

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Colonel Akli Mohand-Oulhadj Bouira

Faculté Des Sciences et science appliquées

Département : Génie électrique

Spécialité : Électromécanique



Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de master

Présenté par :

Meghellet Hanine

Hocine Lynda

Thème :

Contribution à l'étude d'un système photovoltaïque

Soutenu le : 30 / 09/2018

Devant le jury composé de :

<u>Nom et Prénom</u>	<u>Grade</u>	<u>Qualité</u>
GRICHE ISSAM	MAA	Président
AIT ABBAS HAMOU	MAB	Examineur
KHERCHI MOHAMED	MAA	Examineur
MOHAMMEDI AHMED	MAA	Promoteur

Année universitaire 2017-2018

Bouira 2017/2018

REMERCIEMENTS

D'abord merci au DIEU le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

On tient à remercier Mr, MOHAMMEDI AHMED Maitre de conférences à l'université de BOUIRA qui a accepté la charge de notre travail, et on lui exprime particulièrement toute notre reconnaissance pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa constante disponibilité.

Nous adressons également nos remerciements, à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science, nous remercions très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission de jury

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à :

Nos chères parents ,pour leurs sacrifices ,et leurs conseils judicieux

nous espérons qu'un jour, nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Nous dédions aussi ce travail ,à nos frères et sœurs ,nos familles, nos amis et à tous ceux qui nous sont chers.

Meghellet Hanine

Hocine Lynda

Résumés :

De nos jours les technologies dit vert prend de plus en plus de place dans le monde, notamment c'est grâce à ces technologie qu'une partie de l'électricité que nous consommons est propre, et comme on peut le constaté le solaire photovoltaïque est le leader dans ce domaine, des milliers de centrale et installation photovoltaïque sont installer à travers le monde. Et comme c'est important d'avoir toujours un très bon rendement dans ces centrales, plusieurs facteur et défauts sont pris en considération, dans notre mémoire nous allons apporter un contributions à l'étude d'un système PV, qui centre sur l'impact de l'inclinaison et de l'orientation sur le rendement des panneaux PV, et pour cela nous avons mené une étude pratique sur problématiques liés à la mauvaise captation du panneau PV, et ver la fin nous avons apporté des recommandations importantes pour remédier à la problématiques de l'inclinaison et de l'orientation et avoir un rendement plus important.

Mots clé :Energie renouvelable - Solaire photovoltaïque -installation photovoltaïque- défauts PV- Orientation –inclinaison

Abstract:

Green technologies are gaining more and more place in the world, and thanks to these technologies, it's a part of the electricity that we consume is clean, and as we can see, photovoltaic solar is the leader in this field, thousands of power plant and photovoltaic installation are installed around the world. And as it is important to always have a very good performance in these plants, several factors and faults are taken into account, in our memory we will make a contribution to the study of a PV system, which centers on the impact of the inclination and orientation on the performance of the PV panels, and for this we conducted a practical study on problems related to the poor capture of the PV panel, and towards the end we made important recommendations to remedy the problem of inclination and orientation and have a higher yield.

Keyword :Renewable energy- photovoltaic solar- photovoltaic installation-fault- PV-orientation- incline.

Sommaire

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	IV
Liste des symboles et abréviations.....	V
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : Généralité sur le solaire photovoltaïque

Introduction	2
1. Les énergies renouvelables:	2
1.1. Les énergies renouvelables en Algérie :.....	3
2. Le solaire photovoltaïque.....	4
2.1. Historique :	5
2.2. L'effet photovoltaïque :	5
3. Cellule photovoltaïque :	6
3.1. Les technologies des cellules photovoltaïques :.....	7
3.2. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :	9
3.3. Influence d'éclairement et de la température :	10
3.3.1. Influence d'éclairement :.....	10
3.3.2. Influence de la température :	11
4. Association des cellules :	11
5. Différentes configuration d'une installation photovoltaïque :	13
5.1. Système autonome :	13
5.2. Système raccordée au réseau :	14
6. Avenages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	15
Conclusion	16

Chapitre 2 : Défauts dans les systèmes photovoltaïques

Introduction	19
1. Description d'un système photovoltaïque :	19
1.1 Générateur PV :	19
1.2 Convertisseur	21

Sommaire

1.3. Câblage et boîte de jonction	23
1.4 Système de protection.....	24
2. Défauts dans un système photovoltaïque.....	25
2.1. Les défauts et leur conséquences les plus fréquents rencontrés dans un champ PV	25
2.1.1. Défauts dans le générateur PV	26
2.1.2. Défauts dans la boîte de jonction	26
2.1.3. Défauts dans le système de câblage	27
2.1.4. Défauts dans le système de protection	28
2.1.5. Défauts dans l'onduleur	29
2.1.6. Défauts dans le système d'acquisition	30
3. Problèmes dus à l'orientation et l'inclinaison du générateur PV :.....	30
Conclusion	32

Chapitre 3 : Evaluation quantitative de l'impact d'inclinaison et d'orientation sur la production PV

Introduction	34
1. site d'expérimentation :.....	34
2. Le système proposé	35
2. 1. Le générateur photovoltaïque.....	35
2.2. La charge	37
2. 3 Les instruments de mesure	37
3. Méthodologie des tests	38
3. 1. Caractéristiques électriques expérimentale du générateur utilisé.....	38
3. 2. Scénario 1 « problématique d'orientation » :	39
3. 3. Scénario 2 « problématique d'inclinaison »	45
Conclusion	51
Conclusion générale.....	52
Bibliographie.....	54

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralités sur le solaire photovoltaïque

Figure (I.1): Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables.....	4
Figure (I.2) : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction P-N.....	5
Figure (I.3) : Constitution d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure (I.4) : Evolution de la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$	9
Figure (I.5) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'éclairement.....	10
Figure (I.6) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température.....	11
Figure (I.7) : associations en série des cellules.....	12
Figure (I.8): Associations en parallèle des cellules PV.....	12
Figure (I.9) : Représentation des différents composants d'une installation PV.....	13
Figure (I.10): Système PV autonome.....	14
Figure (I.11): Système PV raccordée au réseau.....	15

Chapitre 2 : Défauts dans les systèmes photovoltaïques

Figure (II.1) : schéma descriptif d'un système photovoltaïque.....	19
Figure (II.2) : Groupement de cellules PV.....	20
Figure (II.3) : Composants d'un générateur PV.....	20
Figure (II.4) : Différentes configurations pour un champ de 36 modules.....	21
Figure (II.5): Classification des onduleurs PV connectés au réseau.....	23
Figure (II.6): Exemple de boîte de jonction et câblage.....	23
Figure (II.7) : Exemples de défauts rencontrés dans les générateurs photovoltaïques.....	26
Figure (II.8) : Exemples de défauts rencontrés dans la boîte de jonction.....	27
Figure (II.9) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage.....	28
Figure (II.10) : Exemples de défauts rencontrés dans le système protection.....	29
Figure (II.11): Représentation de l'éclairement d'un capteur plan incliné.....	31

Liste des figures

Chapitre 3 : Evaluation quantitative de l'impact de l'inclinaison et d'orientation sur la production PV

Figure (III.1) : situation de la wilaya de bouira.....	34
Figure (III.2) : schéma électrique du système proposé.....	35
Figure (III.3) : panneau solaire photovoltaïque modèle STP085B-12/BEA.....	36
Figure (III.5) : Pyromètre.....	37
Figure (III.6) : Multimètre.....	38
Figure (III.7) : Tracé de la caractéristique I(V) et P(V) du module photovoltaïque.....	39
Figure (III.8) : disposition du panneau PV pour différentes orientations.....	39
Figure (III.9) : Les courbes de puissance PV en fonction d'insolation pour les différentes orientations (Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest).....	40
Figure (III.10) : courbes de puissance PV en fonction d'orientation pour un insolation (Faible à 8h30, moyen, fort).....	40
Figure (III.11) : courbes de puissance PV en fonction d'orientation pour un insolation (Faible à 15h30, moyen, fort).....	41
Figure (III.12) : comparaison des puissances sous faible insolation (à 8h30 et 15h30) pour différentes orientations.....	42
Figure (III.13) : écarts des puissances pour différentes orientation par rapport au Sud sous différents insolation.....	43
Figure (III.14) : pourcentage des pertes de puissance pour différentes orientations sous différents insolation.....	43
Figure (III.15) : pourcentage des pertes de puissance pour un faible insolation a (8h30 et 15h30).....	44
Figure (III.16) : rendement du panneau PV pour différentes orientations sous faible, moyen et fort insolation.....	45
Figure(III.17) : Représente les angles d'inclinaison pour le panneau PV.....	46
Figure (III.18) : Les courbes de puissance PV en fonction d'insolation pour les angles d'inclinaison de (45° ,22 .5° et 0°).....	46
Figure (III.19) : Les courbes de puissance PV en fonction d'insolation les angles d'inclinaison de (45° ,67.5° et 90°).....	47
Figure (III.20) : la puissance PV (W) généré pour différents degré d'inclinaison.....	47

Liste des figures

Figure (III.21) : puissance PV généré pour les angles 0° et 90°	48
Figure (III.22) : écarts de puissance empilés en fonction de degré d'inclinaison.....	48
Figure (III.23) : pourcentages des pertes de puissance en fonction de degré d'inclinaison...	49
Figure (III.24) : Rendement de générateur PV en fonction de degré d'inclinaison pour les angles (45° , 22.5° et 0°).....	50
Figure (III.25) : Rendement de générateur PV en fonction de degré d'inclinaison pour les angles (45° , 67.5° et 90°).....	50

Liste des Tableaux

Chapitre 1 : Généralités sur le solaire photovoltaïque

Tableau (I.1) : Différents types de cellules photovoltaïques.....	8
--	---

Chapitre 2 : Défaits dans les systèmes photovoltaïques

Tableau (II.1) : Exemples de défauts rencontrés dans le générateur PV.....	26
Tableau (II.2) : Exemples de défauts rencontrés dans la boîte de jonction.....	27
Tableau (II.3) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage	28
Tableau (II.4) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de protection	29
Tableau (II.5) : Exemples de défauts rencontrés dans l'onduleur.....	30
Tableau (II.6) : Exemples de défauts rencontrés dans le système d'acquisition	30

Chapitre 3 : Evaluation quantitative de l'impact de l'inclinaison et d'orientation sur la production PV

Tableau (III.1) : Données météorologiques et géographiques de bouira.....	35
Tableau (III.2) : caractéristiques électriques du panneau solaire modèle STP085B-12/BEA.....	36

Liste des symboles et abréviation

Symbole	Définition
PV	photovoltaïque
I _{cc}	courant de court-circuit (A)
I _{ph}	Photo- courant (A)
V _{co}	tension de circuit ouvert (V)
I _s	courant de saturation (A)
P _{max}	puissance maximale (W)
V _{max}	tension maximale (V)
I _{max}	courant maximum(A)
FF	facteur de forme
η	le rendement de la cellule
S	Surface de cellule solaire en [m ²]
E	Flux incident en (W/m ²)
N _s	nombre de cellules en série.
N _p	nombre de cellules en parallèle .
V _{cos}	la somme des tensions en circuit ouvert de N _s cellules en série.
I _{ccs}	courant de court-circuit de N _s cellules en série.
I _{ccp}	la somme des courants de court-circuit de (N _p) cellule en parallèle.
V _{cop}	la tension du circuit ouvert de (N _p) cellules en parallèle.
MPPT	le point de la puissance maximale.
DC	courant continu
AC	courant alternatif
GPV	générateur photovoltaïque
P	puissance en watt

Introduction générale

Introduction générale

Depuis la nuit des temps, l'être humain à utiliser sans cesse de l'énergie sous différents formes dans tous ces activités journalières, tel que se déplacer, se réchauffer, s'éclairer, ou se nourrir. Dans notre monde actuel industrialisées, la principale énergie utiliser pour alimenter nous foyer et faire marcher et évoluer les différentes industries c'est belle et bien l'énergie électrique. Cette dernière est produite généralement à partir des combustibles de différents natures, en parle ici des énergies fossiles, telle que le pétrole, le charbon, le gaz, et l'énergie nucléaire (uranium).

Mais au rythme de la consommation actuelle des ressources énergétiques, les gisements d'énergies fossiles et nucléaires[2], vont d'une manière égale à la raréfaction à cause de l'exploitation agressive de ces derniers, et leurs stocks qui sont très limités, sans oublier les dégâts causés par l'exploitation de ces énergies, tel que le réchauffement climatique, on note que la production électrique représente 40% des émissions mondiale de CO₂ [8], la situation est d'autant plus alarmante que la demande énergétique va en grandissant[2]. Vu la situation actuelle, une alternative énergétique nouvelle, renouvelable et propre s'avère incontournable.

Le solaire photovoltaïque est vu aujourd'hui comme une alternative énergétique principale pour la production de l'électricité propre à grande échelle, notamment des centrales photovoltaïques assure de plus en plus l'approvisionnement en électricité partout dans le monde. Malgré cette prouesse technologique, les panneaux photovoltaïques subissent de nombreuses contraintes météorologiques, climatiques ou électriques au niveau des centrales photovoltaïques qui diminuent leur rendement. Dans ce travail une étude quantitative sur la problématique de l'orientation et l'inclinaison du panneau photovoltaïque a été faite afin de garantir de meilleures performances du système PV.

Ce mémoire est répartie sur trois chapitres, dans le premier nous allons étaler un état de l'art sur l'énergie photovoltaïque, dans le deuxième chapitre nous parlerons de la centrale photovoltaïque et ces différents composants notamment les problèmes souvent rencontrés sur ces centrales et la fin du chapitre nous exposeront les problématiques de l'inclinaison et de l'orientation. Le troisième chapitre sera consacré pour présenter une contribution et estimation de la marge tolérée dans les cas d'orientation et inclinaison des générateurs photovoltaïques.

Chapitre 1 :
Généralité sur le solaire
photovoltaïque

Introduction

L'électricité solaire est une importante source d'énergie renouvelable qui pourrait être une alternative aux autres sources classiques afin de satisfaire les larges besoins d'énergie dans le futur. Cette énergie trouve tout son avantage dans des applications de petite et moyenne consommation dans des régions isolées et loin des lignes de distribution électrique [3]

Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur l'énergie renouvelable en générale et spécifiquement en Algérie. Dans cette première partie de notre étude, nous sommes concentré plus précisément sur l'énergie solaire photovoltaïque, les différents détails et les éléments ayant un traits a cette ressources et sa transformation en énergie électrique.

1. Les énergies renouvelables:

Les énergies renouvelables se positionnent comme une solution adéquate à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles, et qui peut couvrir la demande mondiale de l'énergie électrique tout en préservant notre environnement. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des végétaux... On les qualifie d'énergies "flux", leurs exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. [8]

D'ici on distingue plusieurs familles des énergies renouvelables, ainsi que les différentes technologies qui sont mis en œuvre afin de les exploité convenablement.

1. **L'énergie solaire :** c'est l'énergie fournie par les rayons du soleil, plusieurs technologies transforment cette énergie en une forme électrique ou thermique que nous pouvons utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique, ainsi que des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des maisons par exemple, et les concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité grâce à certaines machines.[5]
2. **L'énergie hydraulique :** cette énergie provient de la force de l'eau en mouvement, Plusieurs technologies permettent d'exploiter cette énergie, les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité.[5]

3. **L'énergie éolienne** : provient de l'énergie cinétique du vent, l'aérogénérateur terme technique désignant l'éolienne, permet de la transformer en électricité. [6]
4. **L'énergie des courants marins** : elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons du soleil. Les océans, couvrent presque 70% de la surface du globe, pourraient constituer la source d'énergie renouvelable du futur, même si, pour l'instant, leur exploitation pour produire de l'électricité n'est pas rentable. [5]
5. **la biomasse** : (masse des végétaux) regroupe le bois, la paille, les rafles de maïs, le biogaz et les biocarburants. Le bois issu des déchets de la forêt ou des industries du bois est brûlé pour produire de la chaleur. Il représente 14 % de la consommation énergétique mondiale.[5]
6. **La géothermie**: Cette énergie Utilisant la chaleur du sous-sol, la géothermie peut permettre de chauffer des locaux (avec une température moyenne ou faible), ou de produire de l'électricité par vapeur interposée (avec une température élevée). [5]

1.1. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés. [12]

Dans ce propos l'Algérie l'un des pays de fort potentiel des énergies renouvelables, avec une capacité nationale d'électricité qui dépasse les 56.74 TWh avec 0.45 TWh crête seulement pour les énergies renouvelables (en 2012)[9],spécifiquement l'énergie solaire photovoltaïque, car l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara), et l'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/ m² au Grand Sud (TAMENRASSET) [9].

L'Algérie s'engage donc avec une grande volonté sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions sérieuses et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile [7].

Ainsi, un programme très ambitieux est envisagé pour développer les énergies renouvelables durant la période 2015-2030, il consiste à installer une capacité totale de 22000 MW, et le solaire photovoltaïque sera la principale source de production d'énergie propre car il représenterait 62% de la capacité totale projetée à 2030 [7].

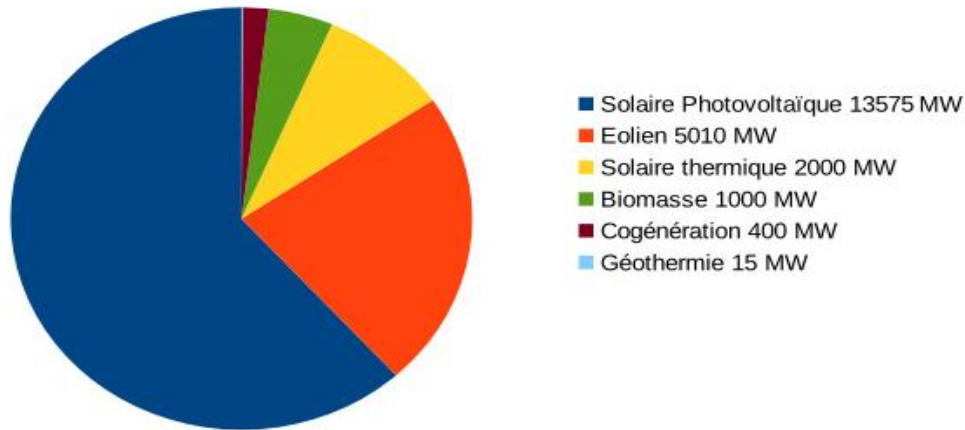


Figure (I.1): Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables [7]

2. Le solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité. On utilise des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque.[17]

2.1. Historique :

C'est le savant français E. Becquerel qui fit la première observation d'un photo-courant, dès 1839, avec une électrode en platine et l'autre en cuivre oxydé, plongées dans une solution conductrice acide. Et en 1877 les propriétés semi-conductrices furent mises en évidence, par WG Adams et RE Day, sur le sélénium.

