courant et la tension aux bornes d'un module photovoltaïque sont exprimés par la relation suivante :

$$I_{\text{Mod}} = N_P \times I \quad (\text{II.1})$$

$$V_{\text{Mod}} = N_S \times V \quad (\text{II.2})$$

Où :

I, V : Sont le courant et la tension aux bornes de la cellule PV respectivement.

$I_{\text{Mod}}, V_{\text{Mod}}$: Sont le courant et la tension aux bornes du module PV respectivement.

N_S, N_P : Sont le nombre de cellules connectées en série et en parallèle respectivement.

L'association série permet d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série

($V_{CO} \times N_S = 0.6 \times 36 = 21.6 \text{ V}$) afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{OP} proche de celle d'une tension de batterie de 12v [9].

L'association parallèle permet d'augmenter le courant de l'ensemble, alors d'augmenter le courant de panneau solaire ($I_{CO} \times N_P = 3 \times 36 = 108A$)

Où I_{CO} :le courant de cellule photovoltaïque.

Les caractéristiques électriques en convention récepteur du panneau pour différents éclairagements sont données sur la (Figure II.16).

On remarque que l'éclairément influe directement sur le courant de cour circuit aussi que sur la valeur de V_{CO} alors il influe sur les caractéristiques $I(V)$

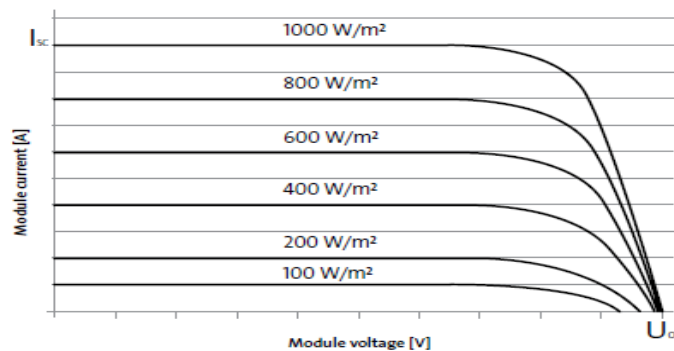


Figure II.17 : les caractéristiques électriques (U et I) pour différents éclairéments.

On remarque que pour chaque éclairément il y a une courbe $I(V)$ qui lui correspond et ça provoque la diminution de rendement du panneau solaire.

La figure (II.17) montre la caractéristique $I(V)$ pour un module de 36 cellules en série et 2 branches en parallèle.

La caractéristique de puissance P (W) est aussi importante et sera visualisée en même temps que la caractéristique I (A). La relation qui donne la puissance est comme suit :

$$P = V_{\text{Mod}} \times I_{\text{Mod}} \quad (\text{II.3})$$

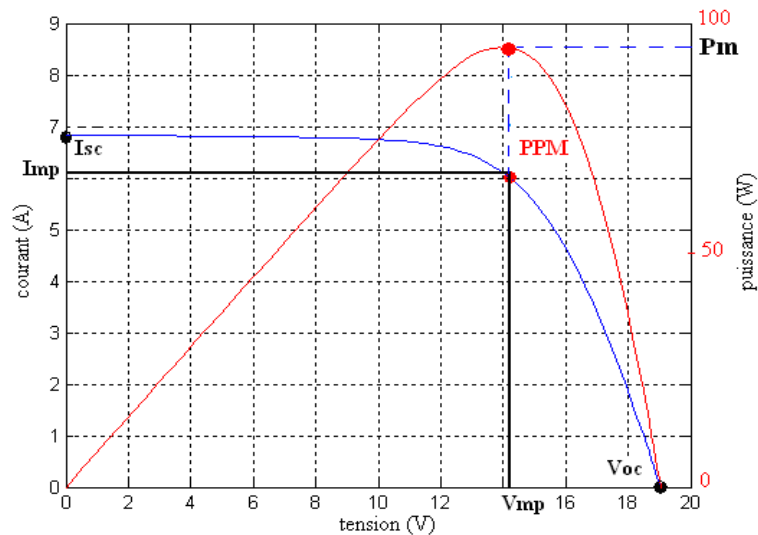


Figure II.18 : Caractéristique I (V), et P (V) du module PV à 36 cellules série et 2 branche Parallèles.

D'après les caractéristiques I (V) et P (V), on peut déterminer les points essentiels suivants [23].

- **Le courant de court-circuit (I_{sc})** : C'est le courant débité par la cellule quand la tension à ses bornes est nulle. En pratique ce courant est très proche du courant photovoltaïque I_{ph}

- **La tension de circuit ouvert (V_{oc})** : C'est la tension qui apparaît aux bornes de la cellule quand le courant débité est nul.

- **Le point de puissance maximale (PPM)**: C'est le point où le générateur travaille en rendement maximal et produit une puissance de sortie maximale.

· I_m et V_m : Le courant et la tension correspondants au point PPM respectivement.

- **Rendement** : Le rendement énergétique d'un générateur photovoltaïque est défini par le rapport entre la puissance électrique maximale générée et la puissance incidente sur sa superficie [15]

$$\eta = \frac{P_{\max}}{G.S} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

G : L'éclairement en Watt/mètre carré (W/m²)

S : La surface active du générateur photovoltaïque en mètre carré (m²)

P_{max} : La puissance maximale délivrée par le générateur PV en watt (W).

Le rendement d'une cellule photovoltaïque est dans le cas général assez faible, de l'ordre de 10

à 13%.

- **Facteur de forme** : C'est le facteur qui indique le degré d' idéalité de la caractéristique I (V).

