



République Algérienne démocratique et
populaire



Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira
Faculté Des Sciences et Sciences Appliquées

Mémoire

On vue de l'obtention du diplôme

Master en Électromécanique

Thème :

Influence d'ombrage sur le comportement d'un
générateur photovoltaïque

Présenté et soutenue par :

- ❖ MEKIDECHE Yacine
- ❖ AKKAL Mahmoud

Sous la direction de :

Dr. MOHAMMEDI Ahmed (MCA)

Devant les jurys :

- Mr I.GRICHE (MAA).....Président
- Mr Y.TOUAFEK (MAA).....Examineur
- Mr M.KHERCHI(MAA)..... Examineur

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciements

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu clément et miséricordieux de
Nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste
travail.*

*Nous tenons à remercier tout particulièrement et à témoigner nos
reconnaissances à monsieur : Mohammedi Ahmed, d'avoir encadré ce
mémoire, pour tout le temps qu'il nous a consacré, et surtout pour son
expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elle nous a aidé à bien
achever ce travail dans des meilleurs conditions.*

*Mais aussi un grand remerciement à tous nos enseignants à qui nous
devons un grand respect.*

*On voudrait aussi remercier le chef de département génie électrique
monsieur H. Houacine, pour avoir mis à notre disposition tous les
moyens nécessaires pour le bon déroulement de ces travaux,*

*Pour terminer nous tenons à adresser un remerciement à nos très
chères familles et aussi à d'autres très chères personnes qui ont été toujours
présents pour nous encourager et nous soutenir.*

M. AKKAL / Y. MEKIDECHE

Dédicace

« La logique vous conduira d'un point A à un point B, l'imagination et l'audace vous conduiront où vous le désirez » Albert Einstein.

Je dédie ce modeste travail :

À :

*Ma mère, mon père, sans eux je n'aurais pas abouti à
Ce stade d'étude, que dieu Puisse m'aider à les honorer,
Les servir et les combler.*

À ma famille et mes proches

À mes deux frères Mohand Arezki et Saadi

*À mes sœurs Chahrazed son mari Hamid et ses enfants Ilina, Idir, Faiza et son
mari Hakim*

À mon binôme Yacine

À tous mes amis

À mes collègues de l'université surtout

À ma promo d'électromécanique 2018

À tous mes enseignants en particulier : Mr A. Mohammedi.

AKKAL MAHMOUD

Dédicace

« *Le succès n'est pas finale et L'échec n'est pas fatale, c'est le courage de continuer qui compte.* » Winston Churchill

Je dédie ce modeste travail :

À :

*Ma mère, mon père, sans eux je n'aurais pas abouti à
Ce stade d'étude, que dieu Puisse m'aider à les honorer,
Les servir et les combler.*

À mes sœurs IMENE, HOUDA ET NAWEL

À toute ma famille et mes proches

À mon binôme A. Mahmoud

À tous mes amis

À mes collègues de l'université surtout

À ma promo d'électromécanique 2018

À tous mes enseignants en particulier : Mr A. Mohammedi.

MEKIDECHE YACINE



Table des matières



Table des matières

LISTE DES FIGURES	i
LISTE DES TABLEAUX	ii
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

Introduction	3
I.1 L'énergie renouvelable	3
I.2. L'énergie renouvelable en Algérie	6
I.3. Le solaire photovoltaïque	7
I.3.1. Rayonnement solaire	7
I.3.2. Dualité de la lumière	8
I.3.3. La structure électronique des atomes	9
I.4. Historique	10
I.5. Effet photovoltaïque	11
I.6. Les différents types des cellules photovoltaïques	12
I.6.1 La première génération	12
I.6.2 La deuxième génération	13
I.6.3 La troisième génération	14
I.7. Caractéristiques électriques d'une cellule solaire	15
I.8. Influence d'éclairement et température	16
I.9. Association de cellules (panneaux) solaires.....	17
I.9.1. Association série	17
I.9.2. Association parallèle	18
I.9.3. Association mixte (En série et en parallèle) des générateurs photovoltaïques.....	18
I.10. Différents configurations photovoltaïques	19
I.10.1. Systèmes isolé ou autonomes	19
I.10.2. Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau	19
I.11. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque.....	20
I.11.1 Avantages.....	20
I.11.2 Inconvénients.....	20
Conclusion	21

Chapitre II : Effets d'ombrage et les défauts dans système photovoltaïque

Introduction	22
II.1 L'ombrage	22
II.2 Comportement des cellules solaires	23
II.2.1 Comportement en mode direct	23
II.2.2 Comportement en mode inverse.....	24
II.3 La diode anti-retour/ diode By-pass	25
II.3.1 Les diodes By-pass	26
II.3.2 Les diodes Anti-retours	27
II.4 Défauts dans les systèmes photovoltaïques	27
II.4.1 Défauts dans les panneaux solaires	27
II.4.1.1 La fissuration.....	27
II.4.1.2 Jaunissement et brunissement.....	28
II.4.1.3 La délamination.....	29
II.4.1.4 Trainée d'escargot.....	29
II.4.2 Défauts dans la boîte de jonction	30
II.4.3 Défauts dans le système de câblage	31
II.4.4 Défauts de l'onduleur	31
II.4.5 Défauts dans les systèmes d'acquisitions des données	32
II.5 Le phénomène MISMATCH	33
II.6 Le phénomène de HOT-SPOT (point chaud)	33
II.6 .1 Détection des points-chauds	34
II.7 Le risque d'incendie	35
II.8. détection des défauts (la thermographie solaire)	36
Conclusion	37

Chapitre III : Etude expérimentale de l'effet d'ombrage sur un générateur photovoltaïque

Introduction	38
III.1. Situation géographique de la région de Bouira	38
III.2. Système proposé :	39
III. 2. 1. Les générateurs photovoltaïques	39
III. 2. 2. La charge	40
III. 2. 3. instruments de mesures.....	41
III. 3. Partie expérimentale :	43
III. 3. 1. Configuration «A» Ombrage total	44
III. 3. 2. Configuration «B» ombrage partiel.....	47
III. 3. 3. Configuration «C» ombrage aléatoire :	54
Conclusion	60
CONCLUSION GENERAL.....	61

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

Figure(I.1): les différentes sources d'énergie renouvelable	3
Figure (I.2) : Une centrale hydraulique.....	4
Figure (I.3) : Centrale d'énergie de la biomasse.....	4
Figure (I.4) : Eolienne.....	5
Figure (I.5) : Site géothermique.....	5
Figure (I.6) : centrale solaire thermique.....	6
Figure (I.7): Type des rayonnements solaires.....	8
Figure (I.8) : Rayonnement solaire sur un plan horizontal incliné.....	8
Figure (I.9). Structure électronique d'un atome.....	9
Figure(I.10) : Notion de paires électrons-trou.....	10
Figure (I.11) : Effet photovoltaïque.....	12
Figure (I.12) : Cellules de première génération.....	13
Figure (I.13) : Cellules de deuxième génération.....	14
Figure (I.14) : Caractéristique courant-tension de la cellule	15
Figure (I.15) : Caractéristique puissance-tension de la cellule.....	16
Figure (I.16) : Influence de l'éclairement sur la caractéristique I(V) de la cellule.....	16
Figure (I.17) : Influence de la température sur la caractéristique I(V) de la cellule.....	17
Figure (I.18) : Association en série de ns cellules.....	17
Figure (I.19) : Association en parallèle de np cellules.....	18
Figure (I.20) : Association mixte des cellules.....	18
Figure (I.21) : Caractéristique obtenue en association mixte des cellules.....	19
Figure (II.1): Les configurations d'ombrage.....	23
Figure (II.2): Principe de la connexion série des cellules PV.....	24
Figure (II.3): Principe de la connexion série des cellules PV en présence d'ombrage.....	25
Figure (II.4): Protection des systèmes photovoltaïques.....	25
Figure (II.5): panneau avec 2 diodes by-pass (le courant circule dans les câbles verts).....	26

Figure (II.6): Défaut de fissuration d'un panneau PV.....	28
Figure (II.7): Jaunissement et brunissement des cellules	28
Figure (II.8) : Défaut de la délamination	29
Figure (II.9): Défaut de Snail trail	30
Figure (II.10) : Boite de connexion	30
Figure(II.11) : Des systèmes de supervision utilisée dans les installations PV.....	32
Figure (II.12) : Le phénomène de HOT-SPOT.....	34
Figure (II.13): détection des hots spots par la camera thermique.....	35
Figure (II.14) : Pompiers engagés dans l'extinction d'un incendie sur le toit recouvert de panneaux photovoltaïques d'une ferme porcine dans la province de Forli (Italie).....	36
Figure (III.1) : La position géographique de la région de Bouira.....	38
Figure (III.2) : Schéma représentatif de la méthode voltampère-métrique.....	39
Figure (III.3) : Générateur PV Suntech utilisé	40
Figure (III.4) : Charge résistive variable.....	41
Figure (III.5) : Voltmètre et Ampèremètre utiliser lors de l'expérience.....	41
Figure (III.6): Pyranomètre 4890.20.....	42
Figure (III.7a) : Caractéristiques électriques expérimentales I(V)	43
Figure (III.7b) : Caractéristiques électriques expérimentales P(V) ...	43
Figure(III.8) : (a) cas (3) de la configuration « A », (b) cas (2) de la configuration « A ».....	44
Figure (III.9) : Evolution de la puissance PV en fonction de l'ensoleillement pour différent taux d'ombrage.....	45
Figure (III.10): Evolution de la puissance PV en fonction de taux d'ombrage total.....	45
Figure(III.11): Perte de puissance dans le cas d'ombrage total.....	46
Figure (III.12): Evolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.....	46
Figure (III.13): Evolution de rendement du générateur PV dans le cas d'ombrage total.....	47
Figure(III.14) : (a) cas (b) de la configuration « B », (b) cas (c) de la configuration « B ».....	48
Figure (III.15): Evolution de la puissance en fonction de l'ensoleillement.....	49
Figure (III.16): Evolution de la puissance PV en fonction de taux d'ombrage partiel.....	49
Figure (III.17): Perte de puissance dans le cas d'ombrage partiel.....	50
Figure (III.18): Evolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.....	50
Figure (III.19): Evolution de rendement de générateur PV dans le cas d'ombrage partiel.....	51
Figure (III.20): Ecart de puissance entre ombrage total et partiel.....	52
Figure (III.21): Puissance débitée entre l'ombrage total et partiel.....	52
Figure (III.22): Variation du rendement à faible ensoleillement entre ombrage total et partiel.....	53

Figure (III.23): Pertes de puissance à faible ensoleillement pour ombrage total.....	53
Figure (III.24): Pertes de puissance à faible ensoleillement pour ombrage partiel.....	53
Figure (III.25): Pourcentage des pertes à faible ensoleillement entre ombrage partiel et total.....	54
Figure (III.26) : Ombrage par salissure.....	55
Figure (III.27) : Ombrage par feuilles d'arbre.....	55
Figure (III.28): Evolution de la puissance dans le cas de présence d'ombrage aléatoire.....	56
Figure (III.29) : Ecart de puissance selon le niveau d'ensoleillement.....	56
Figure (III.30): Rendement du générateur PV.....	57
Figure (III.31): Rendement de GPV pour les différents états.....	57
Figure (III.32): Pourcentage de la puissance débitée en présence d'ombrage aléatoire.....	58
Figure (III.33): Rendement de GPV en présence d'ombrage (total / aléatoire.....	58
Figure (III.34): Rendement de GPV en présence d'ombrage (partiel / aléatoire).....	59

Liste des Tableaux

Tableau(III.1) : Caractéristiques électriques du générateur photovoltaïque	40
Tableau(III.2) : Configuration (A).....	44
Tableau(III.3) : Configuration (B).....	48



Introduction générale



Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est indispensable à l'espèce humaine. Sans énergie, pas de chaleur ni de lumière. Pas de transports ni de production. En effet, La consommation d'énergie dans le monde a explosé depuis deux siècles. D'abord lancée en Europe et aux États-Unis lors de la 1^{re} Révolution industrielle, elle a augmenté de façon exponentielle avec les trente glorieuses (1945-1975). Depuis, la croissance économique des grands pays émergents (Chine, Inde, Brésil et autres) a pris le relai et le développement économique reste pour eux la priorité, en revanche ce développement est fortement consommateur d'énergie.

La croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie et des mobilités, les dynamiques de la mondialisation, tout cela concourt à une dépense qui ne cesse de croître la consommation d'énergie.

En outre, Les trois sources d'énergie fossile Charbon, gaz naturel et surtout pétrole, couvrent environ 80 % des besoins dans le monde mais malheureusement les réserves les plus accessibles sont aujourd'hui en voie d'épuisement. De plus leur utilisation génère considérablement du dioxyde de carbone et de gaz en parti responsable de l'effet de serre. Cet effet de serre met en péril de nombreuses populations de par le monde et la stabilité géopolitique même de certaines régions du globe pourrait être mise à mal par des phénomènes climatiques majeurs [1].

A cet effet, Les concurrences commencent donc à se faire de plus en plus âpres pour la conquête de nouvelles ressources énergétiques, et le recours aux énergies renouvelables y occupe une part importante. Selon la définition, les Energies Renouvelables (ENR) correspondent aux énergies exploitées par l'homme, de telle sorte que les réserves ne s'épuisent pas, et que leur vitesse de formation soit plus grande que la vitesse d'utilisation [2], Parmi celles-ci on peut citer l'énergie éolienne (*issue du vent*), marémotrice (*des vagues et des mouvements des marées*) ou encore l'énergie solaire photovoltaïque. Ce dernier terme Il s'agit de transformer directement la lumière du soleil en électricité, sans intermédiaire, directement grâce à un matériau semi-conducteur.

L'énergie photovoltaïque n'a plus aujourd'hui une place marginale dans la part de la production d'électricité dans de nombreux pays et continue à croître très rapidement. Cependant, cette source d'électricité est fortement variable et décentralisée, ce qui peut poser des problèmes lorsque l'on souhaite intégrer cette production dans le réseau. Il devient donc très important, de bien comprendre le comportement des modules photovoltaïques en fonction de leurs conditions d'implantation pour pouvoir assurer une certaine fiabilité quant à

Introduction générale

L'installation de nouvelles centrales et également pouvoir prédire le productible pour faciliter leur intégration dans le réseau ou d'une manière autonome.

En fait, il y a continuité d'intérêt chez les installateurs photovoltaïques, les régulateurs et les propriétaires à obtenir des informations précises sur les systèmes PV fonctionnant dans des conditions ombragées ou conditions incompatibles de fonctionnement qui sont parfois inévitables, en particulier si une partie d'une installation photovoltaïque est ombragée seulement pour une journée, son pouvoir de production diminue. Cela est particulièrement vrai dans l'application de PV intégrés au bâtiment qui nécessite souvent l'intégration des modules avec les structures existantes dans des environnements urbains parfois encombrés. Dans l'intérêt d'augmenter le nombre d'installations photovoltaïques dans le monde entier et procurant un avantage maximal de ces systèmes, il est utile d'examiner plus en détail la perte de puissance des systèmes photovoltaïques semi-ombragés.

C'est dans ce contexte que s'écoule notre mémoire de Master. En effet, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'effet d'ombrage sur la performance des modules PV. Pour un meilleur examen de ces effets, la voie expérimentale a été adoptée.

Dans ce cadre, nous souhaitons répondre à la question suivante : ***Quel est le comportement du générateur photovoltaïque vis-à-vis des conditions de fonctionnement inhomogène ?***

Pour cela, le mémoire est structuré en trois chapitres détaillés comme suit :

- Le premier porte sur les différentes généralités indispensables à une bonne assimilation des principes du photovoltaïque solaire.
- Le second chapitre est consacré à la description d'effet d'ombrage et des différents défauts rencontrés sur les systèmes photovoltaïques.
- Les résultats obtenus ont été analysés et discutés dans le dernier chapitre.

Chapitre I :
**Généralités sur l'énergie solaire
photovoltaïque**

Introduction

Le soleil, source énergétique quasi illimitée, est à l'origine d'un nombre impressionnant d'effets biologiques qui participe directement ou indirectement à la vie animale et végétale : il procure la chaleur, permet la photosynthèse, la vision, conditionne les rythmes biologiques etc. L'originalité de l'énergie photovoltaïque telle que l'entend ici est de transformer directement la lumière en électricité. Et quand on sait que l'apport énergétique solaire total sur la planète est de plusieurs milliers de fois supérieur à notre consommation globale d'énergie. Les cellules et panneaux photovoltaïques sont des composants de conversion d'énergie qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. On parle généralement d'énergie solaire photovoltaïque, car le soleil est la source lumineuse la plus intense de notre planète. Mais certains préfèrent l'expression énergie lumière, pour insister sur le fait que toute source de lumière, même artificielle peut générer de l'électricité à travers une cellule solaire.

Dans ce premier chapitre on s'intéresse aux différentes généralités indispensables à une bonne assimilation des principes du solaire photovoltaïque.

I.1.L'énergie renouvelable :

Une énergie renouvelable comme son nom l'indique est une source d'énergie qui se renouvelle constamment suivant un cycle naturel bien défini pour être considérée comme inépuisable. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par le système solaire. Elles sont créées principalement par le Soleil (rayonnement), mais aussi par la planète Terre (énergie géothermique), la Lune (marée), le vent (puissance éolienne). Ces énergies sont considérées propres car elles sont utilisables sans émission de CO₂ et elles sont inépuisables.



Figure (I.1) : les différentes sources d'énergie renouvelable.

En pratique, les sources énergétiques renouvelables font allusion à :

A) l'énergie hydraulique :

Les centrales hydrauliques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

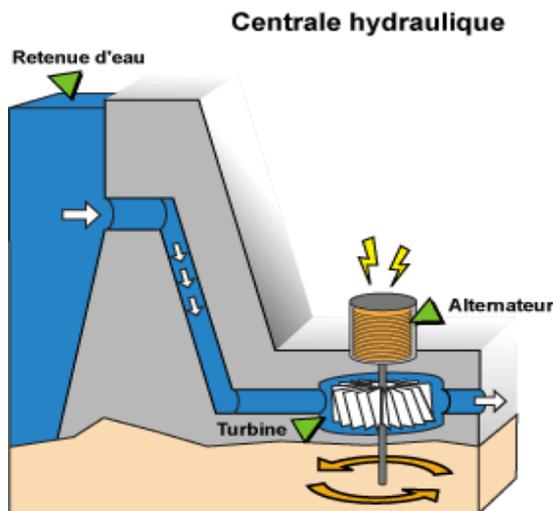


Figure (I.2) : Une centrale hydraulique. [A]

B) L'énergie de la biomasse :

Énergie produite grâce aux déchets et grâce à la combustion des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique, ou après méthanisation (biogaz), et aussi après de nouvelles transformations chimiques.

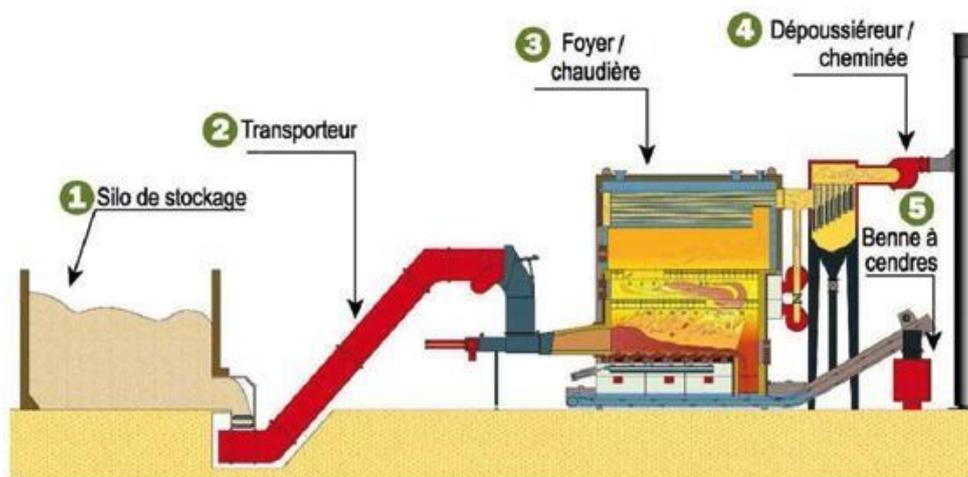


Figure (I.3) : Centrale d'énergie de la biomasse. [B]

C) L'énergie éolienne :

Une éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Les éoliennes sont composées de pales en rotation autour du rotor et actionnées par le vent. Elles sont généralement utilisées pour produire de l'énergie électrique de catégorie des énergies renouvelables.



Figure (I.4) : Eolienne. [C]

D) L'énergie de la géothermie :

C'est une énergie produite grâce à la chaleur de la terre, elle est contenue à l'intérieur de réservoirs souterrains de vapeur d'eau chaude et des roches chaudes, est utilisée comme ressource générant de l'électricité, l'eau chaude ou la vapeur extraite des réservoirs géothermiques de la croûte de la terre, fait tourner les turbines électriques qui alimentent les générateurs pour produire de l'électricité.



Figure (I.5) : Site géothermique. [D]

E) L'énergie solaire thermique :

On désigne par « solaire thermodynamique » l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur élevée, puis celle-ci en énergie mécanique à travers un cycle thermodynamique.