Mais il a fallu attendre le vingtième siècle pour avoir des résultats importants, grâce à l'interprétation théorique de l'effet photo-électrique par Einstein en 1905, mais les véritables applications pratiques n'ont été réalisées que vers le milieu du siècle en 1941, par la mise au point de la première jonction **p-n** dans le silicium, puis l'obtention d'une

cellule à bon rendement (construite par les chercheurs de la Bell Téléphone Laboratoires en 1955) ainsi que les fameux transistors.[9]

2.2. L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ($h\nu$) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. [10]

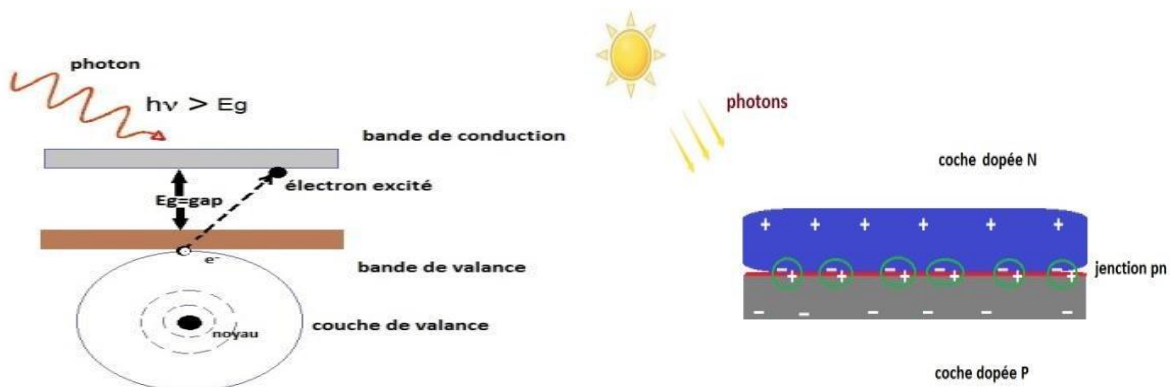


Figure (I.2) : Excitation des électrons de valence par les photons et la jonction (P-N) [4].

3. Cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est l'élément de base qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (rayon lumineux), à une énergie électrique. Ce mode de conversion repose sur un principe très connu qui est l'effet photovoltaïque.

Et pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux semi-conducteur qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe, soit l'absorption de la lumière incidente et la collection des électrons en surface.

Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée **n** (par exemple du phosphore). L'autre est dopée **p** (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion, et d'autre couche en verre pour l'étanchéité et la protection de la cellule. En fin les faces supérieure et inférieure sont équipées d'électrodes pour récolter les électrons. [10]

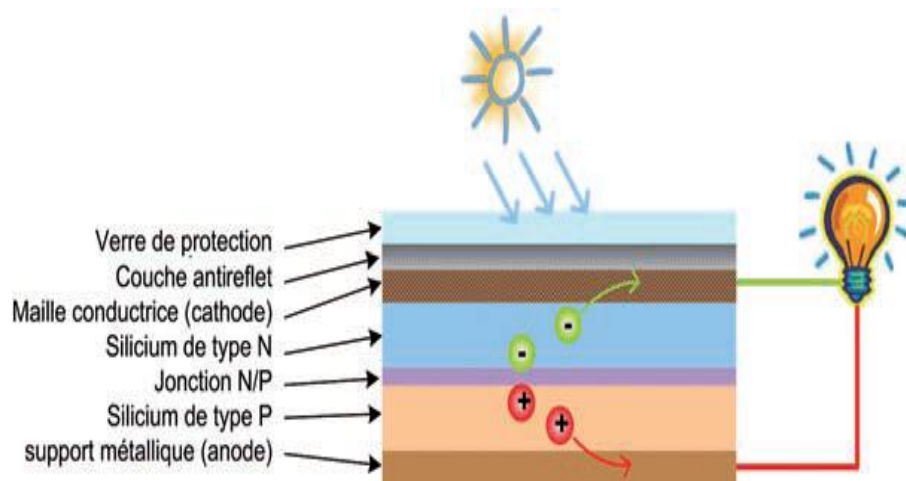


Figure (I.3) : Constitution d'une cellule photovoltaïque [11].

3.1. Les technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, réparties à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandues sont à base de silicium, notamment d'autres matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques.

On cite ci-dessous les types de cellules photovoltaïques les plus répandus :

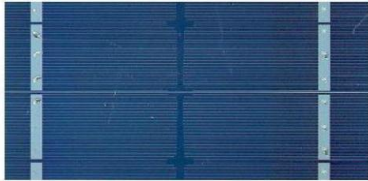

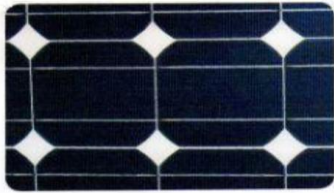
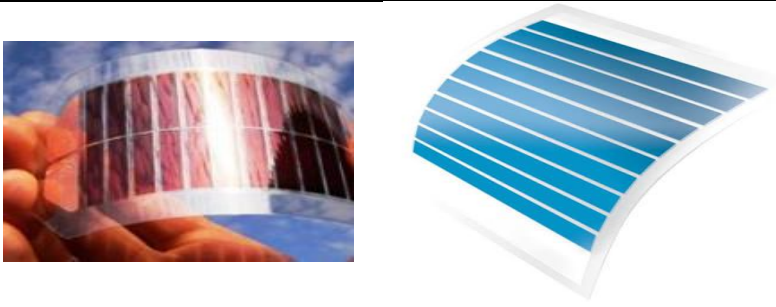
1). Les cellules à base de silicium monocristallin : Les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisé découpé dans des barres. C'est le matériau le plus répandu, et de plus il a l'avantage d'avoir un très bon rendement, entre 12 % et 16 %. L'inconvénient en est le prix, du fait d'un procédé de fabrication long et énergivore. Il est utilisé en extérieur pour les fortes et moyennes puissances (habitations, relais, télécommunications...). [11]

2). Les cellules à base de silicium poly cristallin : Les cellules de silicium poly cristallin sont découpées dans des barres de silicium reconstitué ; les atomes ne sont pas tous cristallisés. Le rendement est moins bon, entre 11 % et 14 %. L'avantage de ces cellules par rapport à celles en silicium monocristallin réside dans leur prix, puis que leur fabrication, produisant peu de déchets, nécessite de 2 à 3 fois moins d'énergie et est plus rapide. Elles ont les mêmes applications que les cellules en silicium monocristallin. [11]

3). Les cellules à base de silicium amorphe : Ce silicium est nettement moins puissant que les deux précédents, car les atomes sont disposés de manière désordonnée du fait que les cellules sont fabriquées par projection de silicium sur un autre matériau, comme du verre ou du plastique. Ce silicium en couche très mince répond néanmoins à de nombreux besoins liés à l'éclairage (extérieur ou intérieur). Son rendement est de 5 % à 7 %. Il est utilisé pour l'électronique, dans les calculettes par exemple. [11]

4). les cellules base organiques et plastiques: ils sont composées d'une bicouche de molécules évaporées sous vides, atteint 0.95% de rendement de conversion, ces cellules comprennent deux voie des cellules « humide » et la voie des cellules polymère organique dite aussi cellules « plastiques ».Le progrès de ces technologies sont très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%).Elles ouvrent également la voie aux applications légères, nomades et souples.[16]

Tableau (I.1) : Différents types de cellules photovoltaïques

Type de la cellule	texture
Cellule en silicium monocristallin	
Cellule en silicium poly cristallin	
Cellule en silicium amorphe	
cellules à base organiques et plastiques	

3.2. Caractéristiques électriques d’une cellule photovoltaïque :

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu’on appelle caractéristique courant-tension.

La figure suivante montre les caractéristiques électriques d’une cellule photovoltaïque :

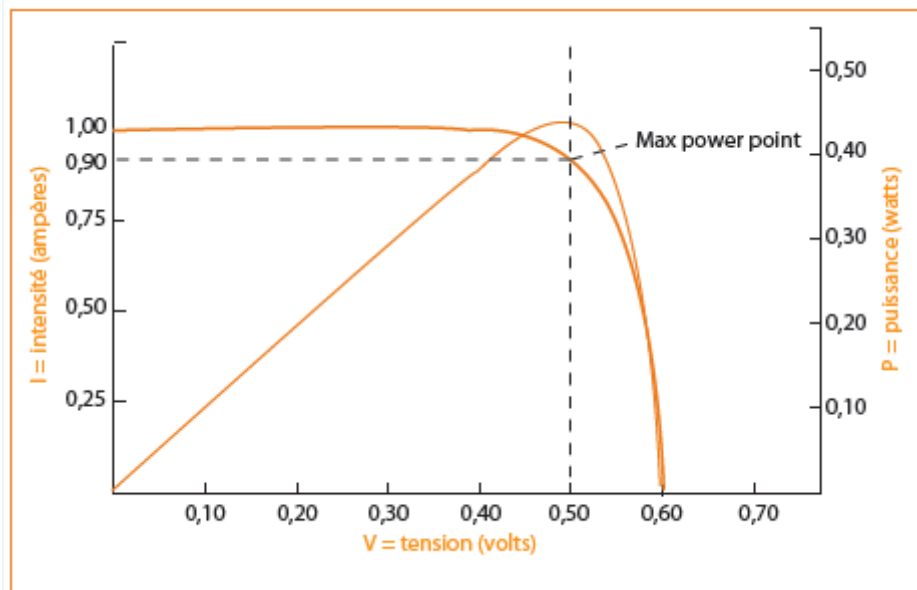


Figure (I.4) : Evolution de la caractéristique $I = f(V)$ et $P = f(V)$ [11] .

- Le courant de court-circuit I_{cc} :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée [13].

$$I_{ph} = I_{cc} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_{cell} + I_{ph} R_s}{nV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V_{cell} + I_{ph} R_s}{R_p} \quad (I.1)$$

Où :

I_s (A) est le courant de saturation, V_t (V) le potentiel thermodynamique, K (J.K-1) la constante de Boltzmann, T (K) la température effective de la cellule en Kelvin, e (C) la charge de l'électron, n le facteur de non idéalité de la jonction, I_{ph} (A) est le courant fourni par la cellule, V_{cell} (V) la tension à ses bornes, I_{cc} (A) le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'éclairement et la température, R_p (Ω) la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction et R_s (Ω) la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions

- La tension en circuit ouvert V_{co} :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse [13].

$$V_{co} = V_t \log\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \quad (I.2)$$

- La Puissance maximale P_{max} :

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale P_{max} , correspondrait donc à la tension maximale multipliée par le courant maximum [13].

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \quad (I.3)$$

- Le facteur de forme FF :

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale) [13].

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} * I_{cc}} \quad (I.4)$$

- Le rendement η :

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente [13].

Où

S : Surface de cellule solaire.

E : Flux incident.

$$\eta = \frac{V_{max} I_{max}}{P_{incidente}} \quad \eta = \frac{P_{max}}{E S} \quad (I.5)$$

3.3. Influence d'éclairement et de la température :

3.3.1. Influence d'éclairement :

La figure (I.5) présente les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un module photovoltaïque pour différents ensoleillements à la température fixe. Comme on peut voir sur la figure, le courant du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension change légèrement avec l'ensoleillement [13].

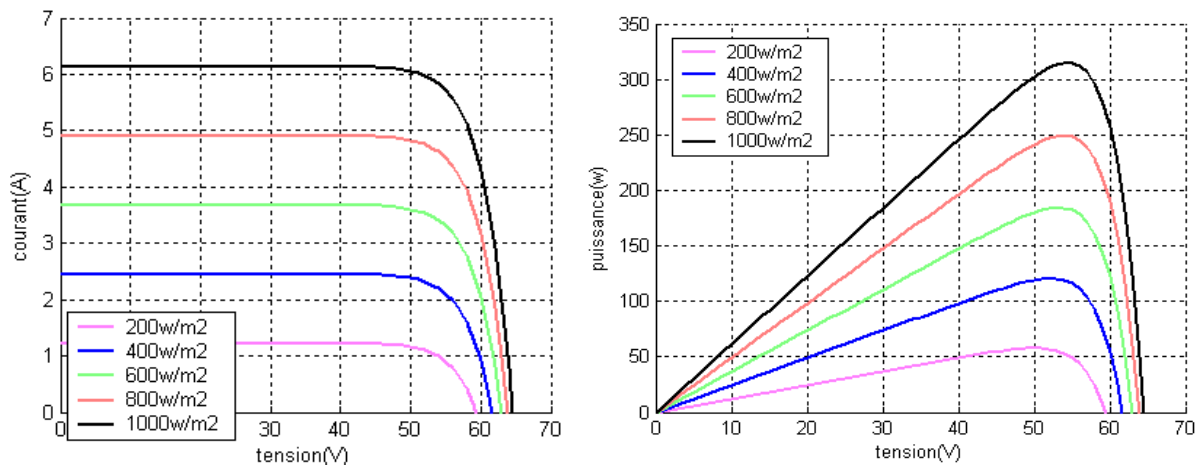


Figure (I.5) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'éclairement [14]

3.3.2. Influence de la température :

On peut observer l'effet de la température sur la caractéristique I(V). Comme le montre la figure (I.6), la température a un léger effet sur le courant, mais une augmentation de la température cause une diminution apparente sur la tension [13].

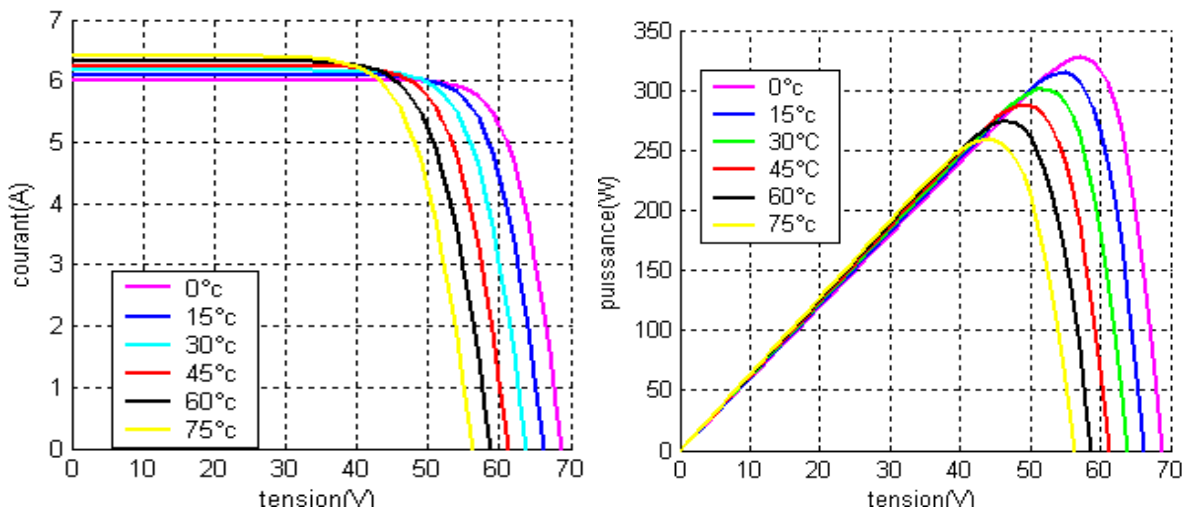


Figure (I.6) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température [14]

4. Association des cellules :

Les cellules produisent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue de moins de 1 V. Ces cellules sont disposées en série et en parallèle pour former un module ou un panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque [13].

- **Association série :**

Pour augmenter la tension du générateur PV, en disposent d'un nombre (N_s) de cellules en série. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

L'équation suivante résume les caractéristique électrique d'une association série de (N_s) cellules [10]

$$V_{cos} = N_s * V_{co} \quad (I.11)$$

$$I_{ccs} = I_{cc} \quad (I.12)$$

- ✓ **V_{cos}** : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.
- ✓ **I_{ccs}** : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

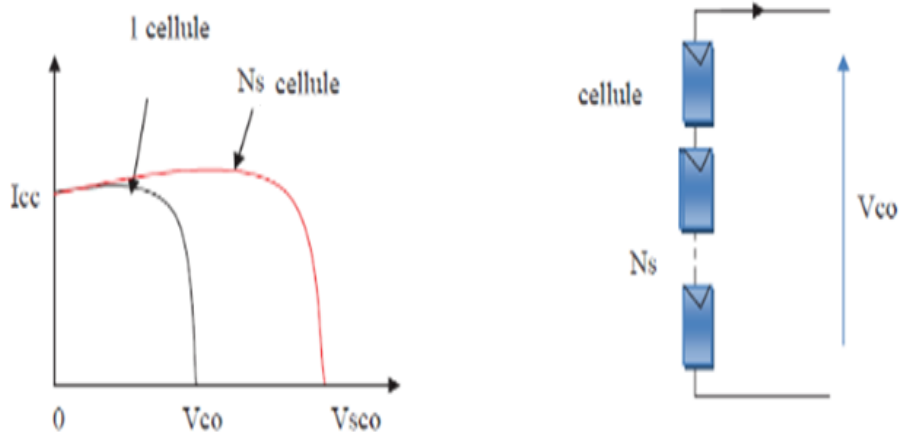


Figure (I.7): associations en série des cellules PV [10].