Le facteur de forme d'une cellule de bonne qualité est supérieur à 0.7 [14], il s'exprime par la relation ci-après :

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (\text{II.5})$$

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (\text{II.6})$$

II.10. L'association de panneaux solaires

II.10.1. Mise en série

Branchement de panneaux en série

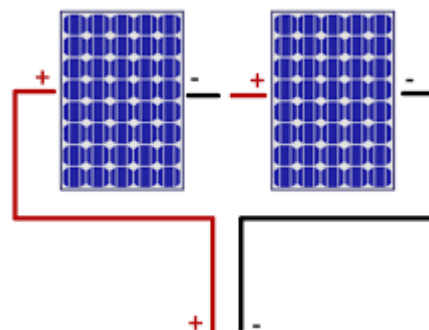


Figure II.19 : branchement de panneaux solaire en série.

Une association de N_s Module en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). 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.

$$V_{sg} = N_s \cdot V_{Mod} \quad \text{où } (I = 0) \quad (II.7)$$

$$V_{sg} = \sum_1^n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad \text{où } (0 < I) \quad (II.8)$$

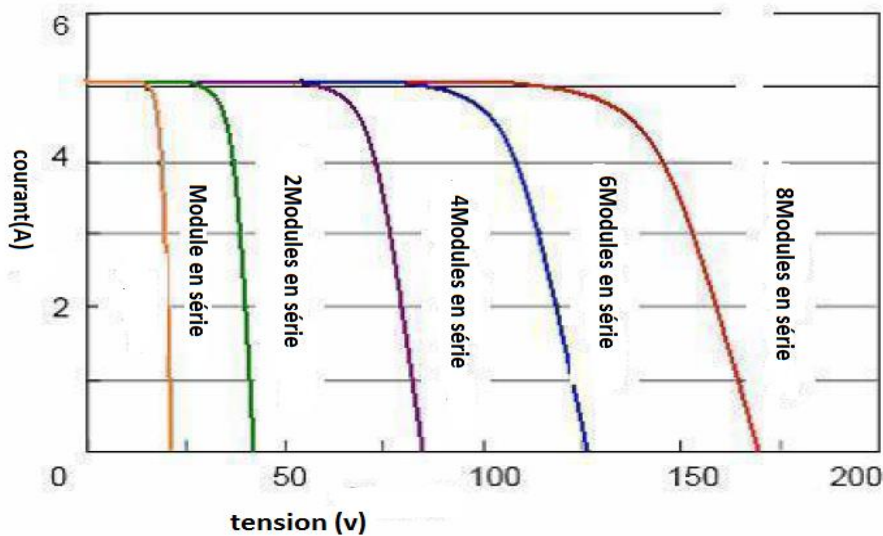


Figure II.20 : les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en série.

II.10.2. Mise en parallèle

Branchement de panneaux en parallèle

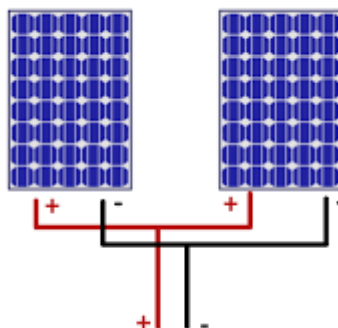


Figure II.21:branchement de panneaux solaire en parallèle.

Une association de N_p Module en parallèle permet d'augmenter le courant du générateur photovoltaïque (GPV). et à la même tension.

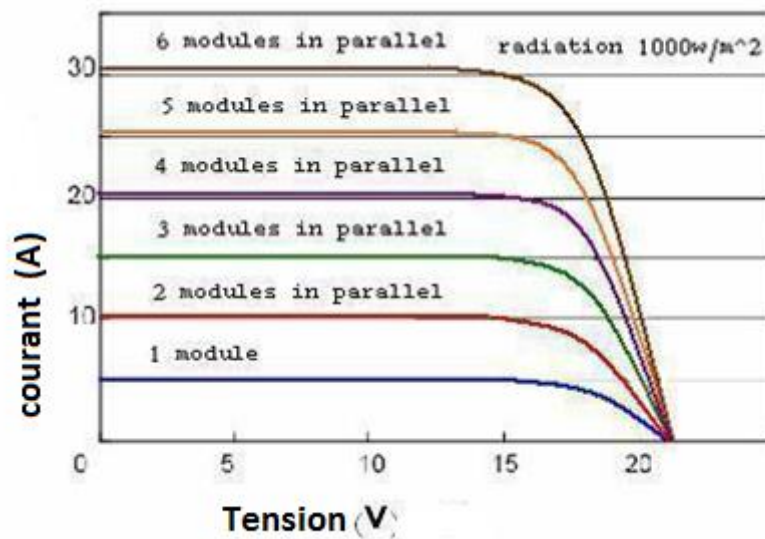


Figure II.22 : les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en parallèle.

$$V_{pg} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (II.9)$$

$$I_{pg} = \sum_1^n I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (II.10)$$

II.11. Types de panneaux solaires

Il existe trois types de panneaux solaires :



Figure II.23 : types de panneaux solaires.

II.11.1. Le Monocristallin

Panneaux Monocristallins ils se reconnaissent par une couleur plus uniforme et foncé, ils résultent de l'assemblage de plusieurs cellules ; il sera donc facile d'en constater l'assemblage pour constituer les panneaux.