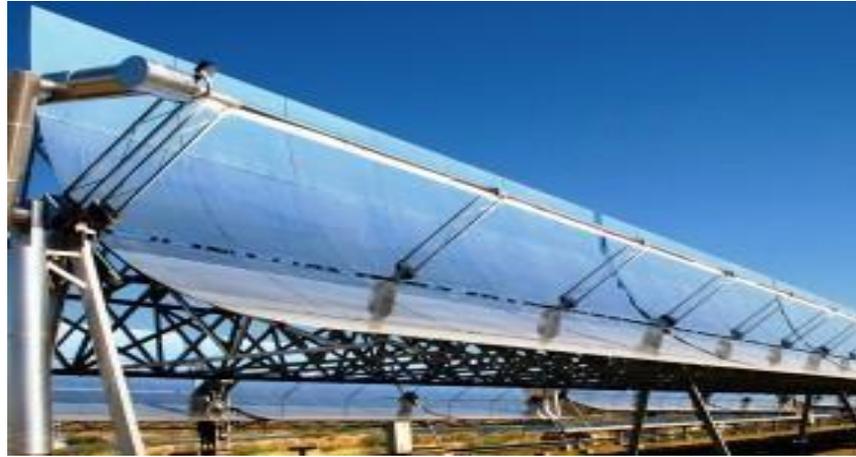


Figure (I.6) : centrale solaire thermique. [E]

I.2.L'énergie renouvelable en Algérie:

A travers le lancement d'un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et de l'efficacité énergétique, l'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte qui s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur de ressources inépuisables et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Ainsi, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le potentiel solaire en l'Algérie est parmi les gisements solaires les plus importants existant au monde entier. Avec un territoire composé de 86% désert saharien et de par son positionnement géographique. L'Algérie possède le champ solaire le plus important au monde. La durée d'ensoleillement moyenne est plus de 2000 h/an sur les régions côtières et de 3500 h/an dans le Sahara. L'énergie moyenne reçue sur 1 m² est de 5 kWh par jours, soit près de 1700 kWh/ m²/an au nord et 2263 kWh/ m²/an au sud du pays, c'est dire une moyenne d'ensoleillement de 6.57 kWh/ m²/ jour. Si on devrait comparer le solaire au gaz naturel, le potentiel solaire algérien est équivalent à un volume de 37 000 milliards de mètres cubes, soit plus 8 fois les réserves de gaz naturel du pays, à la différence que le potentiel solaire est renouvelable. [3]

L'ouverture du marché de l'électricité et le cadre juridique favorable en font que le marché photovoltaïque Algérien s'annonce parmi les plus importants en Afrique. Les modes de

production seront réparties en deux activités distinctes : le solaire photovoltaïque et le solaire thermique.

I.3.Le solaire photovoltaïque:

Energie naturelle par excellence, le soleil, cet astre incandescent dont la température de surface est voisine de 5500 °C, nous dispense chaleur et lumière. C'est le centre de notre système planétaire et sa place est si grande dans l'activité terrestre sous toutes ses formes.

Source indirecte des énergies usuelles de notre temps (sous forme chimique et biochimique en particulier), ce n'est qu'au XVIIe siècle que l'on songea à utiliser directement le soleil à des fins techniques. [4]

I.3.1.Rayonnement solaire :

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

✓ **Le rayonnement direct :**

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

✓ **Le rayonnement diffus :**

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

✓ **Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol :**

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

✓ **Le rayonnement global :**

Le rayonnement global est subdivisé en rayonnement direct, diffus et réfléchi par le sol.

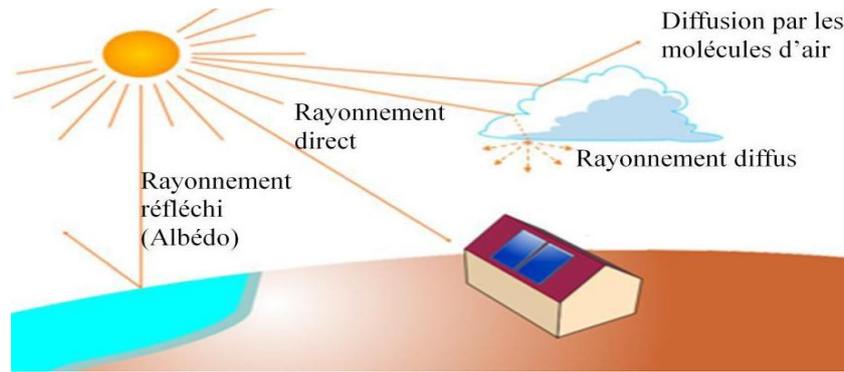


Figure (I.7): Type des rayonnements solaires.

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclairement (noté généralement par la lettre G), il s'exprime en watt par mètre carré (W/m^2). La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons. [5]

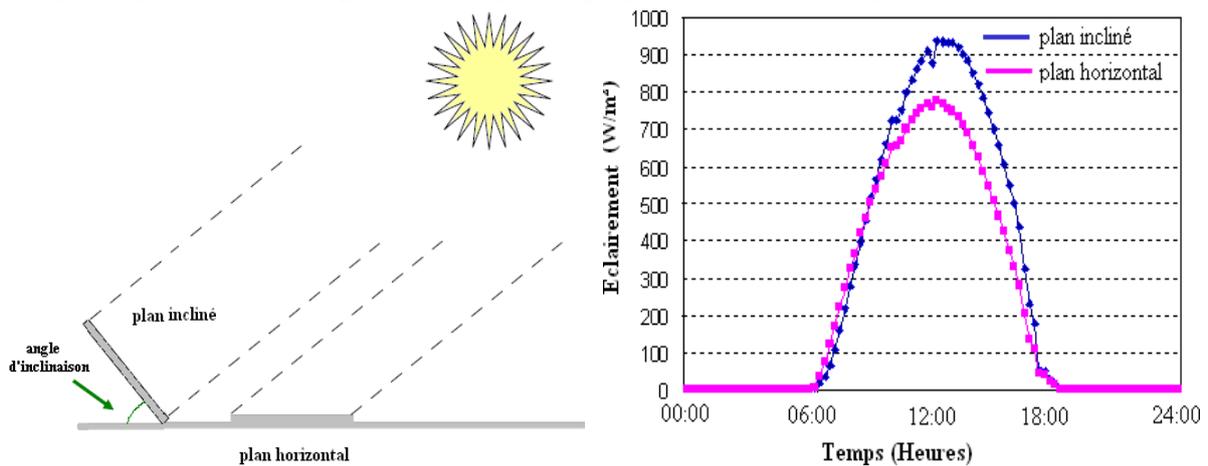


Figure (I.8) : Rayonnement solaire sur un plan horizontal incliné.

I.3.2. Dualité de la lumière :

La lumière peut être considérée sous forme électromagnétique de longueur d'onde λ ou sous forme de photons, corpuscules possédant une énergie E liée à λ par la relation suivante :

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots\dots\dots (I.1)$$

- Avec : h : constante de Planck ($j.s^{-1}$)
- c : vitesse de la lumière dans le vide ($m.s^{-1}$)
- ν : fréquence (s^{-1})
- λ : longueur d'onde (m)

La notion de dualité onde/corpuscule est importante pour comprendre les phénomènes d'interaction entre un rayonnement et un matériau. [6]

I.3.3. La structure électronique des atomes :

Les atomes sont constitués d'un noyau massif autour duquel gravitent des électrons : les électrons en mouvement sont répartis sur différentes orbitales atomiques (zones de forte probabilité de présence), à distance du noyau. Le noyau (de charge positive) et les électrons (de charge négative) s'attirent par interaction électromagnétique. Néanmoins tous les électrons d'un atome ne sont pas liés de la même manière au noyau : ils sont répartis sur de couches électroniques (orbitales) de plus en plus éloignée de ce noyau.

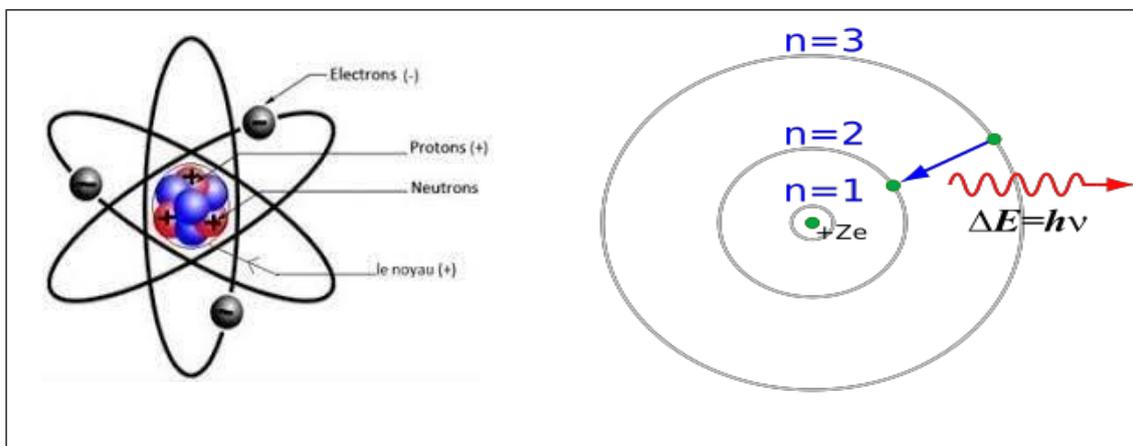
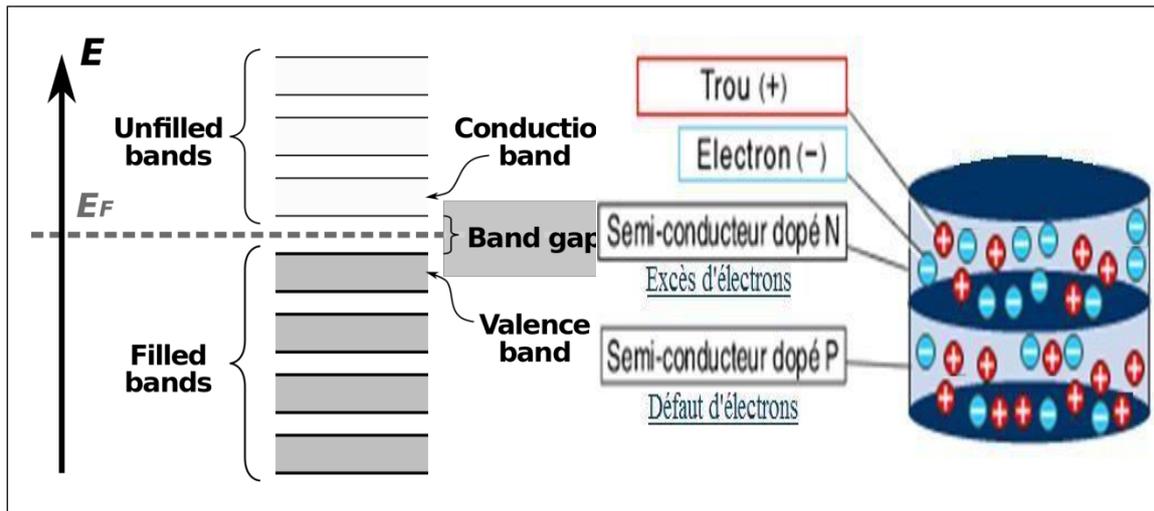


Figure (I.9) : Structure électronique d'un atome.