- **Association en parallèle :**

Pour faire augmenter le courant du générateur PV, en disposent d'un nombre (N_p) de cellules en parallèle. Les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

L'équation suivante résume les caractéristiques électriques d'une association parallèle de (N_p) cellules : [10]

$$I_{ccp} = N_p * I_{cc} \quad (I.13)$$

$$V_{co} = V_{cop} \quad (I.14)$$

- ✓ **I_{ccp}** : la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle
- ✓ **V_{cop}** : la tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

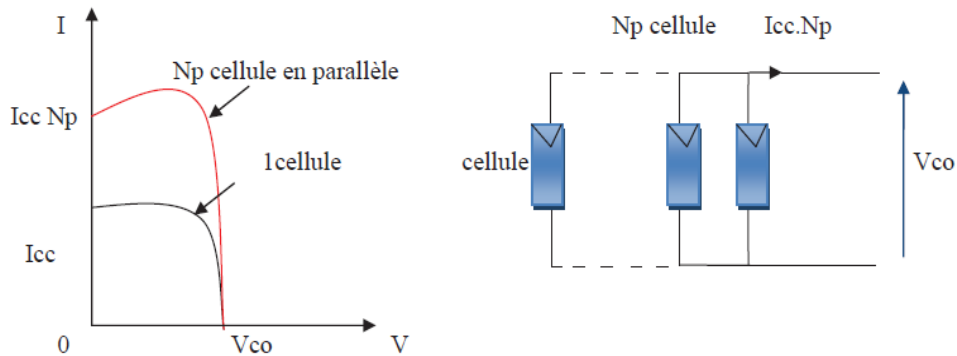


Figure (I.8) : Associations en parallèle des cellules PV [10].

- **Association en série- parallèle :**

La connexion en série de plusieurs cellules forme une branche de cellules où on a une augmentation de tension pour même courant, un assemblage de plusieurs branches de cellules en parallèle forme un module où on a un accroissement du courant et une conservation de tension [17].

5. Différentes configuration d'une installation photovoltaïque :

Les systèmes photovoltaïques apparaissent comme une solution privilégiée pour la production d'électricité de faible ou moyenne puissance en site isolé et particulièrement pour les habitations. Ce système PV se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires ; les batteries qui constituent le champ de stockage c'est là où nous stockons de l'énergie produite par les modules ; le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge ainsi il règle la valeur de la tension nominale ; l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif dont les utilisateurs ont besoin ; le câblage qui relie les différents composants du système entre eux [18].

Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants :

- un générateur photovoltaïque.
- un convertisseur statique continu / continu (DC/DC).
- un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC).
- Un système de régulation et de stockage.[15]

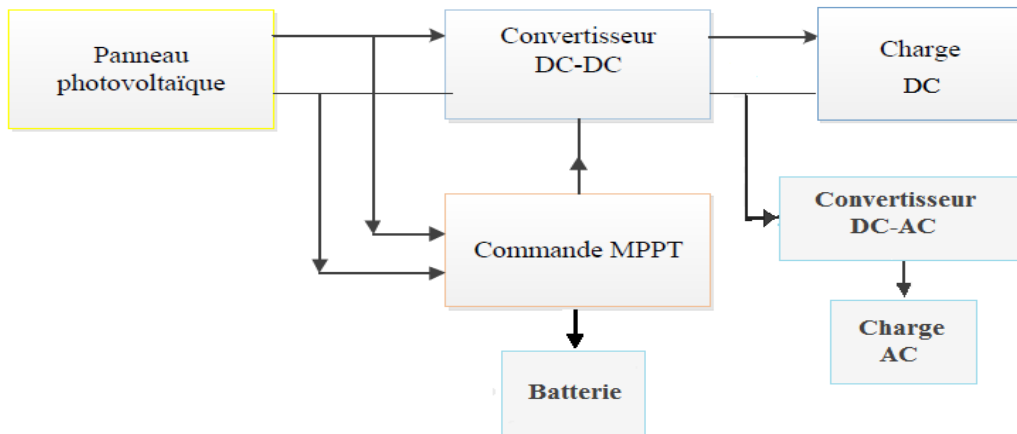


Figure (I.9) : représentation des différents composants d'une installation PV

5.1. Système autonome :

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie, qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Comme l'indique la figure I.10 représentant un exemple de système PV autonome, la présence d'éléments de stockage est obligatoire pour assurer la fourniture à l'utilisateur continuellement et même en cas d'absence potentielle de la production d'électricité. [8]

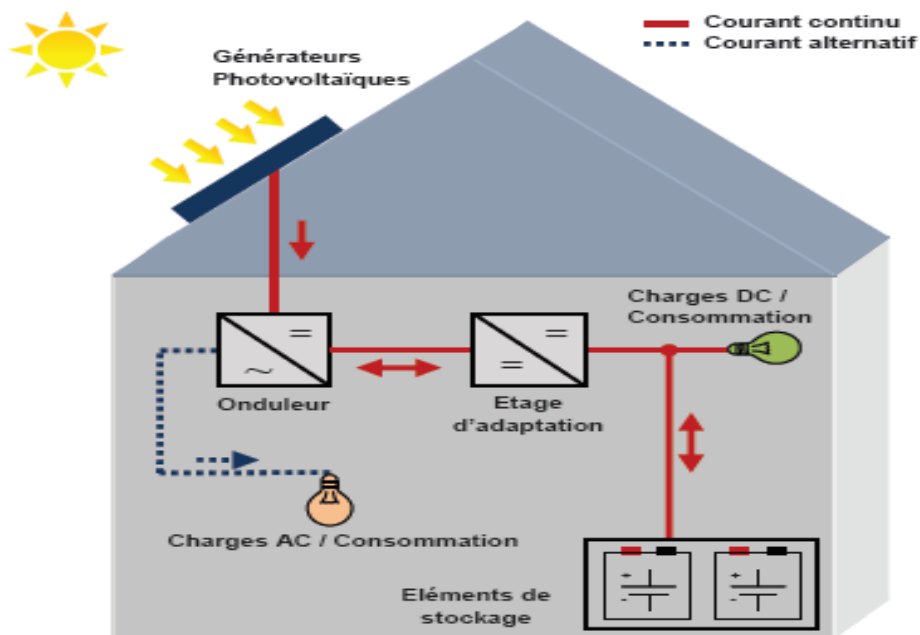


Figure (I.10) : Système PV autonome [22].

5.2. Système raccordée au réseau :

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur continu/alternatif (DC/AC). Etant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [8].

La figure I.11 représente un système PV connecté au réseau

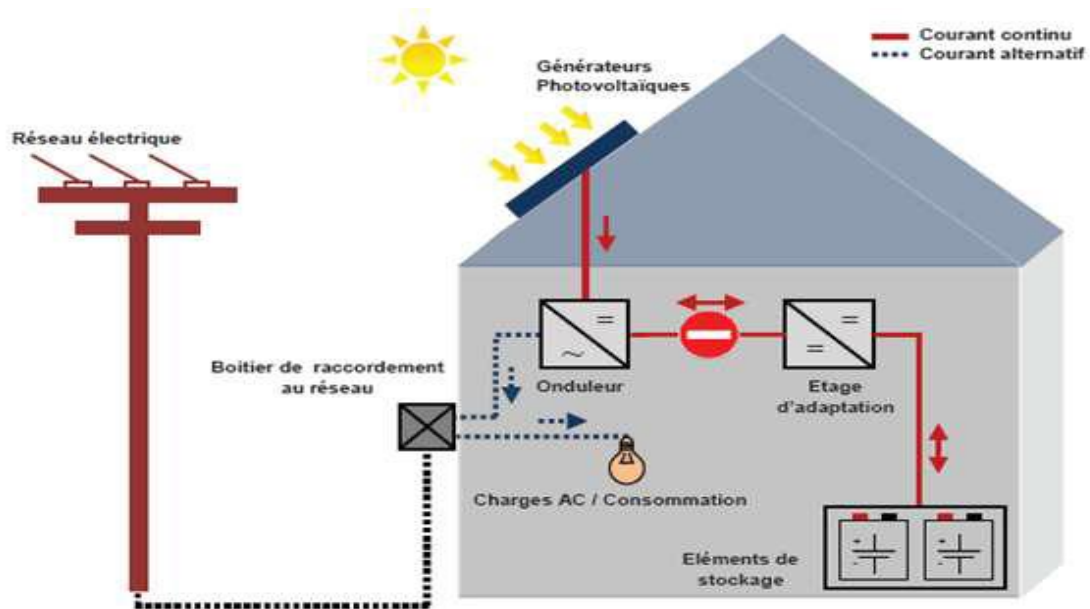


Figure (I.11) : Système PV raccordée au réseau [22].

6. Avenages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque présente des avantages énormes tels que :

- Gratuité de cette ressource et énormité de son potentiel réparti sur le globe terrestre,
- Propreté durant son utilisation,
- Grande fiabilité,
- Peu d'entretien,
- Grande souplesse de production (variant de milliwatts aux mégawatts),
- Utilisation autonome et décentralisée. [7]

Malgré ces avantages intéressants, il y a aussi des inconvénients tels que:

- Source diffuse du rayonnement solaire qui nécessite de grandes surfaces,
- Technologie coûteuse,
- Facteur de charge faible,
- Stockage difficile,
- Difficulté à recycler les composants du système,
- Investissement élevé dépendant des décisions politiques [7]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions sur les énergies renouvelables en générale. Nos études centrée sur l'énergie photovoltaïque, c'est l'énergie la plus intéressante elle est disponible avec un immense potentiel. Ce potentiel favorise sons utilisation pour l'alimentation électrique, en particulier les sites isolé dans les diverses régions mondiales et nous avons détaillé le principe de la cellule photovoltaïque afin de mieux comprendre l'ensemble du mécanisme de conversion en énergie électrique.

Chapitre 2 :
Défauts dans les systèmes
photovoltaïques

Introduction :

Les panneaux solaires photovoltaïques sont les plus utilisés et les plus répandus dans le marché, ils sont privilégiés pour leur rentabilité et fiabilité ainsi que leur facilité d'installation et d'utilisation, ils sont de plus en plus appliqués dans différents domaines allant des installations résidentielles, commerciales et centrales de production d'électricité jusqu'aux systèmes spatiaux.

Dans une station solaire photovoltaïque, des centaines voire des milliers de panneaux photovoltaïques sont installés et placés selon les exigences du site, et pour avoir de l'énergie électrique utilisable, plusieurs dispositifs rentrent en vigueur (convertisseurs, câblages, système de protection ...) afin de réaliser un système complet qui permet de produire le maximum d'électricité et d'assurer une bonne distribution et stockage de cette dernière. Et comme toutes les installations industrielles existantes une station solaire photovoltaïque comporte plusieurs défauts et anomalies affectant négativement la rentabilité de la station, ils sont liés aux défauts des différents composants de la station et aux perturbations liées aux conditions naturelles, parfois ces perturbations et défauts peuvent causer le dysfonctionnement total de la station.

Nous allons voir dans ce chapitre, la description d'un système solaire et ces différents composants, ensuite nous mentionnerons d'une manière générale les défauts les plus fréquents dans un système photovoltaïque, et à la fin nous allons voir les problèmes dus à l'inclinaison et l'orientation des panneaux photovoltaïques et les conditions importantes pour avoir une meilleure captation du rayonnement solaire.

II.1. Description d'un système photovoltaïque :

Bien que fondamental dans la chaîne qui représente un système PV, le module photovoltaïque à lui seul ne représente pas grand-chose. Pour répondre à un besoin défini, il faut en fait associer étroitement ces modules à un système complet correspondant à une application bien spécifique [19]. Telle que les convertisseurs statiques (onduleur et hacheur) avec le système de régulation MPPT, les différents types de batteries et tout dispositif d'interconnexion et de sécurité ou de protection [20], dans le but d'assurer un approvisionnement dans les normes en électricité.

En générale un système photovoltaïque comporte 3 majeures parties, qui sont représentées ci-dessous dans la figure (II.1).

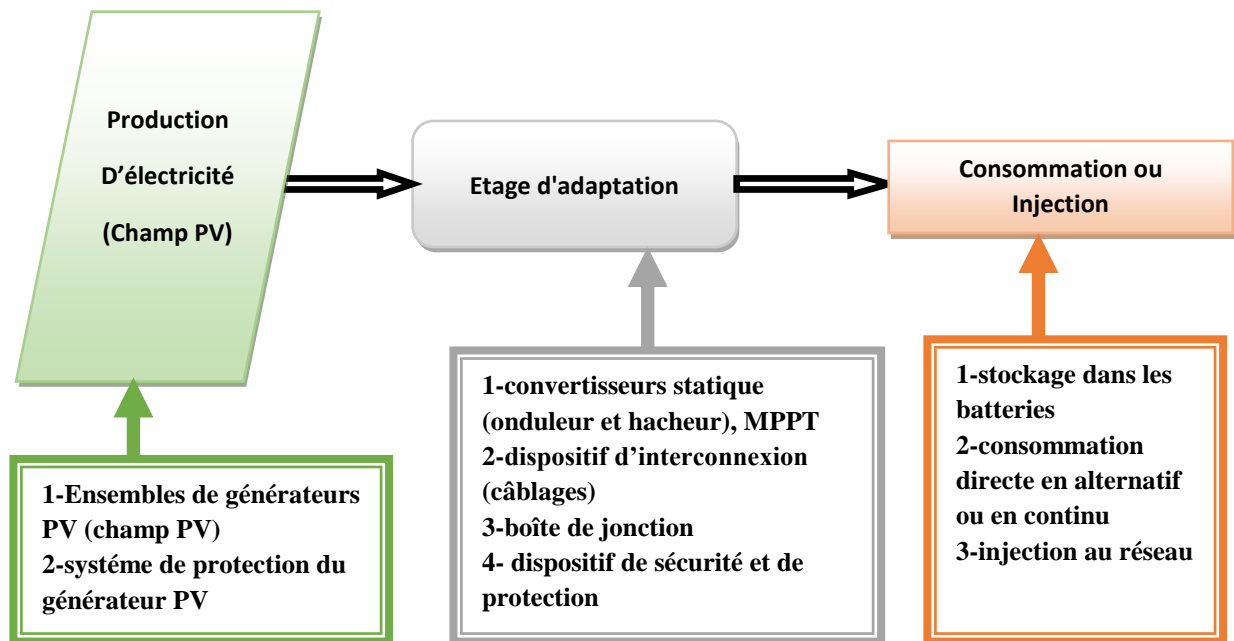


Figure (II.1) : schéma descriptif d'un système photovoltaïque

II.1.1. Générateur PV :

Comme on la déjà mentionné dans le premier chapitre, la cellule photovoltaïque est le plus petit élément dans un générateur PV, cela dit c'est l'élément de base de ce dernier, elle est responsable de la conversion directe de l'énergie solaire en un courant électrique continu, seulement elle génère une très faible puissance qui est de l'ordre de quelque watt.

Un module PV est constitué de plusieurs groupes PV qui est à la base d'un ensemble de cellules PV raccordées en série ayant pour objectif d'augmenter leur tension. Ces cellules PV sont rassemblées en parallèle avec une seule diode by-pass [21]. Comme le montre figure (II.2).

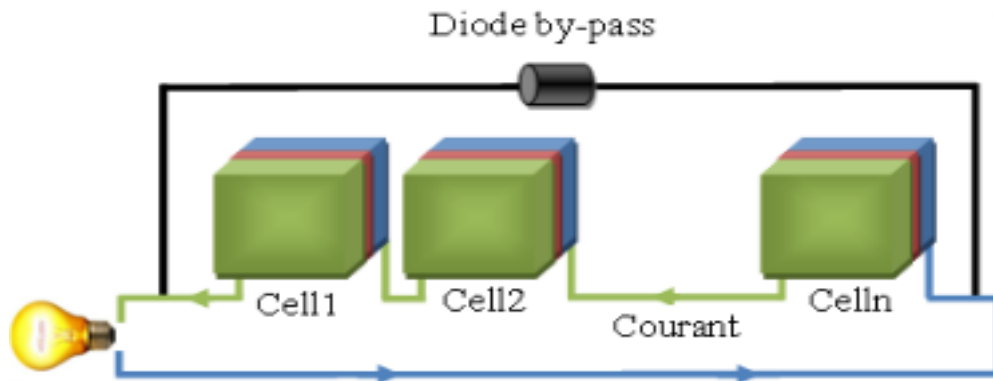


Figure (II.2) : Groupement de cellules PV [23].

Ensuite ces groupes PV sont raccorder entre eux en parallèle afin d’augmenter le courant ainsi la puissance va être augmenté a des dizaines ou des centaines de watt par module (panneau).

Plusieurs autres composant sont ajouté telle que (boîte de jonction, verre dur, verre trempé, joint silicone, cadre en aluminium et autre...) pour une sécurité mécanique du panneau et avoir un meilleur rendement. Comme le montre la figure (II.3)

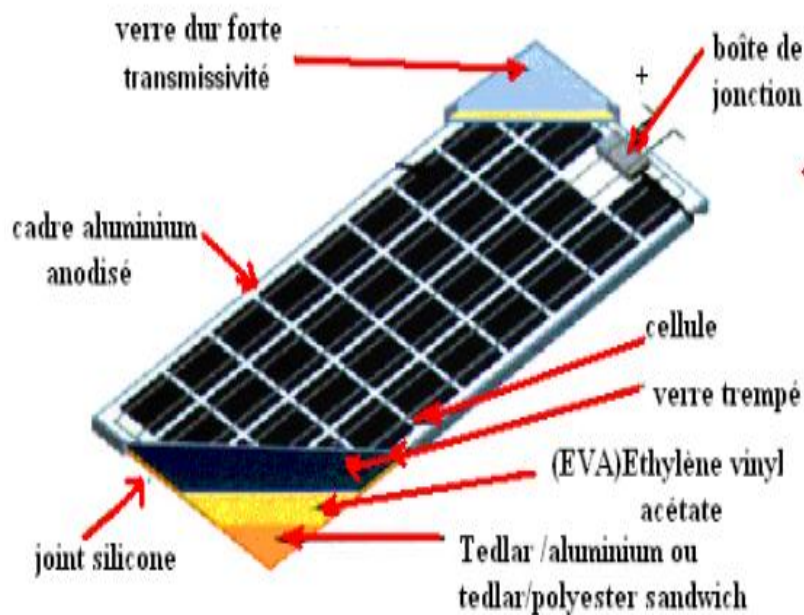


Figure (II.3) : Composants d’un générateur PV [31]

I.2. champ PV :

Un champ photovoltaïque est composé de plusieurs modules PV câblé en série entre eux, créant une chaîne ou un string qui est un regroupement de plusieurs modules PV en série[5], il se termine par une diode dite anti-retour, qui a pour objectif de bloquer le courant inversé circulant dans tout le string PV [21], la tension se trouve ainsi augmentée aux bornes

de cette chaîne. Puis ces chaînes peuvent être mises en parallèle, la tension est conservée et le courant augmente (principe de base de l'électricité).