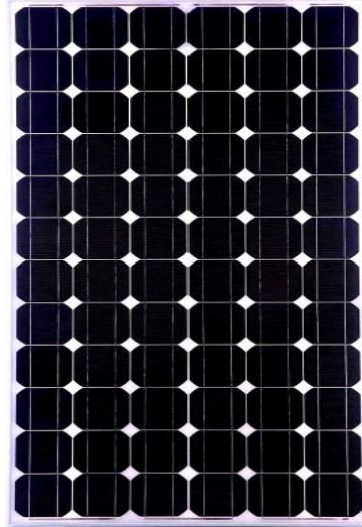


Figure II.24 : Panneau Monocristallin.

II.11.1.1. Les avantages :

- Bon rendement de 15 % en moyenne
- Rendement de conversion (le passage de l'énergie absorbée à l'énergie utile) et de 130wc/m^2
- Large choix de gamme et nombreux fabricants
- Durée de vie d'environ 25 à 30 ans.

II.11.1.2. Les inconvénients :

- Coût élevé
- Rendement faible quand peut d'éclairage et lors d'augmentation de la Température Le panneau doit être Positionné Perpendiculairement au rayon du soleil pour avoir un bon rendement.
- Un peu plus chers à l'achat (rapport taille/prix).
- Taille et poids plus importants ; utilise plus de silicium pour sa fabrication.
- Rendement Sensible aux températures élevées. [23]

II.11.2. Le Poly-cristallin

Panneaux Poly-cristallins : Ils se reconnaissent par une couleur bleutée et non uniforme. Leur fabrication à partir de copeaux de silicium utilise toute la surface du panneau, il n'y a donc pas d'espaces d'assemblage comme dans les panneaux monocristallins.



Figure II.25: Panneau poly-cristallin.

II.11.2.1. Les avantages :

- Coût plus faible que les panneaux Monocristallin.
- Rendement de 10% en moyenne.
- Rendement de conversion (le passage de l'énergie absorbée à l'énergie utile) et de 100wc/m².

II.11.2.2. Les inconvénients :

- Rendement faible sous faible éclairage Le panneau doit être positionné perpendiculairement au rayon du soleil pour avoir un bon rendement.
- Durée de vie légèrement inférieure. [23]

II.11.3. Les panneaux Amorphes

Panneaux silicium amorphe ou couche mince : Apparus plus récemment, ces panneaux se reconnaissent par une couleur grise à marron foncé et uniforme avec un grain très fin. Cette uniformité est due à un procédé de fabrication de dépôt du silicium en couches minces.



Figure II.26 : Panneau silicium amorphe.

II.11.3.1. Les avantages :

- Un peu moins chère que l'autre panneau.
- Fonctionne avec un éclairage faible ou diffus.
- Intégration sur supports souples ou rigides.

II.11.3.2. Les inconvénients :

- Rendement faible en plein soleil, de 6 % en moyenne
- Rendement de conversion (le passage de l'énergie absorbée à l'énergie utile) et de 60Wc/m^2 il nécessite de couvrir des surfaces plus importantes que les panneaux polycristallin et monocristallin.
- Taille des panneaux qui peut aller jusqu'à 2 fois un panneau monocristallin et donc plus lourd. [23]

Comparatif surface nécessaire pour produire 1000W : [25]

- Mono-cristallin : 7 à 8 m^2
- Poly-cristallin : 8 à 9 m^2
- Silicium amorphe : 14 à 16 m^2

II.12. L'installation et la protection

II.12.1. L'installation et le choix du site

Les panneaux doivent être placés de telle manière qu'aucune ombre (arbre, bâtiments) ne puisse les recouvrir au cours de la journée, quelque soit l'inclinaison du soleil au cours des saisons.

Les modules seront espacés par rapport à la surface qui les soutiens afin de favoriser la convection naturelle et limiter leur échauffement. Les panneaux sont fragiles. Fixez les sur une armature, ou directement sur le toit afin qu'ils ne soient pas emportés par le vent. Fixez également les câbles le long de leur parcours.

II.12.2. Inclinaison

On inclinera le module sur la base de la valeur de la latitude, ce qui constitue un bon compromis été/hiver pour une production annuelle.

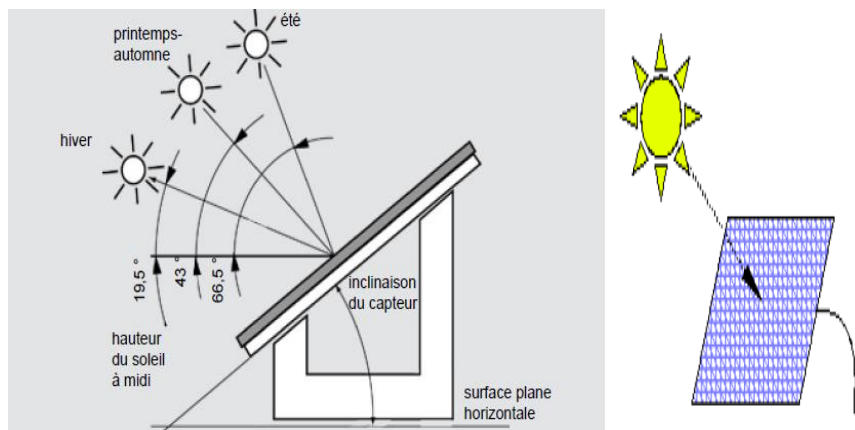


Figure II.27 : inclinaison de panneau solaire.

i = angle correspondant à la latitude du site d'implantation.

Il est nécessaire de conserver une inclinaison minimale de 5° pour assurer l'écoulement des eaux pluviales et l'auto nettoyage des modules en particulier pour les sites a moins de 10° de latitude nord ou sud, c'est-a-dire proche de l'équateur.

II.12.3. Orientation

Les modules seront orientés:

- Plein sud dans l'hémisphère nord
- Plein nord dans l'hémisphère sud.