A chaque couche correspond une énergie différente. Plus la couche est éloignée du noyau, plus sa valeur énergétique est importante. La dernière couche occupée par les électrons (couche de valence) correspond à ceux qui sont les moins liés au noyau : ce sont ses électrons qui seront sollicités lors de la photoconduction électrique, à savoir qu'ils seront arrachés de leur couche de valence afin de pouvoir circuler librement dans le matériau (dans la bande de conduction). La libération des électrons laisse dans la couche de valence des trous qui participent également à la conduction électrique : d'où la notion de paire électron-trou.



Figure(I.10) : Notion de paires électrons-trou. [F]

Entre les deux bandes (valence et conduction) se trouve une bande ou gap d'énergie interdite aux électrons, constituant une véritable barrière énergétique. Elle correspond à une valeur énergétique E_g . A basse température, les électrons restent sur leurs couches de valence et ne peuvent franchir la bande interdite : le matériau est isolant. Sous l'effet d'une excitation énergétique, par exemple un rayonnement lumineux, les électrons vont pouvoir la franchir et atteindre la couche de conduction : le matériau est conducteur. [7]

I.4.Historique

C'est dans les appareils photos que les premières cellules furent utilisées pour mesurer le taux de lumière, avant l'arrivée du silicium ; elles étaient à base de sélénium.

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque:

- L'effet photovoltaïque a été découvert en **1839** par le physicien français **Edmond Becquerel**. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.
- **1875: Weimer Von Siemens** expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi- conducteurs. Mais jusqu'a la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- **1904: Albert Einstein** (1879-1955) expliqua la théorie de cet effet.

En même temps et dans le même domaine, il y'avait d'autres avancées technologiques : En 1916 le chimiste polonais Jan Czochralski à découvert le processus de croissance cristalline qui prend son nom, il est devenu donc possible de produire des monocristaux semi-

conducteurs de haute qualité.

- **En 1949 : William B .Schrockley (1910-1989)** a établi la théorie de la jonction PN et a lancé les bases théoriques des cellules solaires utiliser aujourd'hui.
- **1954:** trois chercheurs américains: **Caplin, Pearson et Prince**, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- **1958:** une cellule avec un rendement de (9 %) est mise au point.les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- **1973:** la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- **1983:** la première voiture alimentée par l'énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000Km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux **ETA laboratoires** (Etats-Unis) en 1954 par les chercheurs des **laboratoires Bell**, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais un dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de course vers l'espace que les cellules ont quittée des laboratoires.

En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en l'électricité à bord des satellites, ainsi que dans tous sites isolés. [8]

I.5.Effet photovoltaïque:

Le terme photovoltaïque est composé du mot Grec "photo" signifiant "lumière" et du nom du physicien Alessandro Volta (1745-1827), qui inventa la pile électrique en 1800 et donna son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt. [7]

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être arrachés, Des charges négatives (électrons) et des charges positives (trous) sont alors simultanément créées au sein de celui-ci. S'il existe un champ électrique dans le système permettant de séparer les paires électron-trou, les deux types de porteurs de charge, nommés P et N, peuvent être collectés à deux électrodes

distinctes, donnant ainsi naissance à un courant. Ceci constitue l'effet photovoltaïque.

De façon générale ce terme désigne la transformation de la lumière du soleil en énergie électrique au moyen des cellules solaires. L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs tels que le silicium(Si),arséniure de gallium(GaAs),matériaux à base de cuivre, d'indium et de sélénium(CIS),ces matériaux sont capables de capter l'énergie solaire pour la convertir en énergie électrique.

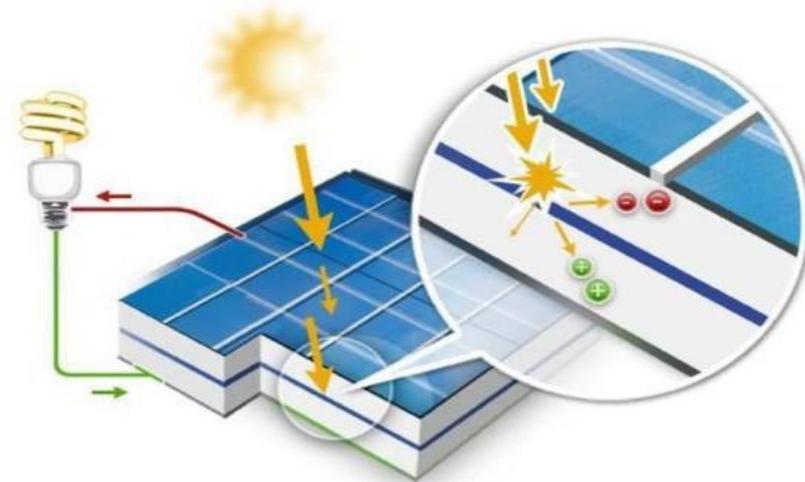


Figure (I.11) : Effet photovoltaïque.

I.6. Les différents types des cellules photovoltaïques :

I.6.1. La première génération :

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction P-N et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. La méthode de production basée sur les wafers (tranche assez fine) de silicium est très énergivore et donc très chère. Elle nécessite par ailleurs un silicium d'une grande pureté. On différencie également les cellules à base de silicium monocristallin et poly-cristallin. [5]

a) Cellules à base silicium monocristallin :

Le silicium cristallin est actuellement l'option la plus populaire pour les commerciales bien que beaucoup d'autres matériaux soient disponibles. Le terme « cristallin » implique que tous les atomes dans le matériau PV actif font partie d'une structure cristalline simple où il n'y a aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes.

b) Cellules a base silicium poly-cristallin :

Il est composé de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium polycristallin sont moins efficaces que les cellules à base de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le silicium poly cristallin gênent l'écoulement des électrons et réduisent le rendement de puissance de la cellule. L'efficacité de conversion PV pour une cellule à base de silicium poly cristallin modèle commerciale s'étend entre 10 et 14 %. [9]

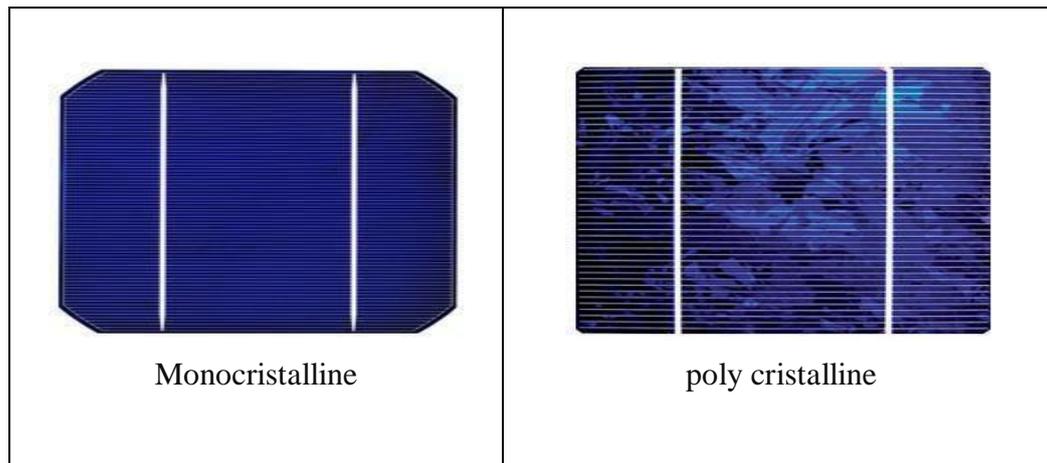


Figure (I.12) : Cellules de première génération.

I.6.2.La deuxième génération :

Les couches minces ("thin films") constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. La production de ce type de cellules est moins coûteuse que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur et ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers", et la couche de semi-conducteur est directement déposée sur un substrat (par exemple du verre).

Dans cette génération, on distingue le silicium amorphe (a-Si), le diséléniure de cuivre indium (CIS), le tellurure de cadmium (CdTe), entre autres. [2]

a) cellules en silicium amorphe :

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi-conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours.

Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.



Figure (I.13) : Cellules de deuxième génération.

I.6.3. La troisième génération :

visent à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelle environ (30%), Plusieurs concepts sont envisagés pour atteindre cet objectif :

- Superposition de multiples cellules à concentration (utilisant des bandes d'énergie différentes), utilisation des photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas absorbés par la cellule.
- cellules à électrons chauds produisant plus de paires électron/trou pour des énergies supérieures à la bande d'énergie,
- Conversion des photons pour ajuster le spectre de la lumière solaire aux caractéristiques du semi-conducteur. [9]

a) Cellule Tandem:

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbantes dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines. [10]

b) Cellule multi-jonction:

Des cellules ayant une grande efficacité ont été développées pour des applications spatiales. Les cellules multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces. Chaque type de semi-conducteur est caractérisé par une longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il est incapable de convertir le photon en énergie électrique. D'un autre côté, en deçà de cette longueur d'onde, le surplus d'énergie véhiculé par le photon est perdu.

D'où l'intérêt de choisir des matériaux avec des longueurs aussi proches les unes des autres que possible (en multipliant leur nombre d'autant) de manière à ce qu'une majorité du spectre solaire soit absorbé, ce qui génère un maximum d'électricité à partir du flux solaire.

I.7. Caractéristiques électriques d'une cellule solaire :

En présence de soleil, chacune des cellules du panneau produit un courant I (A) et une tension U (V). On peut ainsi tracer des courbes caractéristiques pour chaque panneau afin de déterminer la puissance produite avec la relation $P=U \times I$. On a ici l'apparence générale de l'intensité en fonction de la tension délivrée pour un panneau quelconque. Deux points importants sont à noter : I_{sc} et V_{oc} .

I_{sc} représente l'intensité mesurée en sortie du panneau en court circuit (short circuit), tandis que V_{oc} indique la tension en circuit ouvert (open circuit).

On peut aussi remarquer le point de puissance maximum (Maximum Power Point) et ses coordonnées I_{mp} et V_{mp} .

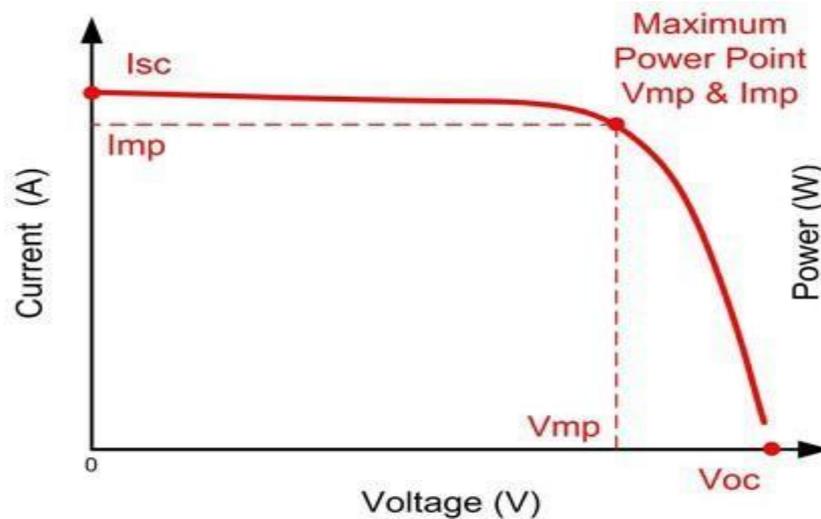


Figure (I.14) : Caractéristique courant-tension de la cellule.