Le dimensionnement consistera à adapter par une combinaison judicieuse le nombre de modules PV en série et en parallèle à la surface disponible (sur une toiture par exemple) mais aussi et surtout à vérifier la compatibilité tension et intensité du champ photovoltaïque à l'onduleur [26]. Notamment Il existe plusieurs configurations possibles pour interconnecter les modules dans un champ photovoltaïque: connexion série parallèle simple, connexion Total Cross Tied, connexion Bridge Linked. Il a été montré que les deux dernières configurations peuvent améliorer la performance du champ mais la viabilité économique empêche l'utilisation de telles configurations. Nous ne retenons donc dans ce travail la connexion série parallèle simple.[25]

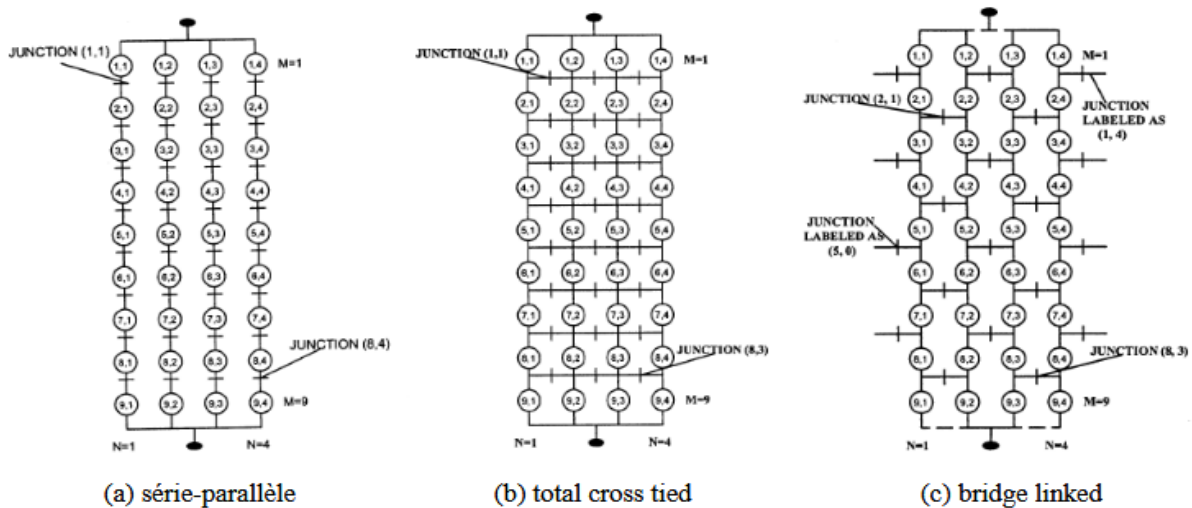


Figure (II.4) : Différentes configurations pour un champ de 36 modules.

II.1.2. Convertisseur

Les convertisseurs sont des appareils servent à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative. L'étude du convertisseur est intéressante dans la mesure où il est utilisé dans la plupart des nouveaux types de sources de production d'énergie(éolienne, photovoltaïque, pile à combustible...).

En générale en trouve deux sorte de convertisseurs dans une installation PV, le hacheur et l'onduleur[10] qui ont pour rôle d'extraire la puissance maximale du générateur PV et la convertir en puissance alternative avant de la consommer[21].

II.2.1. le hacheur :

Le hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue [10].

Le hacheur a aussi pour rôle d'extraire la puissance maximale du générateur PV. C'est pourquoi il est muni d'un algorithme de recherche de type MPPT (Maximum Power Point Tracker) [21].

II.2.2. l'onduleur :

L'onduleur est un convertisseur statique DC/AC de haute performance il convertit la tension continue, en tension alternative contrôlée de façon très précise [10]. Dans une station PV la puissance maximale extraite par le hacheur est convertie en puissance alternative active par l'onduleur.

L'onduleur est l'un des composants les plus importants dans une station PV, il existe plusieurs différents types topologies d'onduleurs utilisé selon la nature et l'exigence de l'installation et les plus importants sont :

- **Onduleurs modulaires (module inverter)**

Chaque module solaire disposé d'un onduleur individuel, pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire correspondant [24]

- **Onduleurs centralisés (central inverter)**

Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif.

Ce qui veut dire un seul onduleur de taille pour tout l'ensemble des modules du champ PV, et pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série.[24]

- **Onduleurs "String" ou "de Rangée"**

L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé. [24]

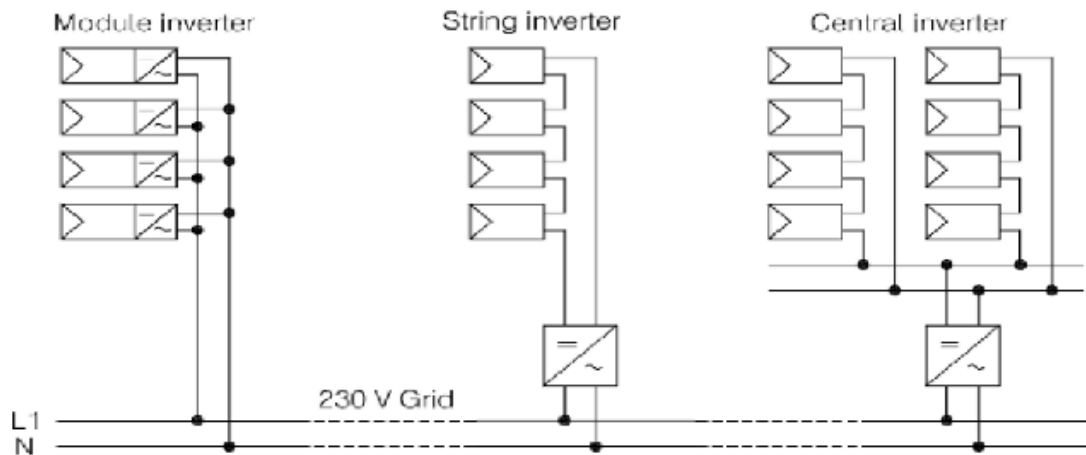


Figure (II.5): Classification des onduleurs PV connectés au réseau

II.1.3. Câblage et boîte de jonction

Le câblage a pour but de regrouper électriquement les modules solaires. Généralement, les modules sont câblés tout d'abord en série pour réaliser des branches qui comportent chacune leur diode en série. La mise en parallèle de branches est réalisée, pratiquement, à l'aide de boîtes de jonction fixées sur les châssis [19]. Cette boîte de jonction peut contenir des éléments de protection tels que des fusibles, des interrupteurs et des sectionneurs [21].

Il est indispensable d'apporter un soin particulier au serrage des cosses et au câblage d'une installation car une chute de tension trop importante dans les connexions et dans les câbles peut réduire considérablement le courant de charge de la batterie. Cette chute de tension est loin d'être négligeable lorsque de forts courants sont fournis sous de faibles tensions. Cette contrainte impose l'utilisation de câbles résistant aux intempéries et dont la section sera fonction de la distance entre panneau solaire et batterie [19].



Figure (II.6): Exemple de boîte de jonction et câblage [30].

II.1.4 Système de protection

Pour garantir la durée de vie d'une installation photovoltaïque destinée produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules PV afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en série et de panneaux en parallèle [22].

Il existe plusieurs sortes de protection pour une installation photovoltaïque, parmi ces derniers la protection du générateur PV :

II.1.4.1 Protection d'un générateur PV contre les chocs électriques

Ce type de protection inclue la protection contre les contacts directs : « Les matériels PV partie courant continu doivent toujours être considérés comme sous tension et disposer de protection par isolation des parties actives ou par enveloppe », et la protection contre les contacts indirects: « Les modes de protection doivent intégrer les dispositions mises en œuvre côté DC et AC ainsi que la présence ou non d'une séparation galvanique par transformateur entre les parties DC et AC » [24].

II.1.4.2 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surtensions

Les surtensions sont présentes de plusieurs manières dans une installation PV. Elles peuvent être [24]:

- transmises par le réseau de distribution et être d'origine atmosphérique (foudre) et/ou dues à des manœuvres.
- générées par des coups de foudre à proximité des bâtiments et des installations PV, ou sur les paratonnerres des bâtiments.
- générées par les variations de champ électrique dues à la foudre.

En règle générale, un système de protection contre la foudre destiné à un générateur PV se compose des éléments suivants [24]:

- 1. Système extérieur de Protection contre la Foudre (SPF) ;
- 2. Installation de mise à la terre et équilibrage de potentiel ;
- 3. Blindage magnétique et câblage ;
- 4. Protection SPD (Surge Protection Device) coordonnée

II.1.4.3 Protection d'un générateur photovoltaïque contre les surintensités

Le générateur PV comme toutes autres générateurs d'énergie électrique doit être protégé contre les surintensités, et autres types de problèmes [24].

Nous ne nous intéressons ici à deux composants servant à la protection du générateur PV

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit [22].
- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées. La mise en conduction de ces diodes affecte la caractéristique de sortie du générateur, par la perte d'une partie de la production d'énergie et par la présence de deux maximums de puissance [22].

II.2. Défaits dans un système photovoltaïque

Un défaut est défini comme un état anormal ou une anomalie au niveau du composant d'équipement ou du sous équipement. Il peut conduire à une défaillance du système [23].

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales. Les défauts et les anomalies apparus varient d'une installation à une autre en fonction de sa conception, installation, opération et maintenance [21].

II.2.1. Les défauts et leurs conséquences les plus fréquents rencontrés dans un champ PV

Généralement les générateurs PV sont considérés fiables par rapport aux autres systèmes, mais comme tous procédés, un système PV peut être exposé à plusieurs pannes provoquant le dysfonctionnement de ce dernier, plusieurs études ont constaté que la fiabilité des systèmes PV est fortement dépendante du matériel utilisé pour la construction des panneaux PV, de la température, de l'humidité et du rayonnement solaire. Un système PV peut avoir plusieurs défauts que ce soit les défauts de types construction, ou les défauts matériels et électriques causés par les conditions climatiques [25]. A ce titre, nous pouvons citer les défauts affectant un champ PV et leurs conséquences sur la productivité de ce dernier. Les défauts collectés ont été classifiés selon la fonction des différents composants constituant l'installation PV. Six groupes de défauts ont été formés :

II.2.1.1. Défaits dans le générateur PV [26]:

Dans le générateur photovoltaïque on trouve:

Tableau (II.1) : Exemples de défauts rencontrés dans les générateurs photovoltaïques

N°	Défauts	conséquences
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dégradation des modules par vandalisme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution des performances et non fonctionnement de l'installation
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mauvaise orientation et inclinaison des modules ou Inclinaison trop faible 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ombrage, diminution des performances, Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons et problème d'étanchéité.
3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Module mal ou pas ventilé, mal fixé ou non câblée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Echauffement, Déplacement du module, diminution des performances, Perte d'étanchéité et détérioration des cellules
4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosion du cadre des modules et tempête 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, Module arraché et cassé
5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foudre et foudre sur l'installation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Détérioration et destruction des modules
6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pénétration de l'humidité et ombrage partiel (feuille d'arbre, déjections) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution des performances du champ
7	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Important courant de fuite et échauffement des modules par la boîte de connexion 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hot spot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation, diminution de la résistance de CC à la terre et détérioration des cellules



Figure (II.7) : Exemples de défauts rencontrés dans les générateurs photovoltaïques [26].

II.2.1.2. Défaits dans la boîte de jonction

Les défauts rencontrés dans la boîte de jonction sont :

Tableau (II.2) : Exemples de défauts rencontrés dans la boîte de jonction

N°	Défauts	conséquences
1	<ul style="list-style-type: none"> Absence de parafoudre ou protection foudre inadaptée 	<ul style="list-style-type: none"> Destruction en cas de foudre
2	<ul style="list-style-type: none"> Presse-étoupe mal serré 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion des contacts, rupture du circuit électrique
3	<ul style="list-style-type: none"> Liaison de mise à la terre non fixée ou sectionnée 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de mise à la terre
4	Boîte de jonction sans presse-étoupe	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'étanchéité, corrosion des contacts et rupture du circuit électrique
5	Presse-étoupe en caoutchouc et infiltration d'eau par les vis de fixation	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion des connexions, des diodes, des bornes et incendie
6	<ul style="list-style-type: none"> Boîte de jonction non repérée, déconnexion des soudures et liaison sans protection 	<ul style="list-style-type: none"> Problème pour contrôle et maintenance, arc électrique, incendie, diminution des Performances et destruction de la liaison
7	<ul style="list-style-type: none"> Pénétration de l'eau ou de l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion des connexions, des diodes, des bornes et incendie

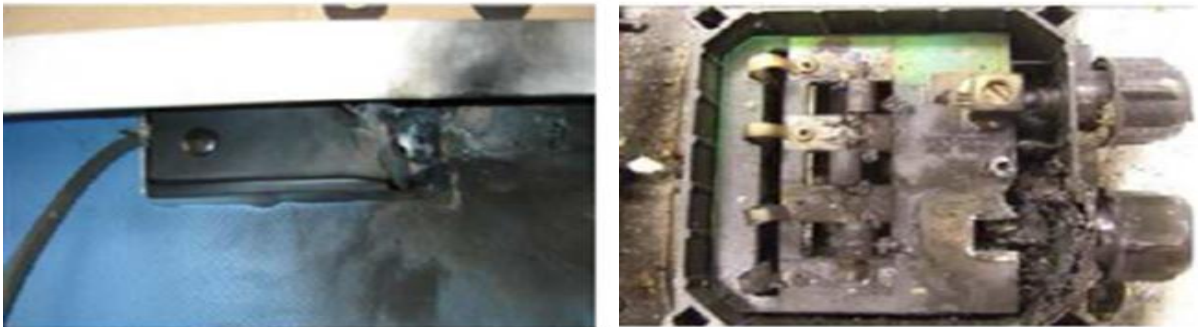


Figure (II.8) : Exemples de défauts rencontrés dans la boîte de jonction [26].

II.2.1.3. Défauts dans le système de câblage

Les défauts rencontrés dans le système de câblage est donnée comme suite:

Tableau (II.3) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage

N°	Défauts	Conséquences
1	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais dimensionnement des Câbles ou boîte de connexion décollée 	<ul style="list-style-type: none"> Chute de tension > 3%, échauffement et connexion des cellules en série endommagée
2	<ul style="list-style-type: none"> Connexion desserrée ou cassée et toron 	<ul style="list-style-type: none"> Arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction, destruction de diodes et Boucle électromagnétique
3	<ul style="list-style-type: none"> Principe de câblage en goutte d'eau non respecté et absence de graisse de silicone 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais câblage et humidité
4	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais câblage ou câbles non fixés 	<ul style="list-style-type: none"> Court-circuit, claquage des diodes anti-retour, destruction des connecteurs (circuit ouvert), aléas de fonctionnement sur disjoncteur et boucle de câblage
5	<ul style="list-style-type: none"> Câbles d'arrivée des sous champs entamés lors du dénudé ou câble mal dénudé 	<ul style="list-style-type: none"> Mauvais câblage, faux contacts, circuit ouvert et arc électrique
6	<ul style="list-style-type: none"> Bornes rouillées 	<ul style="list-style-type: none"> Faux contacts, circuit ouvert et arc électrique



Figure (II.9) : Exemples de défauts rencontrés dans le système de câblage [26].

II.2.1.4. Défaits dans le système de protection

Les différents défauts qu'on trouve dans le système de protection sont comme suite :

Tableau (II.4) : Exemples de défauts rencontrés dans le système protection

N°	Défaut	Conséquences
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protections inappropriées ou mal dimensionnées 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Court-circuit, hot spot, incendie et arrêt de l'installation
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interrupteur, disjoncteur inapproprié et vieillissement des disjoncteurs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arc électrique, incendie, destruction à l'ouverture et non fonctionnement des disjoncteurs
3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mauvaise dissipation de la chaleur des diodes ou sous dimensionnement des diodes de by-pass ou diode mal connectée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Echauffement, Hot spot, destruction des diodes, échauffement de la boîte de jonction, Non fonctionnement des diodes et absence de protection contre les courants inverses
4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Interrupteur, disjoncteur inapproprié et vieillissement des disjoncteurs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Problème de sécurité et dysfonctionnement en cas de pluie
5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas de possibilités de sectionnement extérieur au coffret ou Armoire électrique posée à même le sol à l'extérieur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non déclenchement et tension entre neutre et terre
6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disjoncteur différentiel non conforme à la norme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non fonctionnement des diodes, court-circuit, hot spot et non fonctionnement des fusibles et des protections de surtension

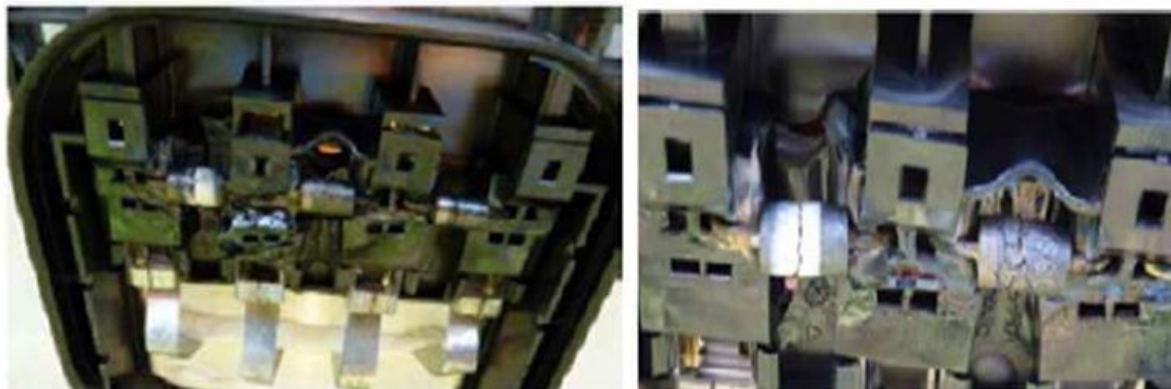


Figure (II.10) :Exemples de défauts rencontrés dans le système protection [26].