On peut toutefois se permettre une tolérance de 45° est/ouest.

II.12.4. Installation Solaire

- Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.
- Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.
- Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.

II.12.4.1. Branchement au régulateur

Après avoir repéré les lieux d'emplacement de la batterie, du régulateur et du panneau en fonction des longueurs de câble et des conseils ci dessus, les composants du système doivent être branchés au régulateur dans l'ordre suivant APRES MISE A LA TERRE:

1/ Batterie :

Enlever d'abord le fusible sur le câble +

Connecter les câbles au régulateur : le rouge sur la borne +, le noir sur la borne -.

Connecter l'autre extrémité du câble rouge à la borne +, noir à la borne - de la batterie en respectant le schéma ci-dessous (câble rouge et câble noir à chaque extrémité du système en parallèle).

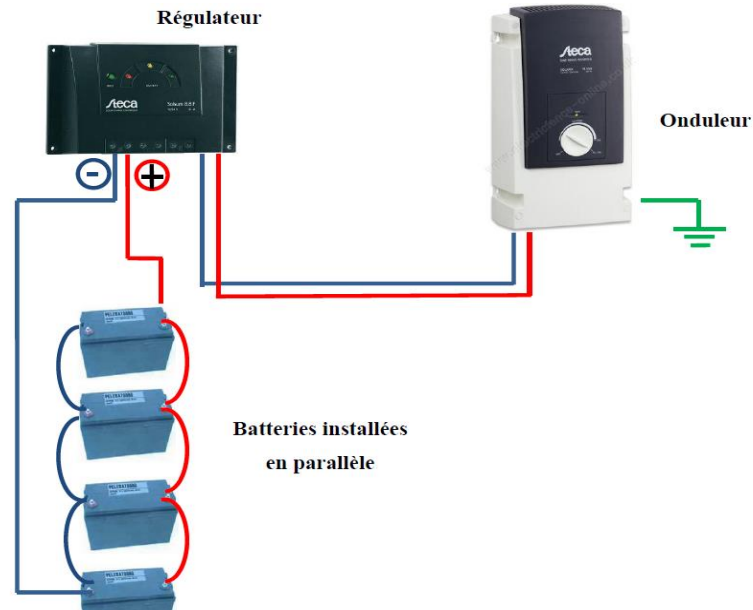


Figure II.28: Branchement au régulateur[24].

2/ Panneau:

Couvrir d'une protection le panneau pour empêcher toute production d'électricité.

Connecter les câbles arrières du panneau. Rouge sur rouge et noir sur...bleu.

Connecter l'autre extrémité de ces câbles au régulateur : bornes + et -.

3/ Consommateurs:

L'énergie produite alimente un ou plusieurs appareils de consommation (éclairage, réfrigération, pompage ...).

- Mettez tous les consommateurs en position off.
- Connecter les câbles du boîtier de distribution au régulateur.
- Vérifiez ensuite l'ensemble des polarités, la qualité des connexions.
- Maintenant, installez le fusible sur le câblé de la batterie et sur le régulateur.
- Enlevez le cache de protection sur le panneau solaire.
- Allumez les consommateurs.

Ci-dessous, on montre un exemple de schéma d'installation.

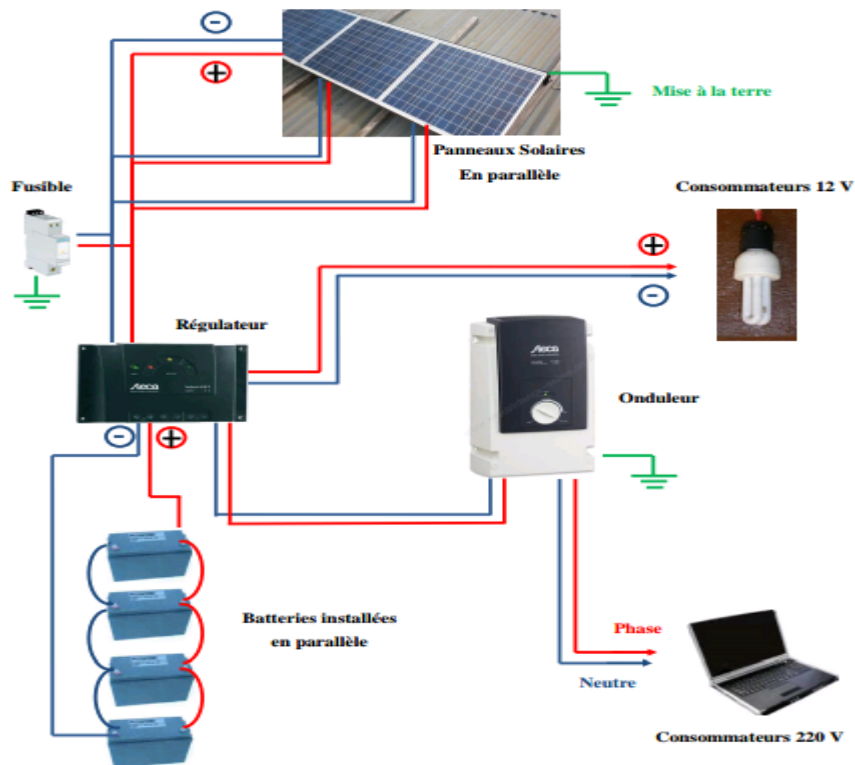


Figure II.29 : Schéma d'installation type [24].

II.12.5. Protection contre la foudre et mise à la terre

➤ Protection contre la foudre

Un parasurtenseur est nécessaire pour protéger les installations des tensions transitoires élevées. Placé entre le fusible des panneaux et le régulateur, il sera relié à la terre afin d'évacuer la foudre potentiellement attirée par la structure métallique des modules (elle-même reliée à la terre). Lors de l'utilisation d'un réseau local ondulé, on utilisera également un parasurtenseur en tête de l'installation en alternatif [24].