On peut également tracer une courbe caractéristique représentant la puissance en fonction de la tension. On voit alors clairement le maximum de puissance atteint pour la tension V_{mp} .

[11]

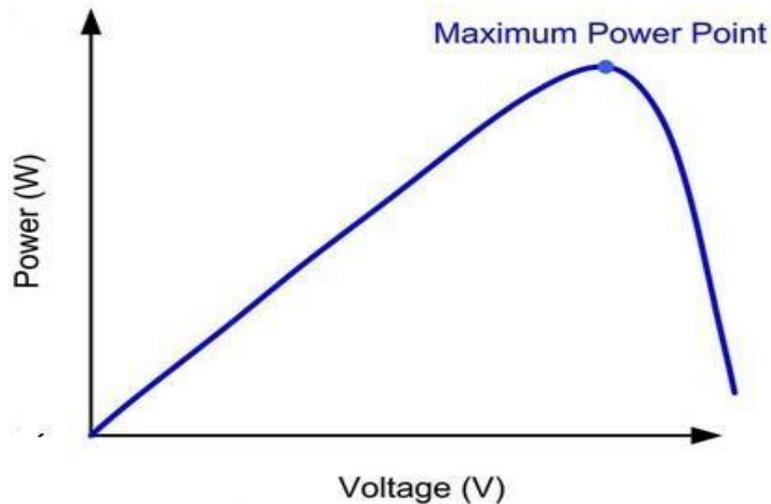


Figure (I.15) : Caractéristique puissance-tension de la cellule.

I.8. Influence d'éclairement et température :

Les performances d'un module PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'éclairement solaire et la température.

I.8.1. Eclairement :

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La tension V_{max} correspondant à la puissance maximale ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant I_{max} qui augmente fortement avec l'éclairement.

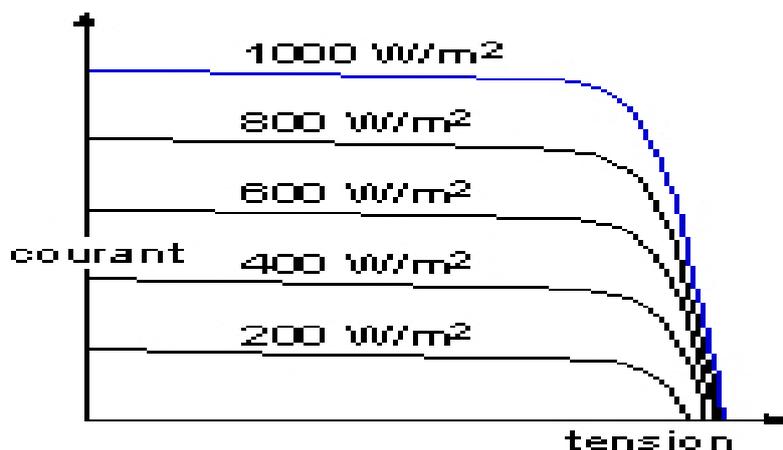


Figure (I.16) : Influence de l'éclairement sur la caractéristique $I(V)$ de la cellule.

I.8.2. Température :

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer. De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique : elle se dissipe sous forme de chaleur ; c'est

pourquoi la température de la cellule (T_c) est toujours plus élevée que la température ambiante (T_a).

La tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité: cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale. [12]

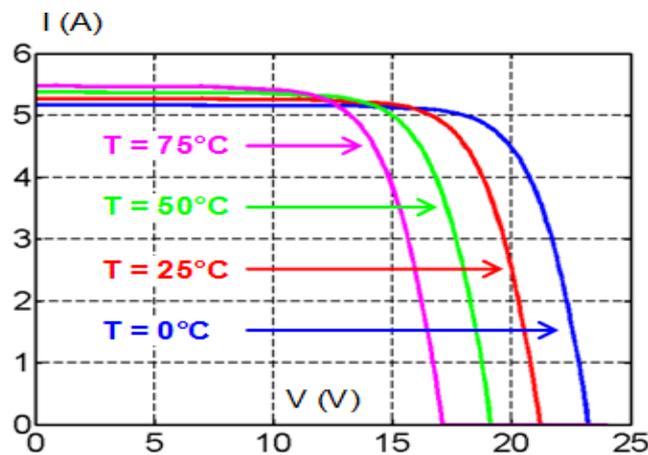


Figure (I.17) : Influence de la température sur la caractéristique $I(V)$ de la cellule.

I.9. Association de cellules (panneaux) solaires :

Un panneau photovoltaïque est composé de plusieurs modules et chaque module est constitué de plusieurs cellules qu'on associe soit en série, parallèle ou mixte.

I.9.1. Association série :

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure montre la caractéristique résultante obtenue en associant en série n_s cellules identiques.

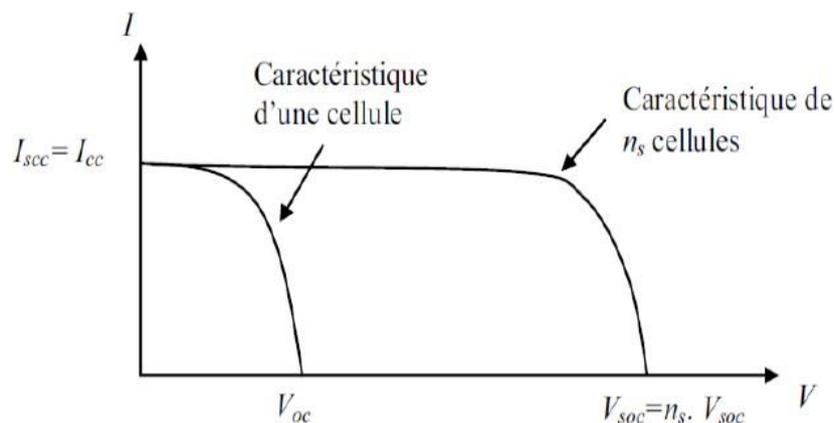


Figure (I.18) : Association en série de n_s cellules.

I.9.2. Association parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante de groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure montre la caractéristique résultante obtenue en associant en parallèles n_p cellules identiques. : [13]

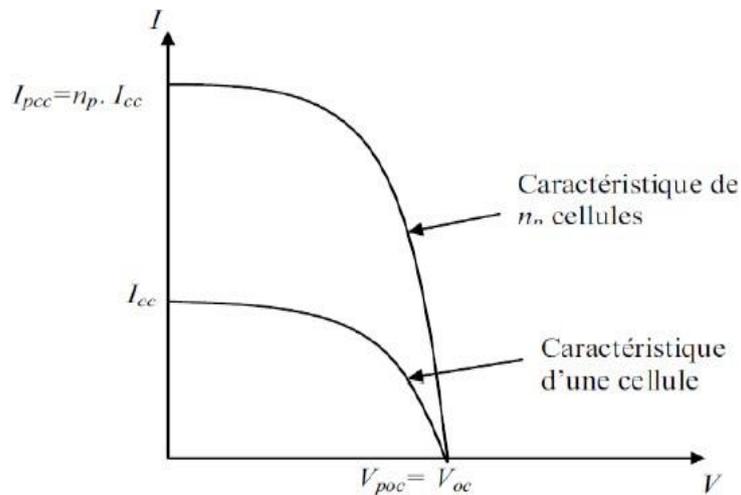


Figure (I.19) : Association en parallèle de n_p cellules.

I.9.3. Association mixte (En série et en parallèle) des générateurs photovoltaïques :

Pour atteindre une puissance importante, il faut associer plusieurs cellules en série et en parallèle ; car une cellule ne suffit pas pour alimenter une charge DC de la taille d'une station de pompage. Cette interconnexion de modules entre eux définit la notion du générateur photovoltaïque (GPV). [5]

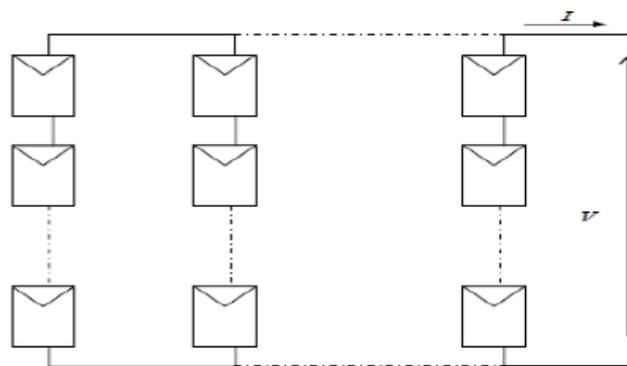


Figure (I.20) : Association mixte des cellules.

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{tcc} = n_p \times I_{cc} \quad (I. 2)$$

$$V_{tcc} = n_s \times V_{oc} \quad (I. 3)$$

Avec :

n_p : nombre des cellule en parallèle,

n_s : nombre des cellule en série.

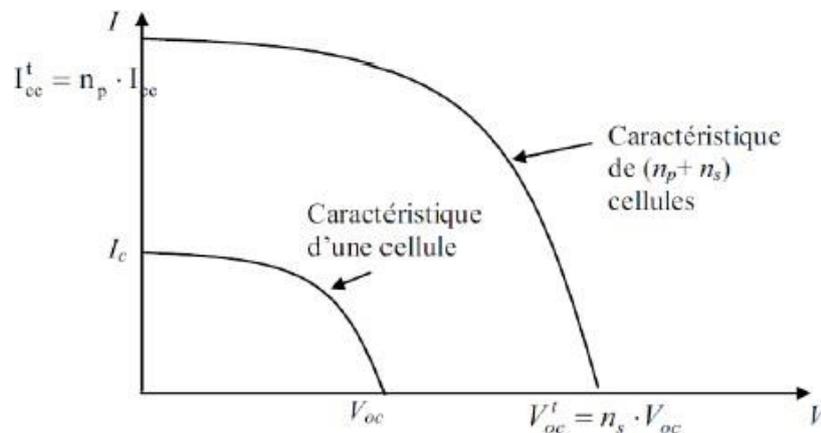


Figure (I.21) : Caractéristique obtenue en association mixte des cellules.

I.10. Différents configurations photovoltaïques :

On distingue deux différentes configurations des systèmes photovoltaïques :

I.10.1. Systèmes isolé ou autonomes :

Ce sont des systèmes qui assure le fonctionnement 24 h/24 h avec l'énergie solaire convertie en énergie électrique sans l'aide d'aucune autre source électrique, et cela à l'aide des batteries qui sertent à emmagasiner de l'énergie électrique. Il faut mentionner que les batteries les plus utilisées dans le marché actuellement sont : Accumulateurs au plomb-acide et accumulateurs au nickel-cadmium. [14]

I.10.2. Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau :

Les systèmes photovoltaïques couplés au réseau injectent l'énergie issue des modules sur le réseau de distribution. On distingue deux types d'installations :

✓ Injection de la totalité de la production : l'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injection sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque.