II.2.1.5. Défaits dans l'onduleur

Les défauts rencontrés dans l'onduleur :

Tableau (II.5) : Exemples de défauts rencontrés dans l'onduleur

N°	Défaut	Conséquences
1	▪ Dégradation à cause la chaleur ou défaut d'isolement	▪ Détérioration de l'onduleur et des connexions
2	▪ Faux contact et fusible fondu	▪ Arrêt de l'onduleur
3	▪ Surtension ou onduleur non mis à la terre	▪ Déconnexion de l'onduleur et disjoncteur différentiel non actif
4	▪ onduleur sous dimensionné ou surdimensionné	▪ Destruction de l'onduleur et Perte de puissance avec diminution des performances
5	▪ Onduleur installé dans un lieu non étanche ou mal fixé	▪ Panne et chute de l'onduleur
6	▪ Mauvais choix de la tension nominale d'entrée	▪ Diminution des performances
7	▪ Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible ou Perte de la mémoire (mauvaise manipulation du technicien)	▪ Pas d'information sur le fonctionnement et perte des données

II.2.1.6. Défaits dans le système d'acquisition

Les défauts rencontrés dans le système d'acquisition:

Tableau (II.6) : Exemples de défauts rencontrés dans le système d'acquisition

N°	Défauts	Conséquences
1	▪ Coupure de courant ou défaut de paramétrage	▪ Perte de données et enregistrement de fausses données
2	▪ Sonde d'ensoleillement non câblée et mauvais câblage des shunts de mesure	▪ Mesure impossible ou erronée
3	▪ Non configuré pour l'acquisition des données ou acquisition de données vierge	▪ Pas de donnée enregistrée ou aucune information enregistrée
4	▪ Carte électronique mal positionnée	▪ Touches inactives et défaut de commande
5	▪ Armoire fermée par le service de maintenance ou présence d'un code	▪ Lecture des données par l'exploitant impossible
6	▪ Bornier de mesures et de sonde de température trop proches	▪ Câblage difficile, risque de court-circuit
7	▪ Mesure de données non nulles alors que système PV à l'arrêt	▪ Fiabilité des données

II.3. Problèmes dus à l'orientation et l'inclinaison du générateur PV :

Telle comme on la déjà mentionner précédaiant, l'efficiencie d'une installation photovoltaïques dépend de plusieurs facteurs (conditions climatiques, défauts dans le système,...) qui peuvent influencer négativement sont rendement, on distingue aussi des pertes dus à la captation non optimale de l'ensoleillement par le module PV ces pertes sont attribuées a deux facteurs important qui sont l'orientation du panneau PV et son inclinaison par rapport à l'horizontale.

Le seul et principale problème dus à l'orientation et l'inclinaison des panneaux PV est belle et bien leurs influences directes sur le rendement du champ PV, ce qui veut dire un mauvais positionnement du panneau dans un lieu donné engendrera directement une baisse considérable du rendement.

Ainsi une bonne connaissance du gisement solaire est nécessaire à l'étude du système photovoltaïque. Par gisement solaire, on entend ici les différentes caractéristiques du rayonnement solaire, susceptibles d'influencer les performances d'un système photovoltaïque en un lieu donné[27].Ceci dit, la production d'un panneau solaire photovoltaïque, varie avec l'angle d'incidence des rayons solaires. Puisque la position du soleil varie dans le ciel tout au long de la journée et de l'année, on aurait besoin de suivre le mouvement journalier et saisonnier du soleil, grâce à un système de suivi solaire, qui peut s'avérer coûteux et pas pratique ou économique, généralement on utilise des installations fixes, ce qui oblige à définir un angle d'inclinaison et une orientation du panneau. Le choix de ces angles est fait de

manière judicieuse, afin d'obtenir la production maximale correspondant à un fonctionnement sans suivi solaire.

En règle générale, pour des installations visant une production annuelle maximale, l'inclinaison donnée au panneau correspond à la valeur angulaire de la latitude du lieu d'installation, avec une orientation vers l'Equateur, c'est à dire plein Sud pour les localités situées dans l'hémisphère Nord, et une orientation vers le Nord pour les localités situées dans l'hémisphère Sud. En effet, lorsqu'on est dans l'hémisphère Nord, on voit le soleil plus longtemps dans l'hémisphère Sud tout au long de l'année. L'inverse est vrai pour l'hémisphère Sud, le soleil parcourant la même distance de part et d'autre de l'équateur le long de l'année [28].

Et pour obtenir l'angle d'incidence des rayons sur le capteur, une représentation schématique (figure1.11) nous permet de visualiser clairement des différents angles pris en

compte dans l'étude du rayonnement arrivant dans le plan d'un capteur. Le angle (γ , hauteur dans l'étude) et (ψ , azimut qui est l'angle formé par projection de la direction du soleil et la direction du Sud), son liés directement à la position du soleil par rapport à l'emplacement géographique du capteur [29].

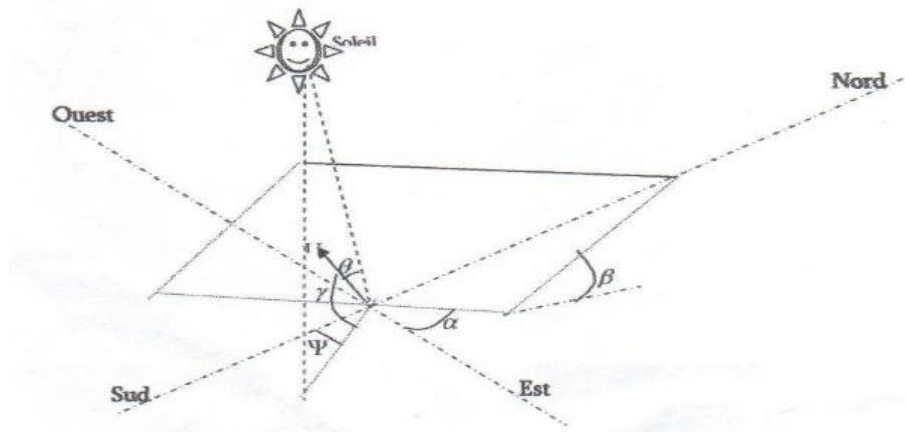


Figure (II.11):Représentation de l'éclairage d'un capteur plan incliné

Les autres angles sont liés directement au positionnement du capteur, et permettent de corriger les pertes liées au trajet optique des rayons lors de la traversée de l'atmosphère, ils correspondent à :

- L'orientation (α) : du capteur par rapport au sud, (0° au sud, 180° au nord, $+90^\circ$ à l'ouest et -90° à l'est. dans notre cas, cette variation est mise à zéro.
- L'inclinaison (β): du capteur par rapport au sol ($0^\circ < \beta < 90^\circ$). Elle est nulle pour ce qui est du plan horizontal dans le calcul du premier angle d'incidence puis de 45° pour le second.
- L'angle d'incidence (θ) : des rayons solaires par rapport à la normale au capteur [29].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit d'une manière générale un système photovoltaïque et ces différents composants. Ensuite nous avons cerné globalement les différents défauts et anomalies les plus fréquentes qui affectent négativement le rendement d'un système solaire, finalement nous avons parlé sur le problème principal dus à l'orientation et l'inclinaison des générateurs photovoltaïques, et les conditions optimales pour une meilleure captation et quelques notions sur la captation du rayonnement solaire.

Le chapitre suivant sera consacré pour une étude pratique des problèmes liés à la mauvaise orientation et inclinaison de ces générateurs.

Chapitre 3 :
Evaluation quantitative de
l'impact d'inclinaison et
d'orientation sur la production
PV

Introduction :

Dans le chapitre précédent en a fait une étude d'une centrale PV, avec tous ces composants important poursuivi des déferents défauts majeurs qui touche chaque composant, entrainant une baisse du rendement. Notons les problèmes dus à l'orientation et l'inclinaison d'un panneau PV dans un site donné, sur les quelle on mettra le point dans ce 3 éme chapitre. Une étude pratique a été réalisé pour voir l'influence de l'orientation et l'inclinaison sur les performances du générateur PV, elle nous aidera ver la fin à choisir l'orientation et l'inclinaison optimal pour notre panneau dans le site donné, afin d'optimiser ses performances. Pour cela nous avons met en place une installation d'expérimentation au sein du pôle universitaire Akli Mohand oulhadj de Bouira durant le mois de juin avec un matériel de base disponible au laboratoire de génie électrique.

1. site d'expérimentation :

La wilaya de brouira est située dans la région centre nord du pays à environ 98 km au sud-est de la capitale, sur une superficie de 4456,26 km², au frontières de la wilaya se trouve la wilaya de Tizi-Ouzou et la wilaya de Boumerdes au nord, la wilaya de M'Sila au sud, à l'est la wilaya de Bordj Bou Arreridj, et à l'ouest les wilayas de Média et Blida.

Le chef-lieu de la wilaya de bouira se situe à environ 119 KM au sud-est de la capitale, caractérisée par un climat méditerranéen sec et chaud en été, froid et pluvieux en hiver. La pluviométrie moyenne est de 660mm/an au nord et de 400 mm/an au sud avec des températures qui varient entre 20 et 40 C° de mai à septembre et de 2 à 12 C° de janvier à mars.



Figure (III.1) : situation de la wilaya de bouira

Données météorologiques et géographiques du site d'expérimentation (chef-lieu de la wilaya de bouira) :

Tableau (III.1) : Données météorologiques et géographiques de bouira

Altitude	525 mètres
Longitude	3° 2' 31 E
Latitude	36° 45' 9 N
Ensoleillement moyen	2400 KWh/m ²
Précipitations moyenne	665mm
Humidité relative	32% à 92%

2. Le système proposé :

Le système proposé pour notre expérience est un système assez simple composé de 2 parties essentielles, qui sont :

- Générateur photovoltaïque : panneau solaire
- Charge : résistance variable

En plus de quelques instruments de mesure comme les multimètres et le solar mètre, le schéma suivant représente le montage du système.

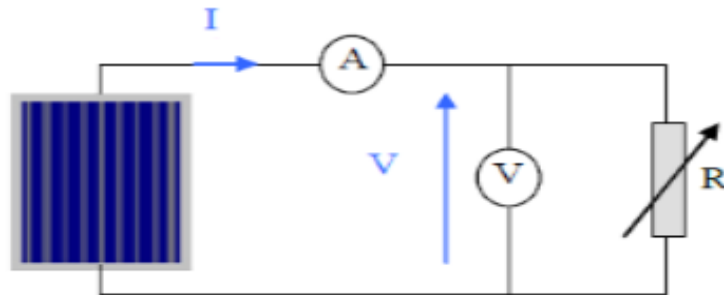


Figure (III.2) : schéma électrique du système proposé

2. 1. Le générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque utilisé est un panneau solaire PV de technologie monocristalline à 36 cellules, modèle STP085B-12/BEA de la société américaine Sun-Tech. Les panneaux PV sont disposés par deux, sur un chasé en aluminium démontable et mobile, avec un angle d'inclinaison de 45° par rapport à l'horizontale, comme le montre la figure (III.3), pour fournir une puissance égale à 170 W pour l'ensemble des 2 panneaux du kit, soit 85W pour un seul panneau.

- Les caractéristiques électriques du panneau PV, modèle STP085B-12/BEA sont données par le tableau III. 1:

Tableau (III.2) : caractéristiques électriques du panneau solaire modèle STP085B-12/BEA

Paramètres électriques	Valeurs
modèle	STP085B-12/BEA
Puissance maximale	85W
Tolérance de sortie	±5%
Courant à la puissance maximale (I_{PM})	4.8A
Tension a la puissance maximale (V_{PM})	17.8V
Courant de court-circuit (I_{cc})	5.15A
Tension de circuit ouvert (V_{co})	22.2V
Température nominale de fonctionnement	45c°±2c°
Longueur (mm)	1195
Largeur (mm)	541
Poids (kg)	8
Nombre de cellules	36



Figure (III.3) : Panneau solaire photovoltaïque modèle STP085B-12/BEA

2.2. La charge :

La charge utilisée est une résistance variable de 50 ohms, avec un courant maximum de 5A comme le monte la figure (III.4). En a choisi ce type de résistance pour nous permettre de changer facilement la valeur de la charge relia au panneau PV.

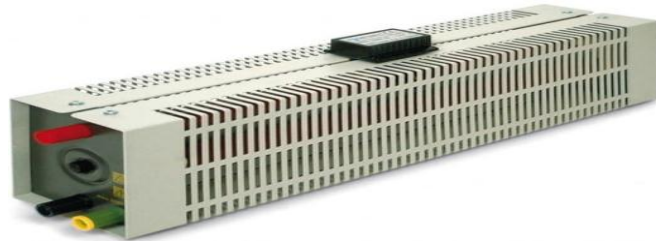


Figure (III.4) : Résistance variable de 50 ohms

2. 3 Les instruments de mesure :

- **Solar mètre :**

Un Solar mètre est un appareil de mesure du rayonnement global solaire reçu par une surface plane sous un angle solide de 2π . Le rayonnement direct est un composant essentiel du bilan d'énergie. L'unité est donc des watts/ mètre carré (W/m^2).

Données techniques du pyromètre :

Dimensions : 185*108*56 mm.

Alimentation : 9V batterie.

Range de mesure : 0-1999 W/m^2 .

Résolution : 1 W/m^2 .

Précision : +/- 5% de l'échelle.



Figure (III.5) : Solar mètre

- **Multimètres :**

C'est un appareil de mesure qui possède plusieurs fonction, on peut l'utiliser comme : Ampèremètre, Voltmètre, Ohmmètre,

Au cours de notre expérience on a utilisé un comme ampèremètre et un voltmètre

1. Ampèremètre :

Un ampèremètre est un appareil avec quoi on mesure l'intensité du courant dans un circuit. L'unité de mesure de l'intensité est l'ampère, symbole : A.

2. Voltmètre :

Un voltmètre est un appareil avec quoi on mesure la différence de potentiel électrique (tension) entre deux points. Unité de mesure est le volt, symbole : V.



Figure (III.6) : Multimètre

3. Méthodologie des tests :

Dans le but d'apporter une solution aux problématiques d'orientation et de l'inclinaison, afin d'estimer l'impact de l'orientation et d'inclinaison sur le panneau PV dans le site de bouira. Nous avons réalisé une expérience qui nous permet d'apporter une solution optimale. Ceci dit que nous avons réparti l'expérience sur 3 parties qui sont exposées ci-dessous :

3. 1. Caractéristiques électriques expérimentale du générateur utilisé

On a effectué un essai expérimental permettant de déterminer les caractéristiques courant-tension $I(V)$ et puissance-tension $P(V)$ du module photovoltaïque selon le montage proposé dans la figure (III. 2). En faisant varier la résistance de 0 à 50 ohms avec un pas de 3 ohms à chaque fois, après en mesure à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre le courant et la tension photovoltaïque pour un niveau d'éclairement donné. Donc ce sont des mesures échantillonnées qui nous ont permis de tracer les courbes $I(V)$ et $P(V)$. La figure (III.7) montre le tracé des caractéristiques puissance-tension et courant-tension du module PV pour différents ensoleillements (fort, moyenne et faible).

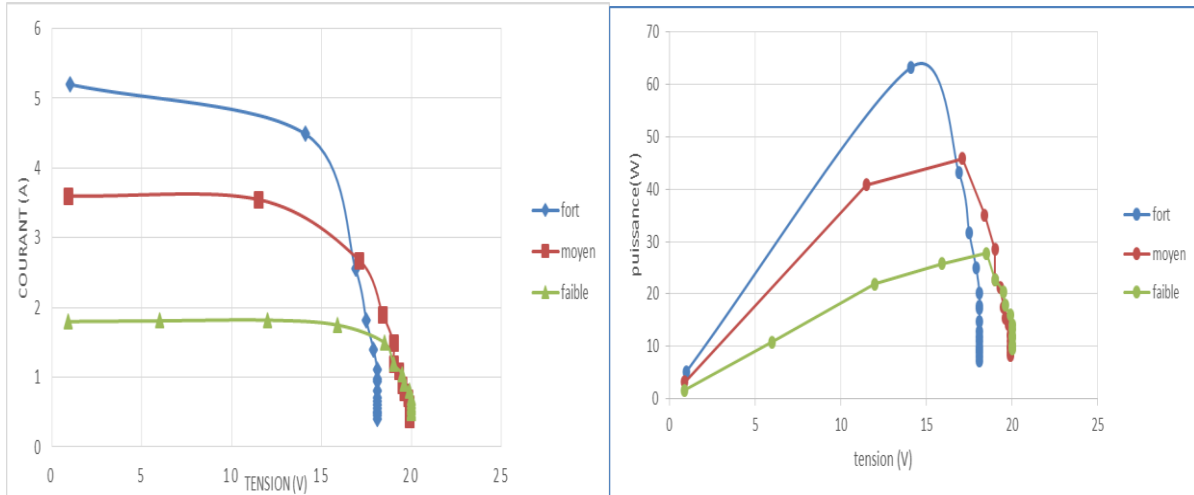


Figure (III.7) : Tracé de la caractéristique I(V) et P(V) du module photovoltaïque.

3. 2. Scénario 1 « problématique d'orientation » :

Dans cette partie de l'expérience, on cherche à définir la meilleure orientation au niveau de site de l'étude afin d'estimer l'impact de l'orientation sur rendement de panneau PV. Pour cela on change l'orientation du panneau de l'Est à l'Ouest en passant par le sud, le sud-est et le sud-ouest, Puis on prend les mesures de courant et de la tension pour les différentes orientations à des différents ensoleillement (fort, moyen, faible à 8h30 et à 15h30).