➤ Mise à la terre

La mise à la terre assurera la protection des personnes et du matériel : la structure des modules, les parafoudres, l'oscillateur sera raccordé à la terre.

II.13. Entretien de l'installation photovoltaïque

L'avantage des installations photovoltaïques – outre l'aspect écologique – réside dans le peu de maintenance que nécessite cette technologie. Maintenant, il y a quelques points sur à respecter:

-Les panneaux solaires doivent être maintenus propres pour que le rendement ne soit pas affecté.

-Vérifier les connexions de l'ensemble du système (conformément aux dispositions nécessaires à la sécurité). Vérifier qu'aucun fil ne soit dénudé afin d'éviter les pertes d'énergie.

-Dépoussiérer régulièrement l'onduleur ainsi que le régulateur afin d'éviter d'éventuelle surchauffe.

-Vérifier également les batteries selon la technologie employée (batterie de voiture, batterie à décharge profonde...).

Chapitre III :
Conception de la centrale photovoltaïque

III.1. Introduction

Les centrales solaires sont une technologie relativement récente, possédant un important potentiel de développement. Elles offrent une opportunité aux pays ensoleillés meilleure que celle des fermes éoliennes pour les pays côtiers.

Les endroits les plus prometteurs pour l'implantation de ces technologies en ce qui concerne notre pays se trouveraient au sud, dans le Sahara.

Dans beaucoup de régions du monde, un kilomètre carré de terrain suffirait à générer jusqu'à 120 Gwh d'électricité par an, grâce à la technologie des centrales solaires. Cette énergie est équivalente à la production annuelle d'une centrale classique de 50 MW.

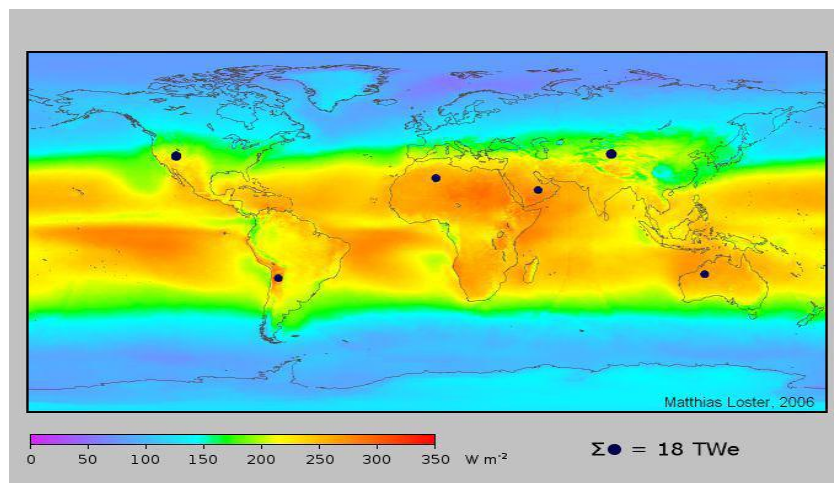


Figure III.1: irradiation solaire moyenne.

III.2. La centrale photovoltaïque

Le principe des centrales solaires photovoltaïques est extrêmement simple. Elles sont constituées d'un champ de modules solaires photovoltaïques reliés entre eux (en série ou en parallèle) et branchés sur un ou plusieurs onduleurs. L'énergie est directement transformée en électricité dans les panneaux, et passe ensuite dans le réseau électrique vers la ville la plus proche.



Figure III.2: centrale photovoltaïque.

III.3. La voiture électrique

Une voiture électrique est une automobile mue par la force électromotrice d'un ou de plusieurs moteurs électriques, généralement alimentés par une batterie d'accumulateurs, une pile à combustible voire un moteur thermique couplé à un générateur électrique pour les voitures hybrides électriques.



Figure III.3: voiture électrique.

III.3.1. La constitution d'une voiture électrique



Figure III.4: la constitution voiture électrique. [26]

Comme vous pouvez le voir sur le schéma ci-dessus, la constitution d'une voiture électrique moderne est nettement plus simple que celle d'une voiture à essence. La transmission et le moteur sont nettement plus petits et les batteries peuvent être placées de façon à obtenir une répartition idéale des masses. Elles peuvent même être intégrées au châssis, abaissant ainsi le centre de gravité du véhicule et améliorant sa tenue de route. La taille réduite et la simplicité des composants permettent d'imaginer des véhicules extrêmement petits et légers, ce qui est un avantage non négligeable lorsque l'on souhaite économiser de l'énergie. De plus, les moteurs électriques sont particulièrement « coupleux », ce qui veut dire qu'ils délivrent une puissance importante à une fréquence de rotation moindre. Cela permet d'accélérer rapidement lorsque l'on part depuis l'arrêt. Voyons comment ces moteurs transforment une énergie électrique en mouvement.