✓ Injection du surplus de production : l'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau.

I.11. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :**I.11.1. Les avantages :**

Les principaux avantages des installations photovoltaïques (PV) peuvent être résumés comme suit :

- Répartition de la génération si nécessaire ;
- Absence d'émission de substances polluantes ;
- Économie de combustibles fossiles ;
- Fiabilité car les installations ne comportent pas de pièces mobiles (vie utile généralement supérieure à 20 ans) ;
- Réduction des coûts de fonctionnement et d'entretien ;
- Modularité du système (pour accroître l'énergie produite par l'installation, il suffit d'augmenter le nombre de panneaux) en fonction des besoins réels des utilisateurs.

I.11.2. Les inconvénient :

Cependant, le coût initial du développement d'une installation PV est relativement élevé car le marché n'a pas encore atteint sa pleine maturité du point de vue technique et économique. De plus, la génération d'énergie est imprévisible en raison de la variabilité de la source d'énergie solaire.

La production annuelle d'énergie électrique d'une installation PV dépend de différents facteurs notamment :

- Rayonnement solaire incident sur le site de l'installation ;
- Inclinaison et orientation des panneaux ;
- Présence ou absence d'ombrage ;
- Performances techniques des composants de l'installation (principalement les modules et les onduleurs). [15]

Conclusion :

Dans ce chapitre on a donné une idée générale sur l'énergie renouvelable et le concept de l'énergie solaire photovoltaïque a travers son historique, les caractéristiques des cellules PV et leur principe de fonctionnement, les différents types des technologies déployés, ainsi que les deux types de systèmes photovoltaïques existants, ensuite on a terminé par les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire.

Le chapitre suivant sera consacré aux défauts rencontrés sur les systèmes photovoltaïques notamment les notions d'ombrage sur les générateur photovoltaïques.

Chapitre II :

**Effets d'ombrage et les défauts
dans les systèmes photovoltaïques**

Introduction :

Une installation photovoltaïque est constituée de plusieurs composants : les modules photovoltaïques en série-parallèle, l'étage d'adaptation, l'onduleur qui transforme l'énergie électrique continue provenant des modules en énergie électrique alternative (230 Volts et 50 Hertz), un système de câblage, des charges ou bien un réseau de transport. L'élément de base du générateur photovoltaïque est la cellule solaire avec une tension générée qui peut varier entre 0.3 V et 1.5 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. [16]

Dans la technologie photovoltaïque, il est clair que les modules ne maintiennent pas, obligatoirement, leurs performances initiales. Quelques modules peuvent se dégrader ou devenir même défaillant quand ils fonctionnent sur site réel durant des périodes prolongées. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de telles dégradations et chutes des performances des modules photovoltaïques.

Dans ce chapitre, on présentera les différents défauts qui peuvent être rencontrés sur les systèmes photovoltaïques et on s'intéressera beaucoup plus sur l'effet d'ombrage qui est le but principale de notre travail.

II.1.L'ombrage :

Le développement du marché photovoltaïque nécessite de connaître parfaitement la production électrique de ces systèmes sur différents sites en particulier pour estimer sa rentabilité économique. Cette estimation précise ne peut se faire qu'en prenant en compte les effets d'ombrage qui ont des conséquences dramatiques sur la puissance délivrée.

Les ombres portées par le voisinage proche et lointain peuvent influencer de manière non négligeable la productivité de l'ensemble du système photovoltaïque. Lors de la conception du système, il est indispensable d'identifier précisément les zones d'ombrages pour déterminer la dimension et la configuration optimale.

Les modules photovoltaïques sont très sensibles à l'ombrage et donc se cas on peut distinguer deux types d'ombrages :

➤ L'ombrage complet ou totale : empêche tout rayonnement (direct et indirect) d'atteindre une partie de cellule photovoltaïques (exemple : une déjection d'oiseau, une branche d'arbre sur le panneau, une couverture).

➤ L'ombrage partiel : empêche seulement le rayonnement direct d'atteindre une partie de la cellule ou du module photovoltaïque (exemple : une cheminée, un nuage).

Lorsque des cellules PV sont associées en série, le courant circulant dans l'ensemble est limité par le courant généré par la cellule la moins performante ou la moins éclairée. Ainsi, une cellule qui ne recevrait pas la même quantité de lumière que le reste de l'ensemble, produit un courant plus faible ; c'est ce qu'on appelle l'ombrage partiel. [17]

A cause de l'ombrage partiel, plus que l'ombrage est important, plus que l'énergie dissipée est grande. Dans les faits, la cellule ombrée voit à ses bornes une tension inverse qui, si elle est suffisamment élevée, lui permet de franchir sa tension de claquage entraînant sa destruction.

On peut aussi distinguer trois configurations de l'ombrage, à savoir :

- **L'ombrage d'une cellule** : la procédure adoptée assure l'occultation d'une seule cellule solaire du module en question. La partie cachée de la cellule représente le taux d'ombrage.

- **L'ombrage parallèle ou vertical (pour N cellule)**: Dans ce cas l'ombrage est parallèle à chaque cellule à occultée

- **L'ombrage perpendiculaire ou horizontal (pour N cellule)**: La procédure consiste à occulter les cellules du module par un cache équivalent en surface d'une seule cellule, de telle façon que la configuration de l'ombrage est perpendiculaire à toutes les cellules, assurant ainsi le même taux d'ombrage. [18]

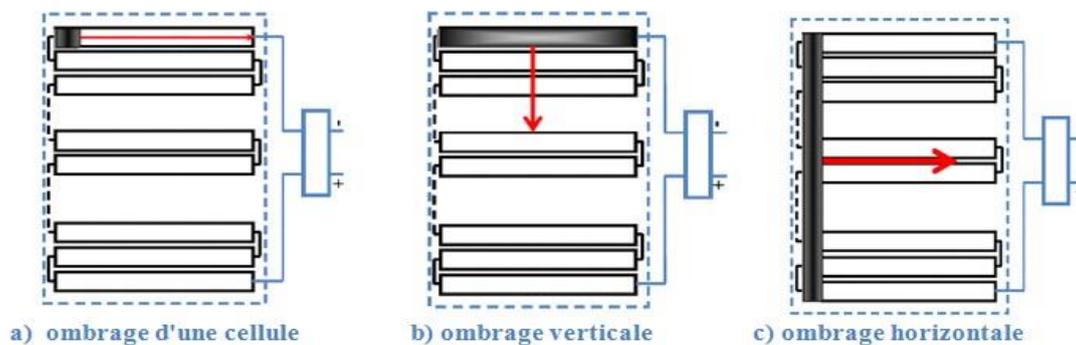


Figure (II.1): Les configurations d'ombrage.

II.2. Comportement des cellules solaires :

II.2.1. Comportement en mode direct :

Dans des conditions d'ensoleillement optimales, les cellules solaires auront une tension V_{opt} comprise entre 0.5V et 0.7V. De ce fait, les modules photovoltaïques sont le plus souvent constitués de cellules connectées en série dans le but d'augmenter la tension globale du module et faciliter l'exploitation de la puissance.

Ainsi les tensions des cellules vont s'ajouter et le courant traversant les cellules sera identique (Figure 2). Dans le même principe, même si cette configuration est rarement utilisée à l'échelle de la cellule, il est possible de les connecter en parallèle pour accroître le courant.

Ces types d'association peuvent être effectués avec des groupements de cellules sans qu'il y ait de difficultés d'associations. Il est toutefois recommandé d'avoir des cellules de caractéristiques électriques très proches pour éviter toute disparité et des pertes de performances. [19]

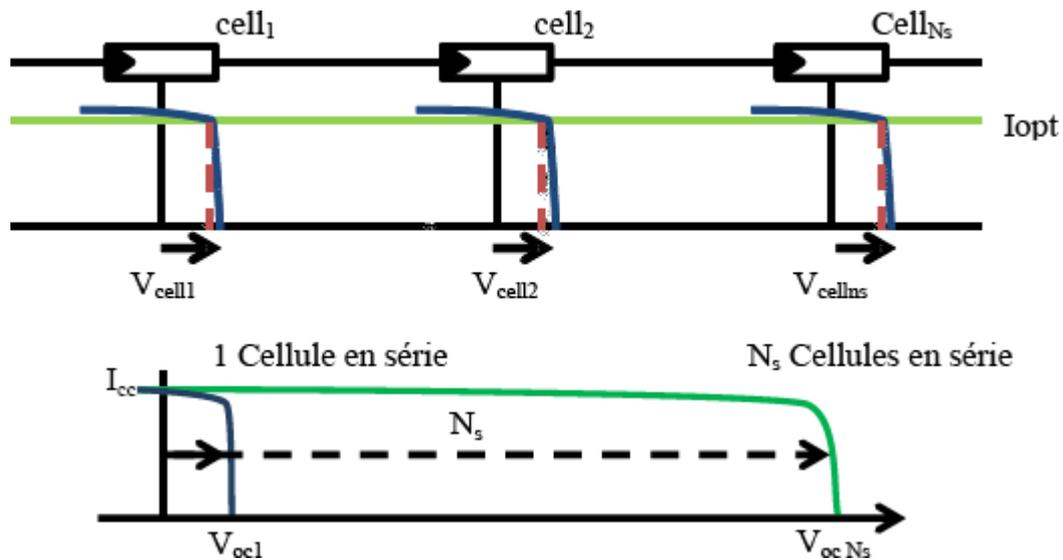


Figure (II.2): Principe de la connexion série des cellules PV.

II.2.2. Comportement en mode inverse :

Une occultation d'une cellule engendre dans ces conditions une perte importante de puissance. Lorsque la différence de courant entre les cellules saines et la cellule occultée est importante, la tension aux bornes de la cellule devient négative et passe en fonctionnement récepteur. La cellule occultée peut subir une tension inverse trop élevée ou être traversée par un courant trop important où il peut entraîner une énorme dissipation de puissance sous forme de chaleur. La chaleur accumulée peut induire l'apparition des points chauds sur les cellules et endommager les matériaux d'emballage des modules PV. [20]

Généralement, peu d'informations sont données par les fabricants sur le comportement en mode inverse (récepteur) de leurs cellules photovoltaïques. La raison principale c'est qu'elle n'intervient pas dans le fonctionnement nominal, mais seulement dans les cas d'éclaircements non homogènes.