Les figures suivantes montrent la disposition de notre panneau sur le lieu de l'expérience :



Figure (III.8) : disposition du panneau PV pour différentes orientations

Les résultats obtenus sont représenté sur les figures suivantes

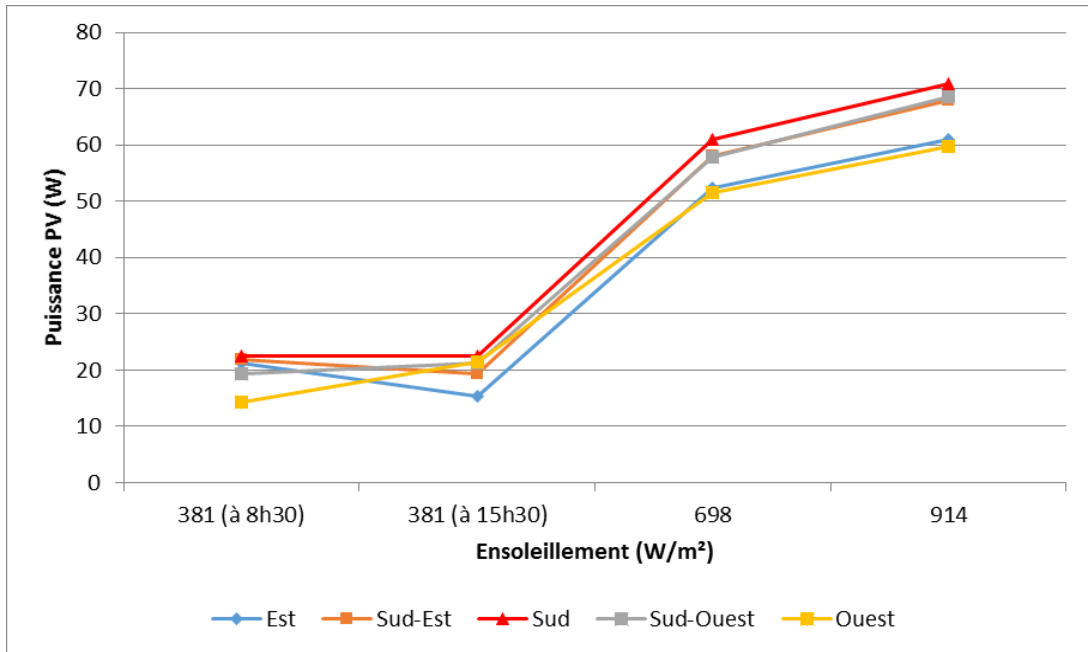


Figure (III.9) : Les courbes de puissance PV en fonction d'ensoleillement pour les différents orientations (Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest)

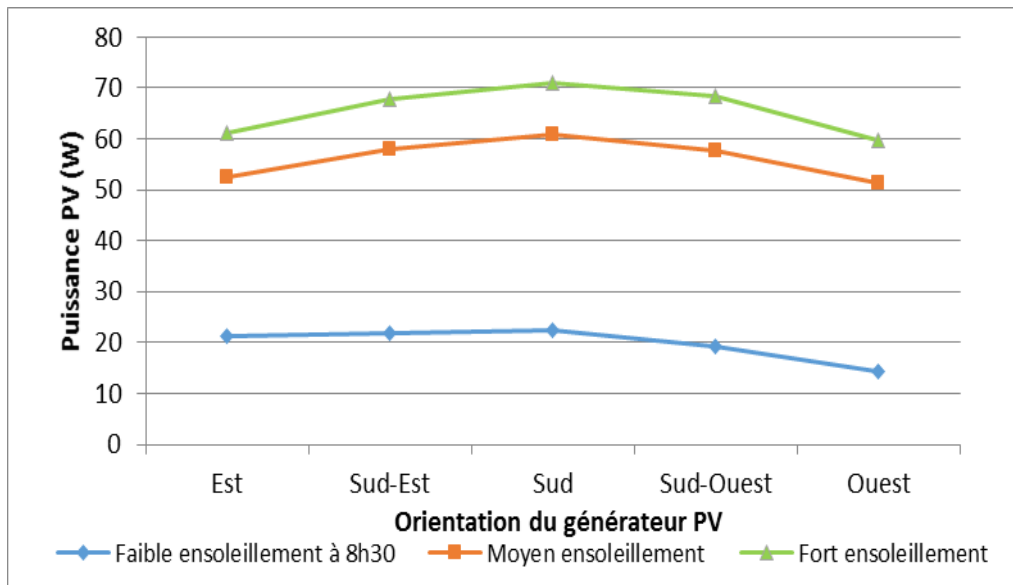


Figure (III.10) : courbes de puissance PV en fonction d'orientation pour un ensoleillement (Faible à 8h30, moyen, fort).

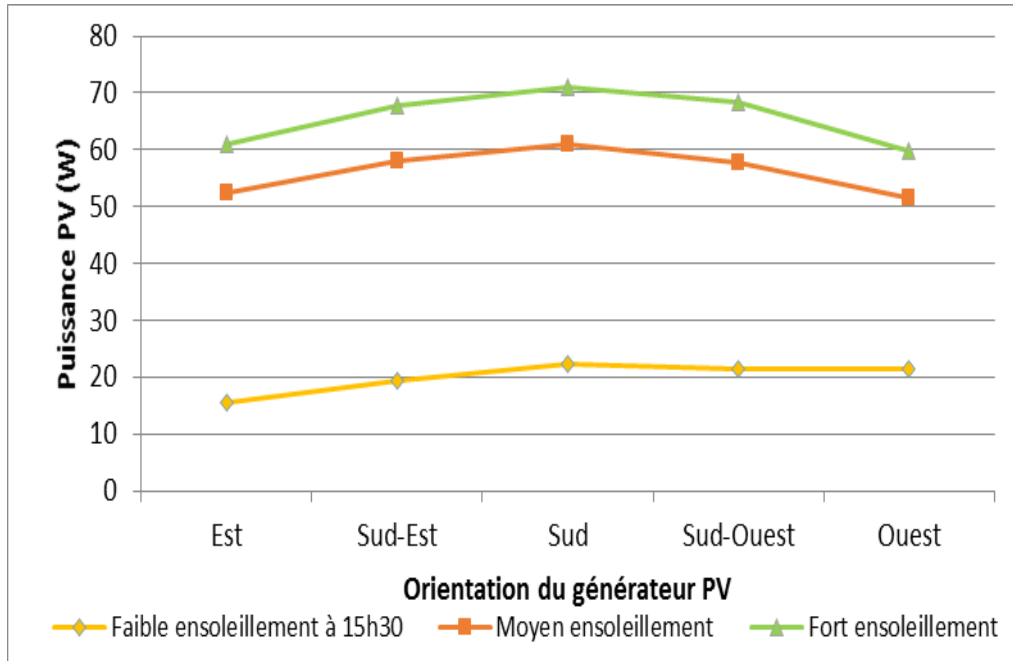


Figure (III.11) : courbes de puissance PV en fonction d'orientation pour un ensoleillement (Faible à 15h30, moyen, fort).

La figure (III .9) nous montre les différentes puissances délivrées par le panneau PV pour les différentes orientations sous un ensoleillement faible à (8h30 et 15h30) de 381W/m², moyen de 698W/m² et un fort ensoleillement de 914W/m². On constate que la puissance augmente d'une manière significative avec l'augmentation de l'ensoleillement.

Sur différentes orientations les courbes de puissances prennent la même allure avec une légère différence entre les valeurs de puissances obtenues, cela dit la plus grande puissance est obtenu on orientant le panneau vers le Sud (Pmax=70.92W), pour le Sud-Est, Sud et le Sud-Ouest les puissances sont presque identique (Pmax=68.48W), et les plus faibles puissances sont obtenu on orientant le panneau ver l'Est et l'Ouest qui sont presque identiques (Pmax= 59.54W)   l'exception du faible ensoleillement ou à 8h30 P(Est) est légèrement supérieur à P(Ouest), et à 15h30 P(Ouest) est légèrement supérieur à P(Est) c'est ce que montre clairement les figures (III .10) et (III.11).

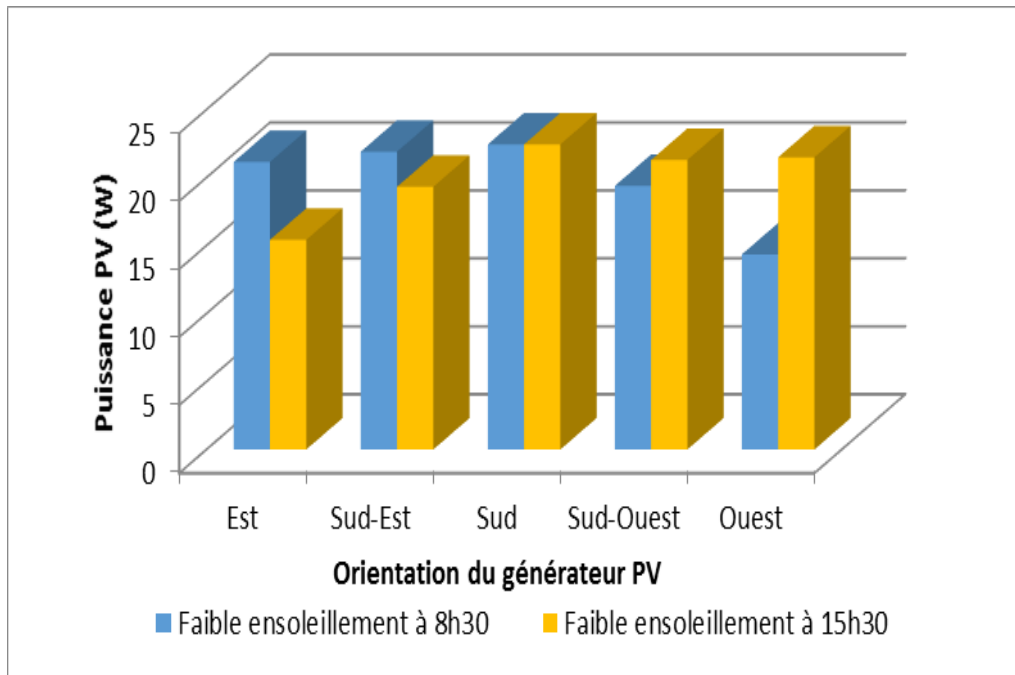


Figure (III.12) : comparaison des puissances sous faible ensoleillement (à 8h30 et 15h30) pour différentes orientations.

Les figures (III.10) et (III.11) expose plus clairement les résultats de la figure (III.12), on constate que pour le moyen et fort ensoleillement l'Est e l'Ouest ont presque la même puissance, aussi pour le Sud-est et le Sud-Ouest, on obtient toujours la plus grande puissance, par contre en faible ensoleillement ou on a presque les même puissances pour tous les orientations à l'exception de l'Est ou on obtient la plus faible puissance ($P=15.42W$) à 15h30 et l'Ouest ou on obtient la plus faible puissance ($P=14.34W$) à 8h30.Cela revient au fait que le soleil se lève de l'Est d'où on obtient une faible puissance si on oriente le panneau vers l'Ouest ensuite le contraire se produit à 15h30 quand le soleil se couche à l'Ouest d'où la nécessité de poursuite de point de puissance maximal en utilisant des « tracker », ce fait est encore mieux exposé sur la figure (III.12).

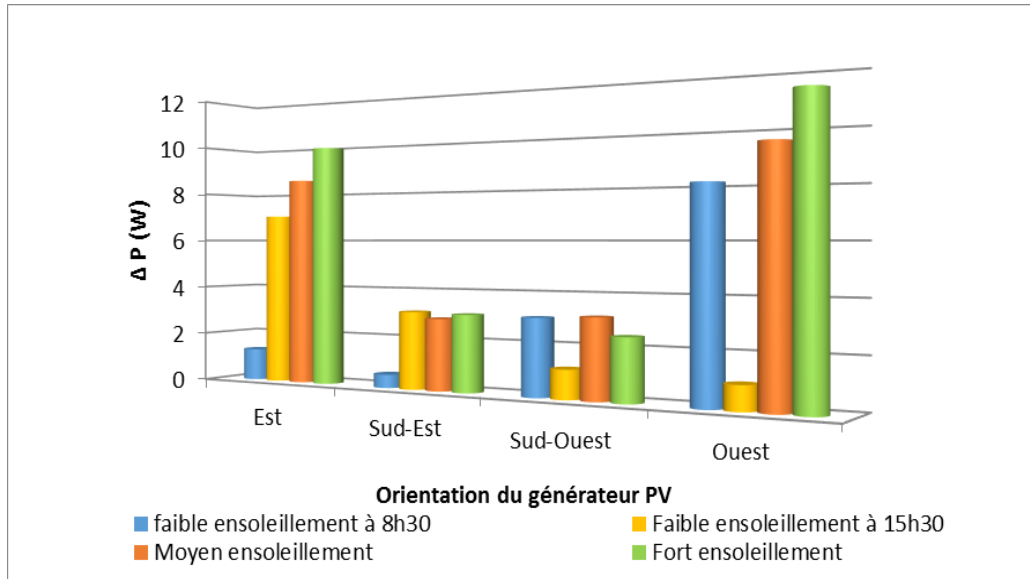


Figure (III.13) : écarts des puissances pour différentes orientation par rapport au Sud sous différents ensoleillement.

La figure (III.13) nous montre la différence des puissances obtenues en orientant vers le Sud avec celles obtenues pour les autres orientations, on constate que la différence très importante pour l'Est et l'Ouest, et elle est beaucoup moins importante pour le Sud-Est et le Sud-Ouest, ce qui nous laisse à dire que plus on converge vers le Sud plus les puissances délivré et importante.

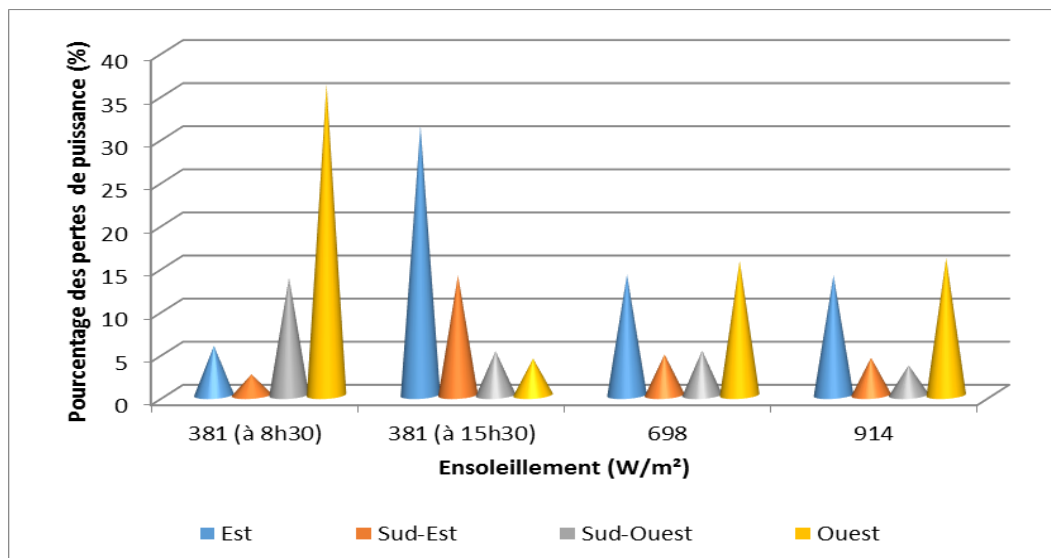


Figure (III.14) : pourcentage des pertes de puissance pour différentes orientations sous différents ensoleillement.

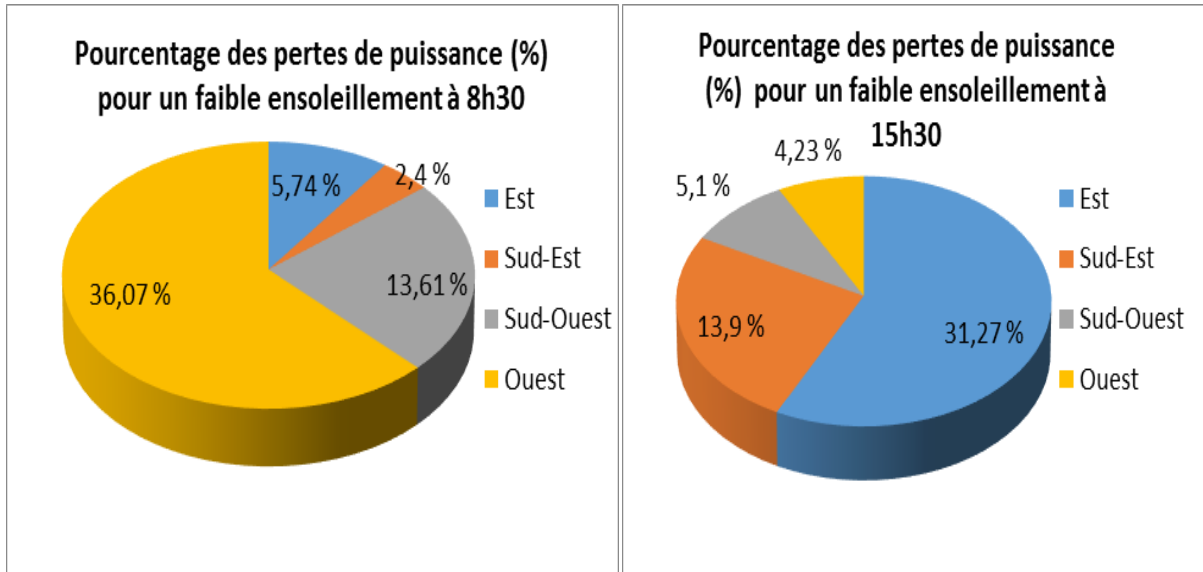


Figure (III.15) : pourcentage des pertes de puissance pour un faible ensoleillement a (8h30 et 15h30)

La figure (III.14) représente le pourcentage des pertes de puissance pour les différentes orientations, on constate que les plus faibles pertes sont ceux de Sud-Est et Sud-Ouest de 4% à 5% pour le moyen et fort ensoleillement, mais pour le faible ensoleillement à 8h30 les plus faibles pertes sont ceux de Sud-Est (2.4%) et l'Est (5.74%), et pour le faible ensoleillement à 15h30 les plus faibles pertes sont ceux de Sud-Ouest (5.1%) et l'Ouest (4.23%), c'est ce que montre clairement la figure (III.15), ce qui nous laisse à dire que c'est d'orienter le matin vers l'Est et le soir vers l'Ouest..