III.3.2. Le moteur électrique

Un moteur électrique est composé principalement d'un stator (fixe), et d'un rotor (qui tourne). Le stator entoure le rotor, et génère un champ magnétique qui le traverse. Ce champ peut être généré par induction, ou par des aimants permanents. Le rotor est constitué de bobines dont le fil est recouvert d'une couche isolante, et de connecteurs. Il est solidaire de l'axe central du moteur. Voici une vue en coupe d'un moteur électrique simple [26]:

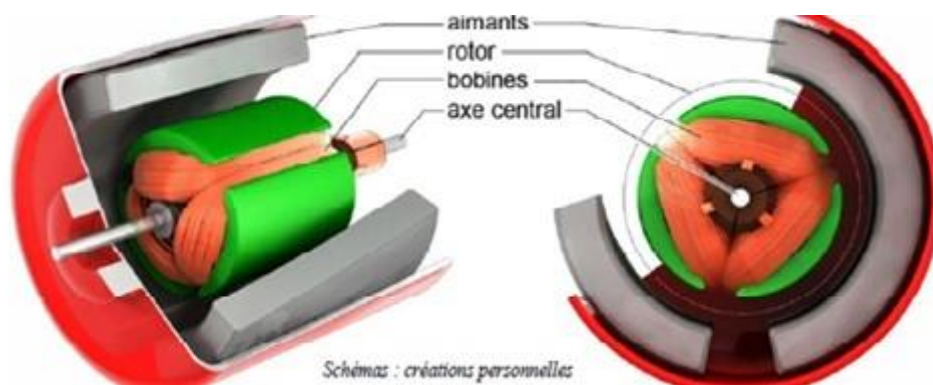


Figure III.5:moteur électrique. [26]

III.3.3.La batterie

La batterie de lithium possède de nombreux avantages comparativement aux batteries plombs:

- La batterie est plus compacte.
- Poids très faible, réduit de moitié par rapport à une batterie au plomb.

- Recharge très rapide (possible en 1 heure maximum)
- Pas de dégagements gazeux, résistantes aux chocs.
- Auto-décharge faible 10 % par an max. (contrairement à une batterie normale acide plomb qui se décharge très vite si on ne l'utilise pas un certain temps).
- La capacité de la batterie ne dépend pas du courant de décharge (puissance consommée). Elle reste à 100 % de sa capacité initiale.
- Sans entretien, pas de maintenance.
- Durée de vie 10 fois plus longue qu'une batterie plomb (3000 cycles)
- Résiste aux températures extrêmes.

III.3.4. La puissance de Compteur pour la Recharge d'une Voiture électrique

La recharge d'une voiture électrique à domicile est un élément essentiel à prendre en compte pour tout propriétaire de véhicule électrique. L'utilisation d'appareils spécifiques tels qu'une prise renforcée ou une borne de recharge doit permettre de recharger sa voiture électrique quand on ne l'utilise pas. En fonction du mode de recharge, de l'utilisation d'une prise ou d'une borne, certains ajustements sur le compteur électrique et le câblage du logement seront nécessaires.

III.3.5. Les prises recharge voiture électrique

- La prise de courant domestique : Le branchement du véhicule électrique via le câble de recharge .Ce type de recharge demande quelques points de vigilance. Ainsi, il faudra veiller au risque de surtension éventuelle sur le tableau électrique et à la qualité du câblage de la prise à la terre. Toutefois, les constructeurs ont limité l'intensité des câbles de recharge entre 8A et 10A en courant alternatif (soit 1.7kW à 2.1 kW) ce qui élimine les risques de surchauffe côté véhicule mais impose un temps de charge long (entre 8h et 11h).
- La prise de courant standard normalisée : La recharge du véhicule passe par une prise standard adaptée ou prise renforcée, qui peut supporter des charges supérieures - jusqu'à 14A soit 3.2 kW en 230V courant alternatif. La prise renforcée a l'avantage de sécuriser les échanges d'électricité entre la batterie du véhicule et l'installation électrique du logement. Et éviter tout risque de surtension et de disjonction comme évoqué plus haut.

- Les bornes de recharge à domicile sont des infrastructures électriques spécialement conçues pour la recharge des voitures électriques. Elles sont préconisées par la majorité des constructeurs de véhicules électriques pour des raisons de sécurité mais également de temps de recharge. La wall-box se présente comme un petit boîtier à installer par un professionnel dans un parking privé.
- Il existe également des bornes de recharges publiques – sur des parkings publics, à proximité ou mis à la disposition par certains commerces - avec une puissance de charge supérieure à 43 kW soit 63A triphasé (courant alternatif ou courant continu). On parle alors de recharge rapide – une voiture électrique pouvant être rechargée en moins de 30 minutes contre quelques heures en recharge normale.

III.4. Les différents calculs de la centrale photovoltaïque

La conception de la centrale composée de panneaux photovoltaïque qui produisent une tension continue variable en fonction de l'ensoleillement, ils sont couplés en séries.

III.4.1. Choix de type de panneau

La surface de panneau photovoltaïque diffère d'une structure à l'autre du silicium (mono-cristallin, poly-cristallin, silicium amorphe).

Comparatif entre les structures pour produire une puissance de 1000W : [25]

- Mono-cristallin : 7 à 8 m²
- Poly-cristallin : 8 à 9 m²
- Silicium amorphe : 14 à 16 m²

Les panneaux photovoltaïques standards mesurent 1,7 mètre de long et 1,0 mètre de large. [25], la surface serait 1.7m²

Calcul du nombre de panneaux dans les différentes structures pour produire 1000W.

- Cas de mono-cristallin :

$$\text{un panneau} \rightarrow 1,7m^2$$

$$N \text{ panneaux} \rightarrow 7m^2$$

$$N \text{ panneaux} = (1 \times 7) \div 1,7$$

$$N = 4,11 \approx 4 \text{ panneaux}$$

Le nombre de panneaux mono-cristallin est égal à 4 panneaux.

- Cas de poly cristallin :

$$\text{un panneau} \rightarrow 1,7m^2$$

$$N \text{ panneaux} \rightarrow 8m^2$$

$$N = (8 \times 1) \div 1,7$$

$$N = 4,7 \approx 5 \text{ panneaux}$$

Le nombre de panneaux poly-cristallin est égal à 5 panneaux.