Il faut alors tenir compte de la caractéristique inverse de la cellule et de sa zone d'avalanche. La Figure (3) montre l'association de trois cellules dont une est ombrée. On peut voir que pour un courant donné, la cellule ombrée va voir sa tension devenir négative et s'approcher de la tension de claquage. [19]

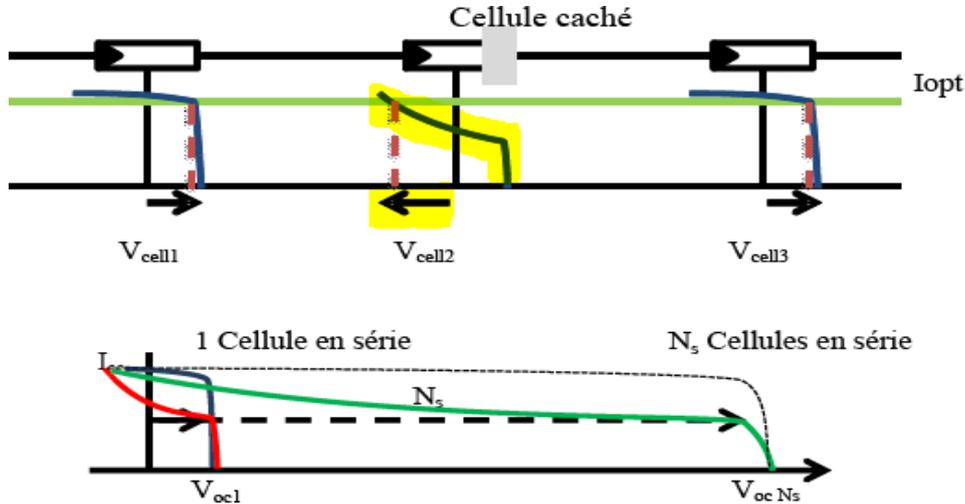


Figure (II.3): Principe de la connexion série des cellules PV en présence d'ombrage.

II.3.La diode anti-retour/ diode By-pass :

Une installation photovoltaïque est destinée à produire de l'énergie électrique pendant des années, il est donc indispensable d'ajouter des protections électriques aux modules pour éviter des pannes destructrices liées à l'association en série et en parallèle des cellules.

Lorsqu'une cellule est ombrée, elle ne produit plus d'électricité. Du coup, les autres cellules, vont l'alimenter en énergie pour combler ce manque de production de la cellule ombrée. En réalité, la cellule ombrée passe de génératrice (génère de l'électricité) à réceptrice (reçoit l'électricité). [21]

Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés :

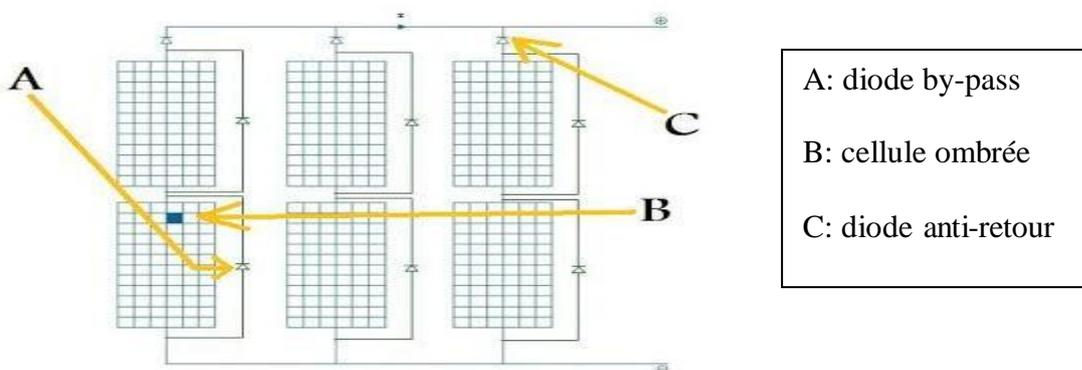


Figure (II.4): Protection des systèmes photovoltaïques.

II.3.1. Les diodes By-pass :

Les modules photovoltaïques sont munis de diodes by-pass. Celles-ci se trouvent dans le boîtier de connexion à l'arrière des modules. Ces diodes sont disposées en antiparallèle (c'est-à-dire la polarité opposée aux cellules) dans la direction du courant continu. Par conséquent, dans des conditions normales, la diode se comporte comme un circuit ouvert, alors que si un courant inverse est créé, la diode empêche le passage tout en continuant à autoriser le courant continu.

Quand une partie d'un groupe photovoltaïque est ombrée, cette partie sous-irradiée du module peut se trouver polarisée en inverse. Cela signifie concrètement que la partie sous-irradiée ne comporte plus comme un générateur électrique mais comme un récepteur (résistance). Alors qu'un générateur délivre de l'énergie, un récepteur la dissipe. La partie sous-irradiée va donc se comporter en récepteur en dissipant une certaine puissance sous forme de chaleur, ce qui va provoquer un échauffement de la zone sous-irradiée. [18]

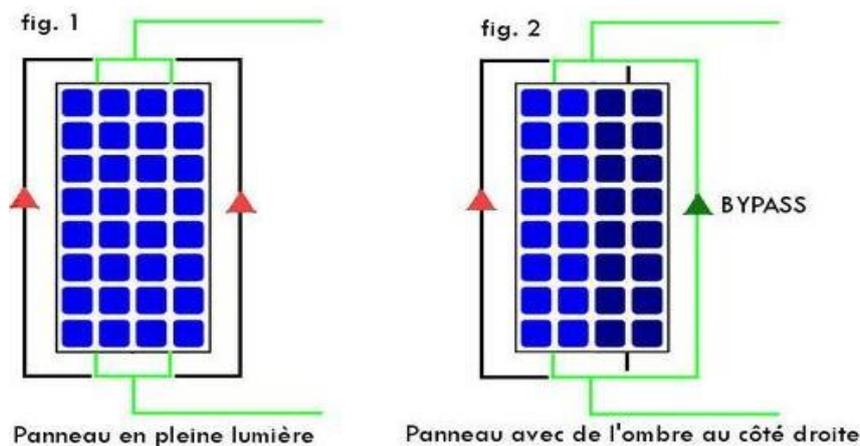


Figure (II.5): panneau avec 2 diodes by-pass (le courant circule dans les câbles verts).

Théoriquement, pour assurer la meilleure efficacité du système, il faut utiliser une diode pour chaque cellule, mais pour simplifier le processus de production et limiter les coûts des modules, les industries manufacturières utilisent généralement une cellule sur 18 ou 20. Dans le cas où un module se trouve à proximité d'objets d'ombrage (par exemple des cheminées, des antennes, des câbles, etc.), sa caractéristique de volt-mètre est améliorée par la diode de by-pass. Sans ce dernier, le courant entier du module serait déterminé par celui de la chaîne ombrée. [22] Le rôle des diodes by-pass est double :

- Protéger les cellules contre le phénomène de point chaud (hot spot)
- Améliorer la performance des modules soumis à l'ombrage.
- Pour augmenter la durée de vie de panneau.

II.3.2. Les diodes Anti-retours :

Lors de la mise en parallèle des strings pour former un champ photovoltaïque, dans la tension produite par chaque string peut être différents, cela conduit donc à une baisse de production et les modules du string traversés par le courant inverse pourrait être également susceptibles de la défaillance .pour éviter ces courants inverses, une diode anti-retour est placée au bout de chaque string. [23]

L'utilisation de la diode anti-retour introduit pourtant une perte dans la production du fait de la chute de tension causée par cette diode pendant le fonctionnement normal du champ PV. De plus, ces diodes peuvent se mettre en défaut et demandent par conséquent un contrôle régulier.

Un fusible est parfois utilisé à la place de la diode anti-retour. Par contre, l'utilisation du fusible ne permet pas de protéger le string contre le courant inverse. Le fusible doit être dimensionné afin que les composants du string (module, câble, connecteur) puissent supporter l'intensité du courant inverse lorsque ce dernier existe.

Le choix de l'un des deux composants réside donc sur la tolérance entre la perte en fonctionnement normal (pour le cas d'utilisation de la diode anti-retour) et la perte causée par le courant inverse (lors de l'utilisation du fusible). [24]

II.4. Défauts dans les systèmes photovoltaïques :

Le système de génération d'énergie photovoltaïque est un système qui combine divers dispositifs électriques et ne se réfère pas uniquement aux modules de cellules solaires.

Par conséquent, dans le cas de la durée de vie du système de production d'énergie photovoltaïque, il est nécessaire de considérer non seulement le module de cellule solaire, mais aussi d'autres équipements tels que le conditionneur d'énergie et le câblage. Bien sûr, il existe quelques possibilités d'échec dans ces appareils.

II.4.1. Défauts dans les panneaux solaires :

II.4.1.1. La fissuration :

Dans le cas de la production d'énergie solaire photovoltaïque, il est souvent installé dans des montagnes ou des endroits impopulaires, de sorte que les animaux sauvages peuvent entrer en collision avec le panneau solaire et la base de fondation Bien que les panneaux solaires soient fabriqués dans une certaine mesure, ils ne sont jamais résistants aux chocs. Une fissure cellulaire arrive quand les cellules solaires subissent une force ou stress thermique.

Aujourd'hui beaucoup de fabricants de PV tentent de minimiser l'épaisseur de cellules solaires afin de réduire le coût, mais cela les rend plus fragiles et sensibles à la fissuration. Les microfissures sont constituées de nombreuses petites fissures qui ne sont pas souvent visibles à l'œil nu mais peuvent affecter les performances du module. Ces dernières peuvent conduire à une perte de cohérence de cellule et déclencher des problèmes de recombinaison. [1]

La fissuration du panneau peut se produire sans rien de spécial, pendant le transport ou l'installation, ou par exemple quand une pierre est lancée par un enfant ou un fort vent la heurte.



Figure (II.6): Défaut de fissuration d'un panneau PV.

II.4.1.2. Jaunissement et brunissement :

Il est généralement dû à une dégradation de l'EVA ou du matériau adhésif entre le verre et les cellules. Il s'agit d'un changement de couleur dans le matériau du blanc au jaune, et en suite du jaune au brun. Il provoque une modification de la transmission de la lumière atteignant les cellules solaires et donc une diminution de la puissance générée. Des études ont déterminé que la cause principale de défaut est l'exposition au rayonnement UV combinée avec l'eau à des températures supérieures à 50°C ce qui provoque une modification de la structure chimique du polymère. [25]



Figure (II.7) : Jaunissement et brunissement des cellules.

II.4.1.3.La délamination:

La délamination traduit la perte d'adhérence entre le polymère encapsulant et les cellules ou entre les cellules et le verre avant. Elle représente un problème majeur car elle entraîne deux effets : l'augmentation de la réflexion lumineuse et la pénétration de l'eau à l'intérieur de la structure du module.

Cet effet est plus sévère lorsqu'il se traduit sur les bords du module parce que, en plus de la dégradation de la puissance, elle provoque des risques électriques pour le module et l'installation toute entière.

Le délaminage est le plus fréquent dans les climats chauds et humides. Il favorise une pénétration d'humidité dans le module et provoque, par conséquent, différentes réactions chimiques à l'intérieur du module induisant des dégradations telles que la corrosion des métaux de la structure du module le plus souvent. [26]



Figure (II.8) : Défaut de la délamination.