Pour bien déterminer l'influence de l'orientation sur la production PV on a calculé le rendement de générateur PV pour les différentes orientations.

Le calcul de rendement de panneau photovoltaïque est donner comme suite:

$$\eta = \frac{P}{E \cdot S}$$

Avec

P : la puissance PV généré par le panneau PV en watt

E : éclairement en (W /m²)

S : la surface de la cellule en (m²)

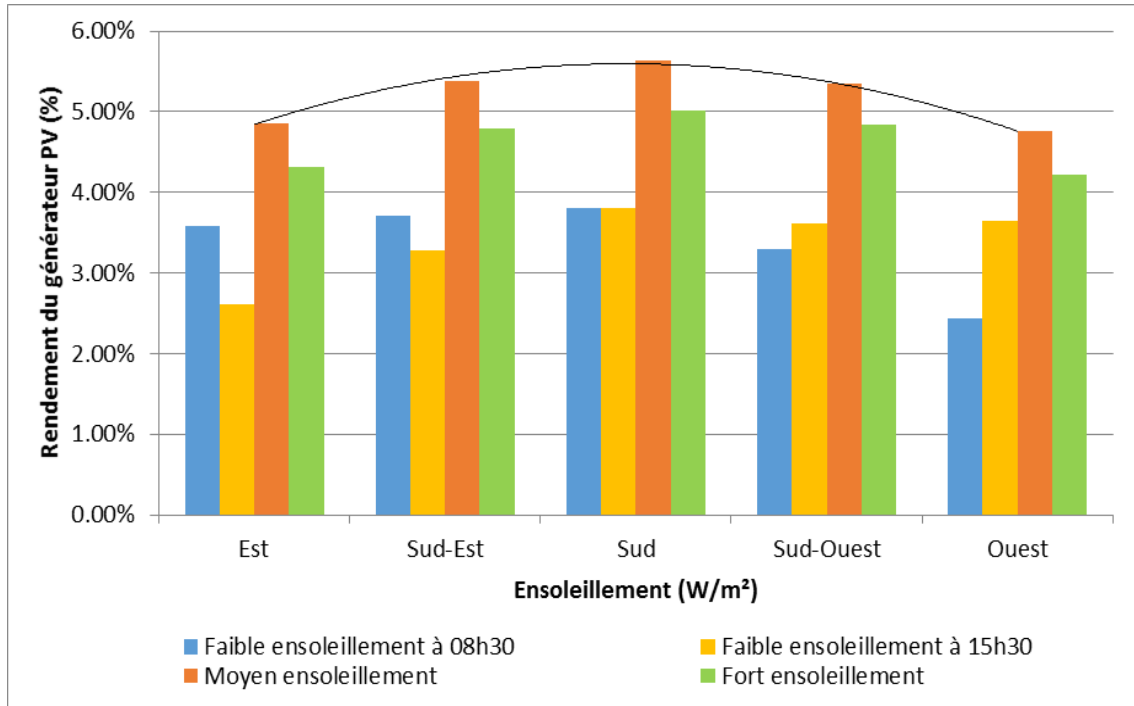
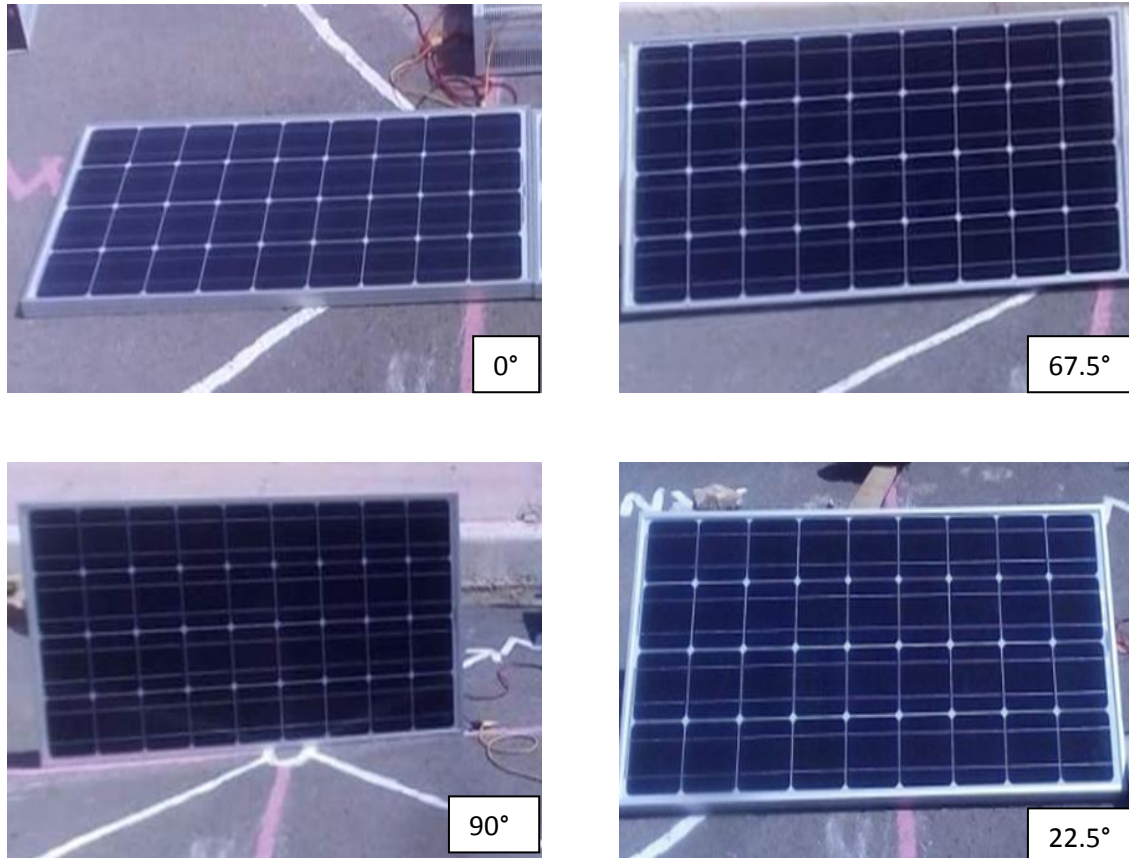


Figure (III.16) : rendement du panneau PV pour différentes orientations sous faible, moyen et fort ensoleillement.

Sur la figure (III.16) on voit que le meilleur rendement est celui du plein Sud (5.6%) pour tout ensoleillement, suivi de ceux de Sud-Est et Sud-Ouest (5.3%), et les plus mauvais rendements sont ceux de l'Est et l'Ouest (4.8%). C'est pour cela qu'un compromis d'orientation plein Sud est préférable tout le temps pour minimiser les pertes et converger à la puissance maximale.

3. 3. Scénario 2 « problématique d'inclinaison »

Dans cette partie de l'expérience, on cherche à définir le meilleure angle d'inclinaison au niveau du site de l'étude afin d'estimer l'impact de l'inclinaison sur le rendement de panneau. Et pour cela on fait varier l'angle d'inclinaison du panneau d'un pas de 22.5°, à partir de l'horizontale (0°), ce qui nous donne 5 angles en totale (0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°). Puis on prend les mesures de courant et la tension pour chaque angle d'inclinaison pour différents ensoleillement (fort, moyen, faible). Les figures suivantes montrent les dispositions de notre panneau sous différentes angles :



Figure(III.17) : Représente les angles d'inclinaison pour le panneau PV.

D'après les mesures obtenus pour le courant (I) et la tension (V) pris pour chaque angle d'inclinaison, on a calculé la puissance PV produite par le générateur PV sous différentes angles, Les résultats expérimentant sont représenté dans les figures suivantes :

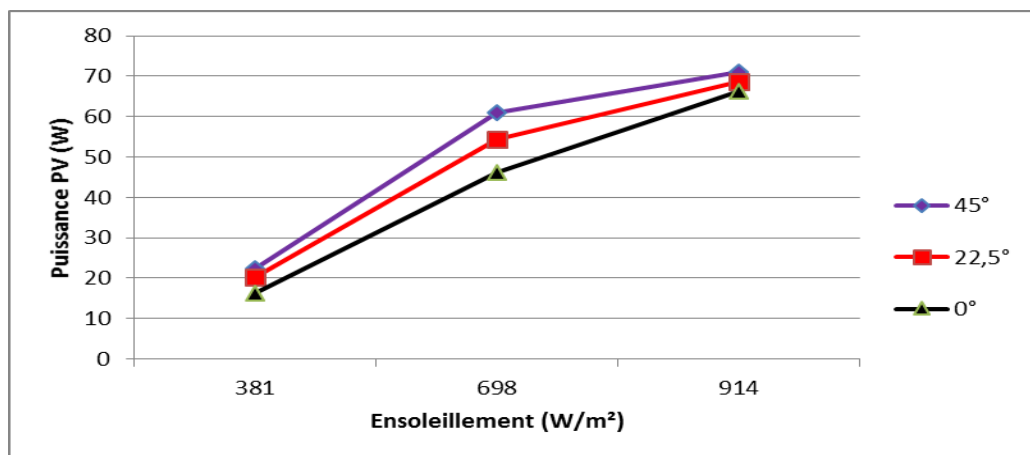


Figure (III .18) : Les courbes de puissance PV en fonction d'ensoleillement pour les angles d'inclinaison de (45° ,22 .5° et 0°).

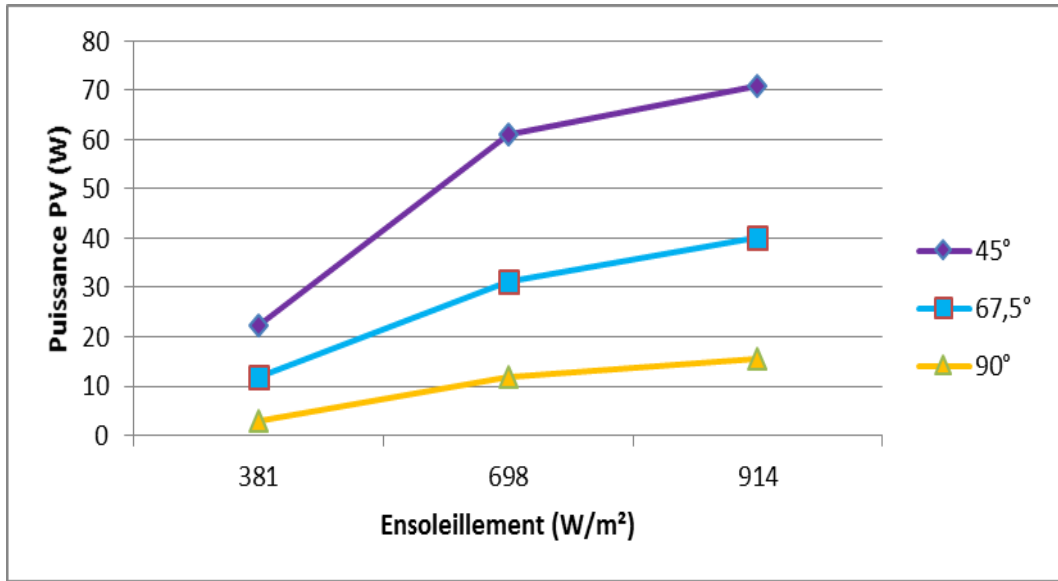


Figure (III .19): Les courbes de puissance PV en fonction d'ensoleillement les angles d'inclinaison de (45° ,67.5° et 90°).

Les figures (III.18) et (III.19) représentent l'évolution de la puissance PV en fonction d'éclairement avec angles d'inclinaison inférieur et supérieur à 45° par rapport à l'horizontale. Sur les deux figures, on observe bien une croissance de la puissance en fonction de l'ensoleillement, sur la figure (III.18) on remarque que la puissance PV générée par le panneau PV avec l'angle de (0°et 22.5°) est très proche de celle générée à un angle de 45°, soit un écart de 2 à 3 watt, par contre sur la figure (III.19) on constat que pour les angles de (67.5° et 90°) la puissance générée par le panneau est très faible par rapport à celle générée à un angle de 45°, soit un écart de 30 watt.

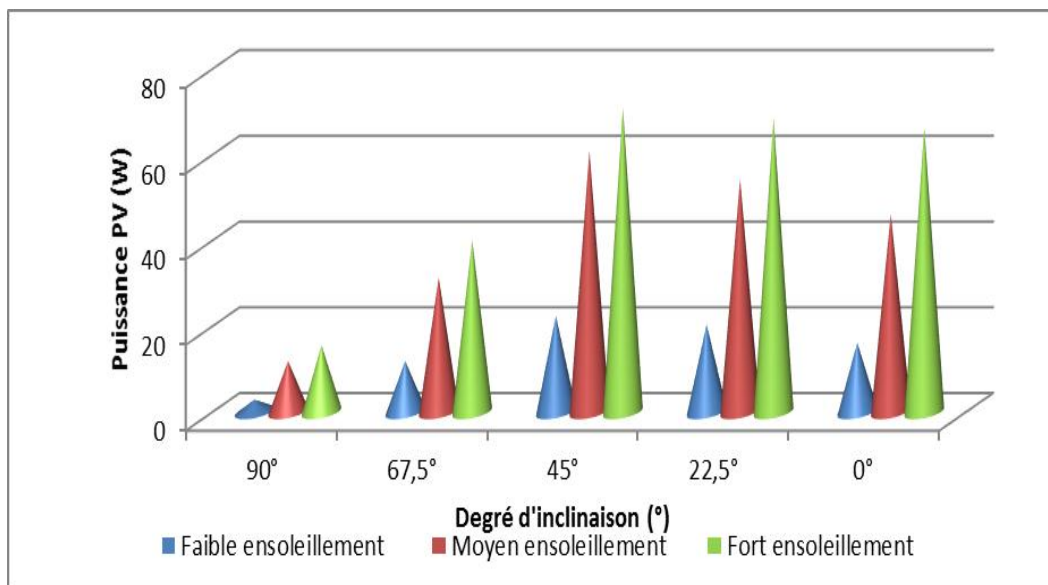


Figure (III.20) : la puissance PV (W) générée pour différents degré d'inclinaison.

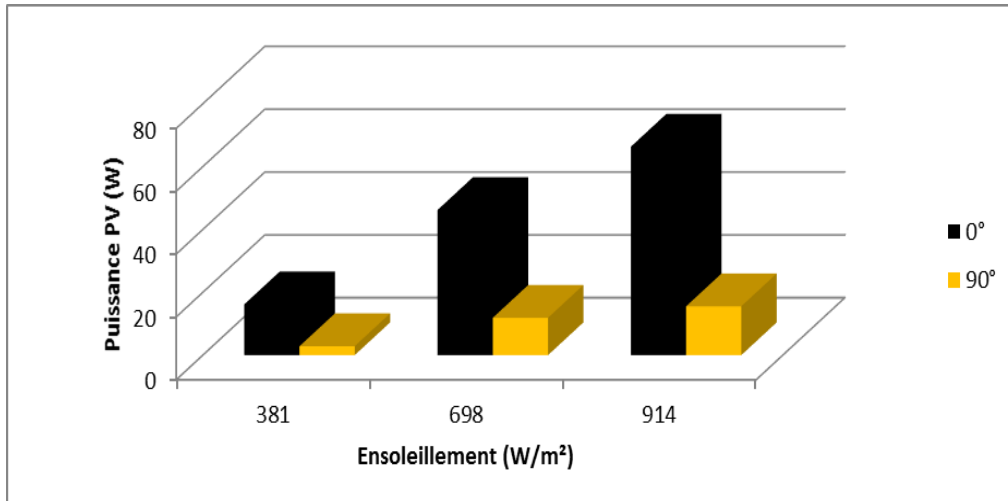


Figure (III.21) : puissance PV générée pour les angles 0° et 90°

Sur les deux figures (III.20) et (III.21), on peut comparer les puissances obtenues pour les différents angles de l'étude pour différents ensoleillements, cela montre clairement le point exposé sur les figures (III.18) et (III.19). On constate que les puissances obtenues avec l'angle 45° sont les plus importantes dans différents ensoleillements, on la prendra comme référence pour le reste de l'étude. Sur la figure (III.20) on constate que pour les angles inférieurs à 45° (0° et 22.5°) la puissance délivrée par le panneau diminue légèrement par contre la puissance délivrée par le panneau diminue agressivement pour les angles supérieurs à 45° (67.5° et 90°). Et sur la figure (III.21) une comparaison de la puissance délivrée par panneau PV sur un plan horizontal (0°) et sur un plan vertical (90°), le graphique nous montre clairement l'écart des puissances entre les deux angles qui est très important.

La figure (III.22) ci-dessous montre les valeurs des écarts des puissances délivrées à différents angles comparées à celle délivrée pour un angle d'inclinaison de 45° :

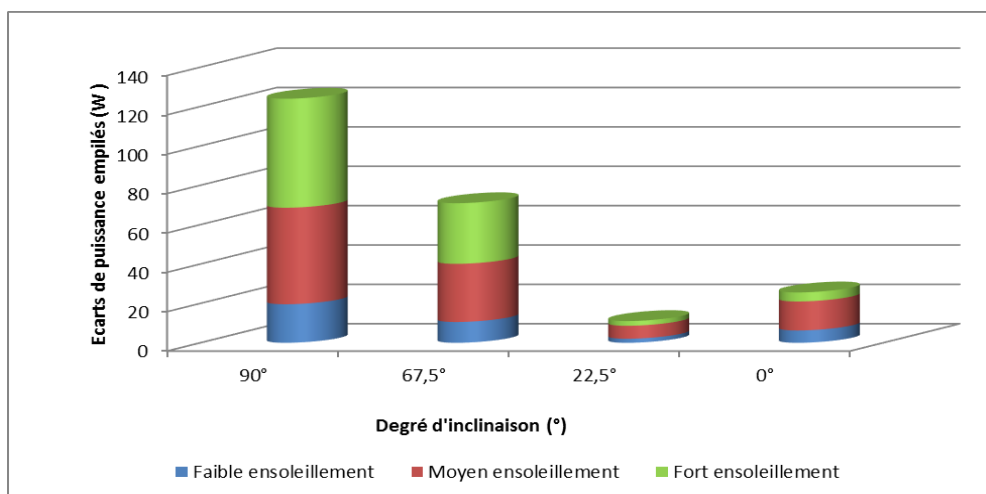


Figure (III.22) : écarts de puissance empilés en fonction de degré d'inclinaison

Les résultats obtenus sont les différences entre les puissances délivrées pour un angle de 45° sous différents ensoleillement avec celles des autres angles (0°, 22.5°, 67.5°, 90°), comme on la déjà mentionner la différence et très importante pour les angles (67.5 et 90°), par contre elle est très petite pour l'angle (0°), et presque négligeable pour l'angle (22.5°).