- Cas de silicium amorphe :

$$\text{un panneau} \rightarrow 1,7 m^2$$

$$N \text{ panneaux} \rightarrow 14 m^2$$

$$N = (14 \times 1) \div 1,7$$

$$N = 8,23 \approx 8 \text{ panneaux}$$

Le nombre de panneaux de silicium amorphe est égal à 8 panneaux.

Calcul de la puissance d'un chacun type de panneau :

- la puissance d'un panneau mono-cristallin

On a :

$$4 \text{ panneaux} \rightarrow 1000W$$

$$\text{un panneau} \rightarrow X W$$

$$X = 1000 \div 4 = 250W$$

Alors la puissance d'un panneau monocristallin standard est égal à 250W.

- la puissance d'un panneau poly-cristallin

On a :

$$5 \text{ panneaux} \rightarrow 1000W$$

$$\text{un panneau} \rightarrow X \text{ W}$$

$$X = 1000 \div 5 = 200W$$

Alors la puissance d'un panneau poly-cristallin standard est égal à 200W.

- la puissance d'un panneau de silicium amorphe

On a :

$$8 \text{ panneaux} \rightarrow 1000W$$

$$\text{un panneau} \rightarrow X \text{ W}$$

$$X = 1000 \div 8 = 125W$$

Alors la puissance d'un panneau silicium amorphe standard est égal à 125W.

On brièveté cette résultats du tableau au-dessous :

Type de silicium	Surface de panneau	Nombre des panneaux	Puissance de chaque panneau
Mono-cristallin	7 à 8 m ²	4 panneaux	250W
Poly-cristallin	8 à 9 m ²	5 panneaux	200W
Silicium amorphe	14 à 16 m ²	8 panneaux	125W

Tableau.III.1: Comparatif entre les structures pour produire une puissance de 1000W.

Dans ce tableau on remarque que pour produire 1000W utilise 4 panneaux mono-cristallins et chaque panneau produit une puissance de 250W.

- On applique cette étude à la centrale qui produira une puissance de 180MW.

III.4.2.Calcul du nombre de panneaux de cette centrale

On calcule le nombre des panneaux nécessaire pour produire cette puissance (180MW).

On a :

$$\text{un panneau} \rightarrow 250W$$

$$N \text{ panneaux} \rightarrow 180 \times 10^6 \text{ W}$$

$$N = (180 \times 10^6) \div 250$$

$$N = 720000 \text{ Panneaux}$$

Donc le nombre des panneaux d'une cette centrale est égal à 720 000 panneaux.

III.4.3. Calcul la surface de la centrale

On a :

$$\text{un panneau} \rightarrow 1.7 \text{ m}^2$$

$$720000 \rightarrow X \text{ m}^2$$

$$X = 720000 \times 1.7$$

$$X = 1.224 \text{ km}^2$$

Donc La surface de centrale cette serait de 1.224 km^2 .

III.4.4. Calcul la puissance d'une chaque station de recharge

Si le cette centrale va alimenter 20 Stations la puissance de chaque station :

$$20 \text{ stotion} \rightarrow 180 \text{ MW}$$

$$\text{une station} \rightarrow X \text{ MW}$$

$$X = 180 \div 20$$

$$X = 9 \text{ MW}$$

Donc la puissance d'une station est égal à 9 MW .



Figure III.6: station de charge électrique.

III.4.5. Calcul le nombre des voitures recharges dans une station

On a :

La voiture est généralement équipée d'un ou plusieurs moteurs électriques dont la puissance totale peut aller de 15 à plus de 400 kW, selon la taille du véhicule, l'usage et les performances recherchées.

Donc la puissance moyen est $(400+15)/2 = 207.5kw$.

$$une\ voiture \rightarrow 207.5kw$$

$$N\ voiture \rightarrow 9 \times 10^3kw$$

$$N = (9 \times 10^3) \div 207.5$$

$$N=43.37 \approx 43\ voitures$$

Donc le nombre de voitures recharges dans chaque station égale à 43voitures.

La puissance (MW)	La surface km^2	Nombre de panneaux	Nombre de station	La puissance de chaque station(MW)	Le nombre du voiture qui recharge d'une chaque station
180	1.224	720000	20	9	43

Tableau.III.2:Les caractéristiques de la centrale photovoltaïque.

D'après les résultats présentés dans le tableau, nous remarquons que la centrale de $1.224\ km^2$ est capable de produire une puissance de 180MW à l'aide de 720 000panneaux et peut alimenter 20 Stations d'une puissance de 9MW.et chaque station est capable de recharge de 43 voitures.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'énergie solaire est l'origine de toute l'énergie à la surface de la terre .c'est une énergie durable propre, respectueuse de l'environnement et facilement utilisable.

L'exploitation de cette énergie entraîne : la production de chaleur grâce aux centrales solaires thermiques, qui utilisent cette chaleur pour produire de l'électricité à l'aide de turbines, Ou produire directement l'électricité grâce à des centrales solaires photovoltaïques.

Nous avons concentré notre étudeaux la centrale photovoltaïque, cette dernière est composée d'un nombre important de panneaux photovoltaïques, chaque panneau convertissant le rayonnement solaire en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

Ces centrales photovoltaïques alimentent des réseaux électriques ou un groupe de stations de recharge de voitures.

Tout ceci afin de réduire les problèmes causés par les énergies fossiles à l'environnement tel que la pollution, le trou de la couche d'ozone et le réchauffement climatique...