C'est ce qui traduit aussi la figure (III.23), par le calcul en pourcentage des pertes de puissance de déférentes angles par rapport à la puissance délivrée pour un angle de 45°.

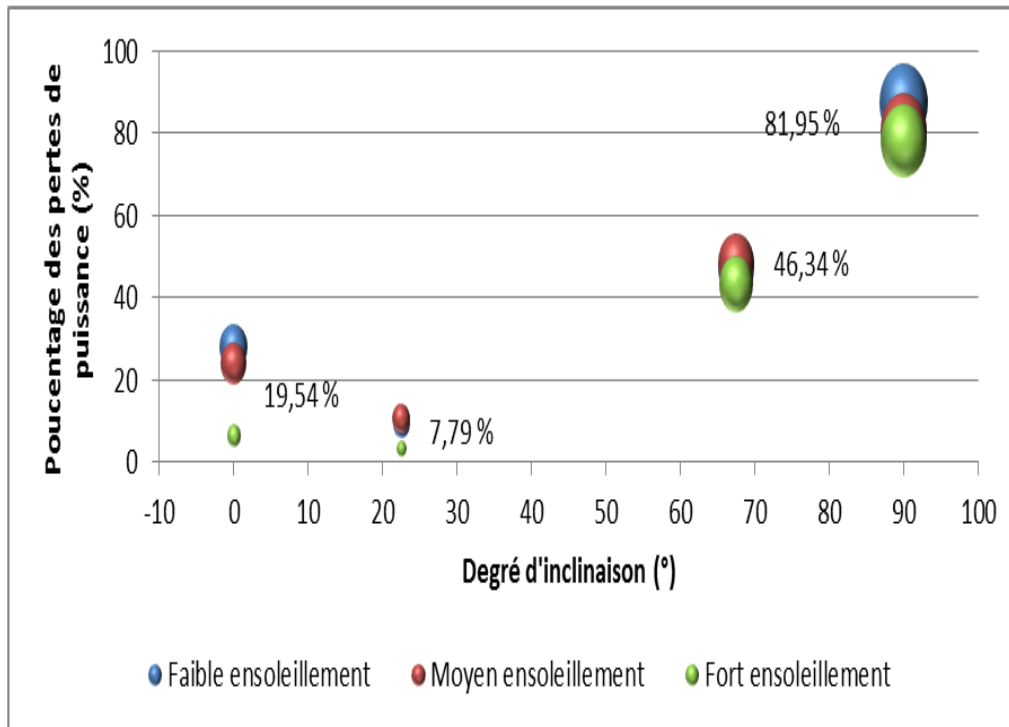


Figure (III.23) : pourcentages des pertes de puissance en fonction de degré d'inclinaison

Sur cette figure le plus petit pourcentage de perte de puissance est celui de l'angle (22.5°) qui est de 7.79%, suivi de celui de l'angle de (0°) qui est de 19.54%, et les pertes les plus importantes celles des angles (67.5° et 90°) qui sont respectivement de (46.34% et 81.95%).

Les figures (III.24) et (III.25) représentent le rendement du panneau PV en fonction des différentes angles d'inclinaison et différents ensoleillement:

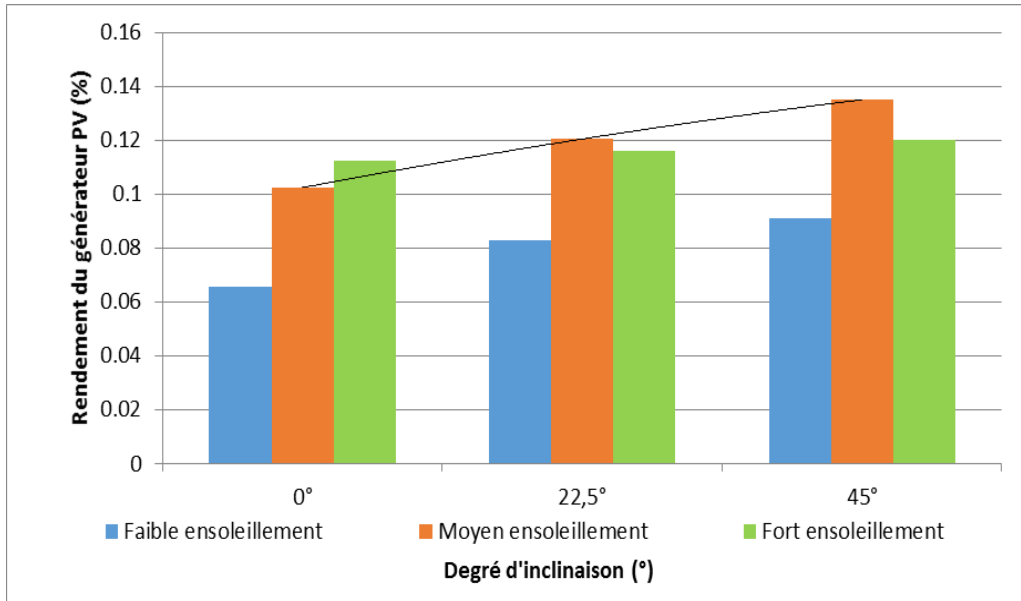


Figure (III.24) : Rendement de générateur PV en fonction de degré d'inclinaison pour les angles (45°, 22.5° et 0°).

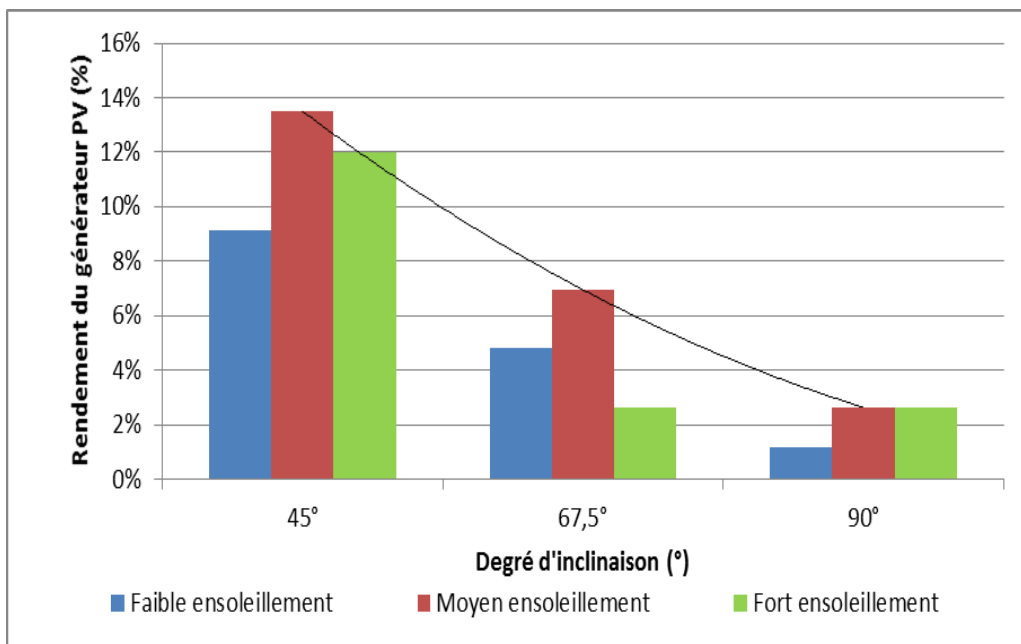


Figure (III.25) : Rendement de générateur PV en fonction de degré d'inclinaison pour les angles (45°, 67.5° et 90°).

Comme le montre la figure (III.24), le plus important rendement obtenu est de 13.8% pour un angle de (45°), puis celui de l'angle de (22.5°) qui est de 12%, puis celui de l'angle (0°) qui est de 10%. On constate sur la figure (III.25), un rendement de 7% pour un angle de (67.5°), et un rendement de 3% pour un angle de (90°), qui le plus mauvais rendement.

On comparant avec le rendement de l'angle de (45°) qui est un très bon rendement, on constate que les rendements pour les angles inférieurs à (45°) sont acceptables et ne présentent pas beaucoup de différence, par contre pour ceux des angles supérieures à (45°) la différence est beaucoup trop importante voir inacceptable.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé notre travail expérimentale, d'abord nous avons défini le site de bouira où c'est déroulé l'expérience, puis nous avons exposé les différents matériels utilisés pour la réaliser et défini les différentes caractéristiques électriques du panneau PV utilisé ainsi la méthodologie suivie dans l'expérience, et à la fin nous avons les résultats trouvés et leur interprétation. En conclusion pour résumer qu'un compromis d'inclinaison sur 45° et orientation plein sud est la meilleure solution pour un meilleur rendement. On peut tolérer une erreur d'orientation sur la plage « Sud-est jusqu'au Sud-ouest » et sur l'inclinaison de « $22,5^\circ$ jusqu'à 45° » selon les conditions géographiques du site d'exploitation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Idéalement, pour produire un maximum de ses capacités, un panneau photovoltaïque doit avoir le plan du capteur perpendiculaire aux rayons solaires. Mais, un endroit bien étudié, car le moindre erreur, fait chuter la production des cellules. Une inclinaison et orientation optimale, sont tout aussi importantes. Pas toujours facile à mettre en œuvre sur une maison mal orientée ou mal inclinée.

Les travaux présentés dans ce mémoire ont montrés plus en détails les bonnes décisions à prendre pour installer un dispositif photovoltaïque efficace et comment contourner la problématique d'orientation et d'inclinaison pour optimisation la production d'énergie électrique photovoltaïque.

Dans la partie initiale, nous avons donné une description générale sur l'énergie solaire photovoltaïque, et nous avons détaillé le principe de la cellule et les différents mécanismes de conversion.

Le deuxième chapitre présente une description générale sur le système PV et ces différents composants. Ensuite nous avons cerné globalement les différents défauts les plus fréquentes qui affectent négativement le rendement d'un système solaire, et nous avons parlé sur le problème principal dus à l'orientation et l'inclinaison des générateurs photovoltaïque.

La partie finale, est consacrée pour une étude pratique des problèmes liés à la mauvaise orientation et inclinaison de générateur PV, ainsi que nous avons comparé entre les différents résultats pratiques et interpréter l'influence d'une erreur d'inclinaison et d'orientation sur la production du panneau PV.

Nos résultats nous ont appris que :

- ✓ Une influence significative du décalage par rapport au Sud des modules monocristallins et une orientation autre que le plein Sud provoquera des pertes plus ou moins importantes notamment en orientant Est ou Ouest.
- ✓ Une petite perte de rendement si vous n'êtes pas exact dans l'axe plein sud, mais cette perte peut rester très tolérable. Du coup, l'orientation des capteurs n'est pas si critique. L'orientation optimale d'un panneau solaire est bien le sud, là où le soleil sera à son zénith (la position la plus haute dans le ciel) au milieu de la journée.
- ✓ Si le panneau est bien orienté au sud, une inclinaison un peu plus ou un peu moins accentuée entraînera une perte importante, mais là encore, tolérable pour une fourchette comprise entre $22,5^\circ$ et 45° .

- ✓ La saison, avec une course différente du soleil influencera aussi l'inclinaison du capteur. Les 45° conseillés sont un bon compromis entre tous les facteurs qui influencent l'installation.
- ✓ le choix optimal d'orientation et de l'angle d'inclinaison est plus important afin de maximiser la captation d'ensoleillement.
- ✓ Un tracker solaire sera très primordiale pour la poursuite de point de puissance maximale le long de la journée.

Comme perspective a ce travail on souhaite voir une étude détailler sur l'influence d'autre paramètre tel que la dégradation d'ivea, délamination.....

Bibliographie

- [1] web EDF.com
- [2] Akassewa Tchapo Singo, «Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome », thèse doctorat, Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I, 2010.
- [3] Salim Djriou, « Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone », thèse magistère, université Ferhat Abbas-Sétif, 2011.
- [4] Sylvain et Brigand, « Installation solaire photovoltaïque », Février 2011.
- [5] Intelligent énergie Europe .energie bits.com
- [6] J'apprends l'énergie, GDF SUEZ 2013, (énergie renouvelable).
- [7] Abdelkader Mekemeche, « Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes », Thèse de Doctorat, L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017.
- [8] Soltane Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse doctorat, université de Constantine.
- [9] ASAL. (l'Atlas Solaire de l'Algérie par l'Agence Spatiale Algérienne). Energie nouvelle et renouvelable)
- [10] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargala, 2012
- [11] Ressources pour les STIED , Septembre- Octobre 2 0 11
- [12] Dr. Sofia Belaid Lalouni, « Cours Energie Solaire Photovoltaïque », Université A.Mira de Bejaia, 2015.
- [13] Narimen Debili, « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, université Constantine 1, 2015

Bibliographie

- [14] Assia Zardoudi, Rachid Chenni, « Etude de l'influence des différents paramètres sur un module photovoltaïque », science et technologie A_N°41, juin 2015,49-54, université Constantine 1, 2015.
- [15] Djamil Boukhers , « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage », Université Mentouri de Constantine, thèse magister, 2007.
- [16] Kamelia Hellali, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », université Tizi-Ouzou, mémoire de magister , 2012.
- [17] Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011.
- [18] Souheyla Merad née Mamoun, « Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté : Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi (Tlemcen) », master LMD, L'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2010.
- [19] Alain Ricaud, « Modules et systèmes photovoltaïques », Sept 2008, Président de Screen Solar, Professeur Associé à l'Université de Savoie. [Systèmes PV Alain Ricaud_Sept-08 Compresse.doc](#)
- [20] Jean-paul blugeon-montage photovoltaïque à bricoler soi-même-juin 2010.
- [21] Long BUN, « Détection et Localisation de Défauts pour un Système PV », thèse de doctorat, L'université de Grenoble, 2011.
- [22] Reynaud Jean-François, « Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïques », thèse doctorat, L'université de Toulouse, 2011.
- [23] Wail Rezgui, « Système intégré pour la supervision et le diagnostic des défauts dans les systèmes de production d'énergies : les installations photovoltaïques », thèse doctorat, université Hadj Lakhdar –Batna.
- [24] Abdesslam Belaout, « Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension », thèse magister, université – Setif-1- U-S-1 (Algérie) ,2014.
- [25] RIAD Mkhénfer, « Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques », thèse de doctorat, université Ferhat Abbas - Setif 1 UFAS (Algérie), 2015.

Bibliographie

- [26] Lyes Lazari - Nasser-Eddine Mebarki , « Étude d'un système photovoltaïque », mémoire de fin de cycle, Université A.Mira de Bejaïa, 2014.
- [27] Ali Dilmi et Walid Boussag, « Évaluation des pertes dues à l'orientation et à l'inclinaison des capteurs solaires photovoltaïques », mémoire de master académique, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2017.
- [28] Edem Kokouvi N'tsoukpoe, « Effet des angles d'inclinaison et d'orientation des capteurs solaires sur leur production: cas des capitales des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre », article scientifique, Laboratoire Énergie Solaire et Économie d'Énergie (LESEE), Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso, Avril 2017.
- [29] Mohammed Belhadj, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome », mémoire de magister, C.U. Bechar, 2008.
- [30] Francis Domain, Hervé Boileau, « cours Systèmes PV connectés au réseau », Université Savoie Mont-Blanc, France .
- [31] Jean-Paulblugeon, « montage photovoltaïque à bricoler soi-même » ,juin 2010.

Annexe

angle	E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure
0°	381	2,11	7,66	16,16	25	08:50
0°	698	3,5	13,2	46,2	26	11:20
0°	914	4,35	15,25	66,33	26	13:02
22.5°	381	2,38	8,56	20,37	26	09:00
22.5°	698	3,9	13,93	54,33	25	10:47
22.5°	914	4,6	14,9	68,54	26	12:51
45°	381	2,51	8,94	22,44	22	08:50
45°	698	4,13	14,75	60,92	23	10:50
45°	914	4,5	15,76	70,92	31	13:10
67.5°	381	1,81	6,56	11,87	26	09:05
67.5°	698	2,97	10,56	31,36	26	11:13
67.5°	914	3,46	11,6	40,13	26	13:03
90°	381	0,89	3,2	2,85	25	08:30
90°	698	1,83	6,5	11,89	26	11:08
90°	914	2	7,77	15,54	26	12:40

Orientation

E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure	orientation
381	2,35	9	21,15	24	08:30	Est
381	2,2	7,01	15,422	27	15:30	Est
698	3,91	13,4	52,394	25	11:08	Est
914	4,07	15	61,05	27	12:38	Est

E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure	orientation
381	2,2	6,52	14,344	25	08:30	Ouest
381	2,47	8,7	21,489	27	15:30	Ouest
698	3,87	13,29	51,4323	26	10:53	Ouest
914	3,95	15,1	59,645	28	13:53	Ouest

E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure	orientation
381	2,5	8,76	21,9	27	08:30	Sud-Est
381	2,3	8,4	19,32	29	15:30	Sud-Est
698	4	14,51	58,04	28	11:54	Sud-Est
914	4,44	15,28	67,8432	29	13:20	Sud-Est

Annexe

E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure	orientation
381	2,42	8,01	19,3842	28	08:30	Sud-Ouest
381	2,52	8,45	21,294	28	15:30	Sud-Ouest
698	3,93	14,7	57,771	28	10:51	Sud-Ouest
914	4,54	15,08	68,4632	31	13:53	Sud-Ouest

E (w/m ²)	I (A)	V (v)	P (Watt)	T (c°)	heure	orientation
381	2,51	8,94	22,44	29	08:50	Sud
698	4,13	14,75	60,9175	29	10:57	Sud
914	4,5	15,76	70,92	31	13:41	Sud