En fin, cette étude vise à clarifier l'importance de l'énergie solaire, cette dernière est capable de réduire l'utilisation d'énergies fossiles nocives pour l'environnement. L'énergie solaire est donc une énergie alternative.

Annexe

Annexe

Albédo : la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre est appelée albédo ou facteur de réflexion, habituellement exprimé en pourcentage. Plus le rayonnement absorbé par la surface est important et moins il est réfléchi, plus la surface chauffe. Les objets noirs, tels que l'asphalte de nos routes ou un T-shirt noir, ont une valeur albédo faible et absorbent donc une grosse partie des rayons du soleil et se réchauffent fortement. Les objets blancs ont un albédo élevé et réfléchissent les rayons du soleil beaucoup plus fortement, de sorte qu'ils se réchauffent moins rapidement.

Étant donné que les grandes surfaces du globe réfléchissent la lumière (eau, calottes glaciaires, nuage), la Terre a un albédo relativement important de 30 à 35%. À titre de comparaison, la lune, par sa surface de roches volcaniques, a un albédo de 7%. L'intervention de l'homme (par exemple, la déforestation à grande échelle) modifie l'albédo de la planète.

Albédo en chiffres :

Neige fraîche ou glace : 80-95%

Neige fondante : 40-70%

Nuages : 40-90%

Sable du désert : 30-50%

Terre : 5-30%

Toundra : 15-35%

Prairies : 25-30%

Forêts : 10-20%

Eau : 10-60%

Gap : longueur de la bande d'énergie non accessible aux électrons.

Bibliographique

Bibliographique

- [1]- Corinne ALONSO «Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie». UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III.) 2003.
- [2]-Diane Bastien « le potentiel des énergies solaires au Québec» B.Sc. Physique, candidate au doctorat en Génie du bâtiment, Designer Passive House 26 septembre 2013.
- [3]- énergie solaire passive-wikipédia.
- [4]- <http://www.energies-renouvelables.org/accueil-systemes-solaires.asp>.
- [5] - www.explorateurs-energie.ch .
- [6] Energie-Renouvelable.tv.htm.
- [7] - H.Benis, « Contribution à la modélisation du problème de « Hot Spot » dans les modules solaire Photovoltaïque occultés », thèse de magistère, Constantine, 2008.
- [8]- C.Delerome « Revue internationale d'héliotechnique », 1997
- [9] -C. Lerouge « Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) Etats-Unis » Sciences physique états – unis, 2006.
- [10]- K.Helali « modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative » Mémoire de magistère, Tizi-ouzou, 2012.
- [11]- B. Mohammed, « Modélisation d'un Système de Captage Photovoltaïque Autonome », Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar, Institut des Sciences Exactes, (2008).
- [12] - B. Flèche - D. Delagnes « Production d'énergie électrique : ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ». / Juin 07 Approche générale.
- [13]- Bouziane MAHMAH, Maïouf BELHAMEL, Samira CHADER, Abdelhamid M'RAOUI, Farid HAROUADI, Claude ETIEVANT, Stève LECHEVALIER, Abdel-Nasser CHERIGUI. « Projet Maghreb – Europe : Production d'Hydrogène Solaire Phase I : Etude d'Opportunité et de Faisabilité du Projet». 20th World Energy Congress – Rome, November 11th – 15th, 2007.

Bibliographique

- [14]- Zerguine Bilal «MODELISATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION ELECTRIQUE PAR LA CELLULE PHOTOVOLTAIQUE» Université de Annaba2010.
- [15]- T.F. El Shatter & M.T. El Hagry, " Sensitivity Analysis of the Photovoltaic Model Parameters", IEEE, Cir. and Syst., Vol. 2, pp. 914 – 917, (1999).
- [16]- M.L.Louazene, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla », Mémoire de Magister, Université El Hadj Lakhdar Batna, (2008).
- [17]- Cours des semi-conducteurs ; le semi-conducteur ; chapitre 1 : les semi-conducteurs, technique de l'ingénieur.
- [18]- « Propriétés électriques des semi-conducteurs » chapitre I.
- [19]- « Croissance et Caractérisation de Nanofils de Silicium ». 2007 Fabrice Oehler Laboratoire Silicium Nanoélectronique Photonique et Structure (CEA/DSM/DRFMC/SP2M/SiNaPS) Ecole Normale Supérieure de Lyon Université Claude Bernad Lyon 1.
- [20]- <http://gloq69.free.fr/TPE/synteses.php>
- [21]- I. Sari-Ali, B. Benyoucef, B. Chikh-Bled « ETUDE DE LA JONCTION PN D'UN SEMI-CONDUCTEUR A L'EQUILIBRE THERMODYNAMIQUE ». Journal of Electron Devices, Vol. 5, 2007, pp. 122-126.
- [22]- <http://tpe-panneauxphotovoltaiques.e-monsite.com/pages/panneaux-photovoltaiques/>
- [23]- www.flexyourte.com
- [24]- Inter Aide Sierra Leone – Support Electrique pour Installation Solaire
- [25]- <https://www.aleo-solar.fr/product/panneau-solaire-monocristallin/>
- [26]- www.Ohm-Easy.com : info@ohm-easy.fr *La maison éco-responsable*
- [27]- <https://www.google.com/amp/www.reporters.dz/2019/02/20/energie-la-plus-grande-station-de-production-delectricite-par-energie-solaire-prevue-a-bechar/amp/>
- [28]- <https://ar.nissan.ps/vehicles/new-vehicles/leaf/range-charging.html>

Bibliographique

[29]- KHADRAOUI ZAKARIA « Etude d'une centrale solaire thermique » MASTER GENIE
MECANIQUE-UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA-2017