II.4.1.4.traînée d'escargot «Snail trail» :

Le phénomène appelé «traînée d'escargot» se produit uniquement dans les panneaux solaires à base de silicium cristallin. Les petits dommages (fissure micro) difficiles à trouver visuellement, etc., provoquent un motif semblable à une trace d'escargot. Parce que cela ne signifie pas que la production d'électricité tombe immédiatement après l'apparition de traînée d'escargot, elle n'est pas sujette à la garantie du fabricant dans les conditions actuelles. Cependant, l'analyse de Trina Solar indique qu'il est impossible de dire que la quantité d'électricité produite ne tombera pas complètement, et nous devons observer les progrès. On dit que les microfissures qui causent l'escargot peuvent être causées en plaçant des objets lourds lors de l'installation, du transport ou de l'entreposage des panneaux solaires. À cet égard, il est difficile pour les utilisateurs d'y faire face, vous n'avez donc qu'à faire confiance à un revendeur digne de confiance. [27]

Sur les des modules photovoltaïques, de nombreuse traces noires appelées «Snail trail» apparaissent. Apres quelque année de fonctionnement et d'exposition aux différents climats de températures, de moisissures, il est possible qu'il y ait une apparition d'une décoloration noirâtre au niveau des cellules PV comme le représente ces figures :



Figure (II.9) : Défaut de Snail trail.

Ce phénomène nouveau ressemble à un craquement de cellules. Plusieurs études en été effectuer sur se phénomène et montre que l'humidité est un facteur clé dans la formation des «snail trail».

II.4.2. Défauts dans la boîte de jonction :

La boîte de jonction (connexion) est placée à l'arrière du module, elle permet l'interconnexion des modules ou d'autres conducteurs compatibles. Elle est constituée d'un boîtier étanche comprenant les éléments suivants :

- Arrivée du câblage des cellules.
- Bornier de connexion (à vis).
- Diodes de by-pass (ou antiparallèles) permettant de court-circuiter les cellules du module en cas de présence de tensions inverses.
- Presse-étoupe de sortie assurant le passage et le serrage efficace du câble de raccordement électrique, afin conserver l'étanchéité d la boîte. [7]



Figure(II.10) : Boite de connexion.

Comme tous systèmes électrique, la boîte de connexion peut avoir plusieurs défauts et cela provoques des dommages sur les installations et les fonctionnements des panneaux photovoltaïques. On peut citer quelque défaut rencontré sur les boîtes de connexion :

- Absence de parafoudre ou protection foudre inadaptée et cela provoque la destruction de la boîte.
- Presse-étoupe mal serrée cela provoque la corrosion des contacts, et rupture du circuit électrique.
- Déconnexion des soudures cela provoque des arcs électriques et incendies, diminution des performances.
- Infiltration de l'eau ou de l'humidité : la destruction des diodes de by-pass corrosion des connexions. [28]

II.4.3.Défauts dans le système de câblage :

Au cours de son fonctionnement, une installation PV peut être éventuellement soumise à différents défauts et conditions de fonctionnement anormales et cela peut êtres due aux défauts de système de câblage tel que :

- Mauvais dimensionnement des câbles cela entraine une chute de tension.
- Connexion desserrée ou cassée cela peut causer un arc électrique, incendie, destruction de la boîte de jonction et destruction des diodes.
- Câble mal dénudé cela provoque un faux contact, circuit ouvert, arc électrique ouvert.
- Câble non fixé cela traduit par un circuit ouvert. [29]

II.4.4.Défauts de l'onduleur:

Un onduleur ou convertisseur est un dispositif permettant de transformer la tension continue issue des modules photovoltaïques ou des batteries en tension alternative qui est réinjectée soit dans le réseau, soit dans un site isolé afin de couvrir ses besoins. En quelque sorte, il permet de rendre utilisable l'électricité produite par les modules ou par les batteries en respectant les caractéristiques techniques des appareils électriques ou du réseau. [8]

Les défauts les plus rencontré dans un onduleur sont les suivants :

- Dégradation à cause de la chaleur
- Faut contact cela implique l'arrêt complète de l'onduleur.
- Surtension se qui provoque la déconnection de l'onduleur.

- Fusible fondu implique l'arrêt de l'onduleur.
- Défaut d'isolement, destruction de l'onduleur.
- Onduleur surdimensionné cela cause de perte de puissance et diminution de performance.
- Onduleur non mis à la terre cela implique un disjoncteur différentiel non actif.
- Afficheur de cristaux liquide endommagé ou illisible.

II.4.5. Défauts dans les systèmes d'acquisitions des données:

Les systèmes d'acquisitions des données, comme leur nom l'indique, sont des produits ou procédés utilisés pour recueillir des informations afin de documenter ou d'analyser un phénomène. Au fur et à mesure que la technologie a progressé, ce type de processus a été simplifié et rendu plus précis, polyvalent et fiable grâce à l'équipement électronique. C'est dernières années un dispositif important et utilisé pour l'acquisition des données dans les installations photovoltaïques, se dernier est appelé le système de la supervision.

La supervision d'une installation photovoltaïque permet d'évaluer la qualité de fonctionnement du système et à contrario de détecter les éventuelles anomalies. Elle est en général composée d'un système d'acquisition et de stockage des données, d'un logiciel de traitement du signal ou d'analyse, et d'un afficheur. Dans certain cas le système est couplé à des sondes d'ensoleillement et de température.

Il existe plusieurs systèmes de supervision photovoltaïque que l'on peut classer selon la provenance des données [30]:

- Données provenant du compteur de production
- Données provenant de l'onduleur photovoltaïques (solution propre au fabricant d'onduleur).
- Données provenant de l'onduleur photovoltaïque (solution indépendante connecté à l'onduleur).
- Données provenant d'un système indépendant non connecté aux onduleurs.



Figure (II.11) : Des systèmes de supervision utilisée dans les installations PV.

Mais cela ne signifie pas qu'il n'y a pas des anomalies sur ses systèmes d'acquisition, on peut citer quelques défauts rencontrés tels que :

- Coupure de courant et cela cause des pertes de données
- Sonde d'ensoleillement non câblée donc les mesures sont impossibles
- Défaut de paramétrage cela ordonne des enregistrements de fausses données.
- Carte électronique mal positionnée, touches inactives, et défaut de commande.
- Mesure de données non nulles alors que le système PV est à l'arrêt. [30]

II.5. Le phénomène MISMATCH :

L'association série/parallèle de cellules photovoltaïques formant le générateur photovoltaïque (GPV) verra sa caractéristique électrique varier à l'échelle de la cellule impliquant une désadaptation (en anglais : mismatch). Dans le cas de la connexion série, le déséquilibre limitera le courant de la chaîne de cellules.

Donc, le défaut de "mismatch" est causé par le groupement de cellules possédant une caractéristique I-V non identique.

Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch car sa présence conduit à une réduction de l'ensoleillement reçu par des cellules. Le changement de ces paramètres provient de deux facteurs principaux :

- Premièrement, des cellules pourraient posséder des propriétés physiques différentes suite à une tolérance dans la fabrication. Seule la tolérance de la puissance du module est donnée par les fabricants de la cellule ou du module. Elle peut varier entre +/-3% et +/-5% selon les fabricants.
- Deuxièmement, des cellules PV peuvent être exposées à des conditions de fonctionnement différentes causées par les différents défauts. Quantitativement, l'impact de ces défauts est difficile, voire impossible, à quantifier. [23]

II.6. Le phénomène de HOT-SPOT (point chaud) :

Un module photovoltaïque est une association de cellules en série/parallèle. Sa caractéristique globale peut varier en fonction de l'éclairement, la température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement. De plus, il suffit d'un ombrage ou d'une dégradation d'une des cellules mises en série pour provoquer une forte diminution du courant produit par le module photovoltaïque. Lorsque le courant débité est supérieur au courant produit par la cellule défectueuse ou faiblement

éclairée, la tension de celle-ci devient négative et elle se compose en récepteur. Ainsi, elle se trouve en siège d'une dissipation thermique relativement élevée pouvant conduire à sa destruction totale : c'est le phénomène du point chaud ou hot-spot, pour remédier à ce phénomène, les modules photovoltaïques sont équipés de diodes by-pass qui ont pour rôle de protéger les cellules qui deviennent passives (défectueuses ou ombragées). [26]

Dans un module photovoltaïque, les points chauds peuvent se produire par n'importe quelle combinaison d'une défaillance d'une cellule, de l'interconnexion, d'un ombrage partiel et une variation du courant généré d'une cellule à l'autre (mis-match). Il peut aussi résulter d'une diode anti-retour inadéquate ou à cause d'une cellule craquelée à l'intérieur du module. Selon la gravité de la craquelure, une cellule peut potentiellement produire moins de courant que les autres cellules de la série, ce facteur peut avoir une conséquence majeure sur la dégradation des modules. [31]



Figure (II.12) : Le phénomène de HOT-SPOT.

II.6.1. Détection des points-chauds :

Si le point chaud dure longtemps, la quantité d'électricité produite diminue et, dans le pire des cas, il existe un risque d'inflammation. Une fois qu'on détecte un hot-spot, on doit agir immédiatement. L'une des méthodes de détection des points-chauds consiste à utiliser la thermographie infrarouge. Aujourd'hui, lors de l'inspection périodique prédictive de la maintenance après l'installation du panneau, nous utilisons souvent une thermographie infrarouge non refroidie, et la caméra elle-même est devenue très pratique. Par conséquent, vous pouvez facilement trouver des endroits pouvant être des points chauds sur le panneau. [32]

Le « point froid » est le point le plus froid d'une zone de l'image thermique ; le « point chaud » est son point le plus chaud. La fonction « Détection automatique du point chaud/froid » permet d'afficher directement ces deux points sur l'image thermique à l'écran

de la camera. Cette fonction est également disponible dans certains logiciels d'analyse, tels que testo IRSoft ou testo Thermography App. Ces deux points peuvent également y être affichés pour des zones au choix de la camera thermique. [34]

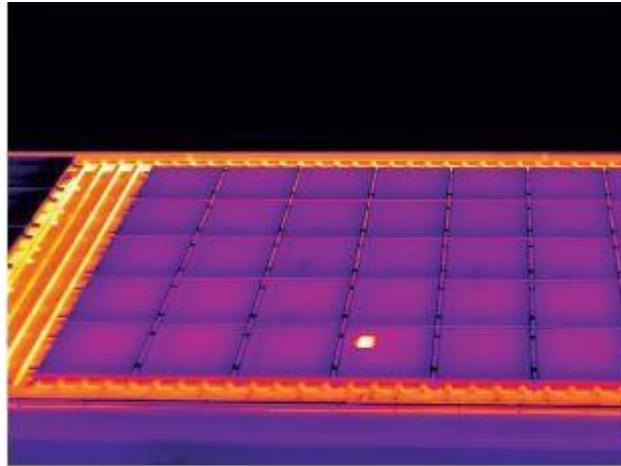


Figure (II.13): détection des hots spots par la camera thermique.

II.7. Le risque d'incendie :

En fonction de divers facteurs, le système de production d'énergie photovoltaïque peut provoquer un incendie en court-circuitant les fuites électriques ou les courts-circuits. Les facteurs causant le feu sont les suivants.

- Les feuilles tombées et les branches ont été recueillies entre le panneau et le toit, les oiseaux faisaient des nids
- Les petits animaux tels que les oiseaux ont cassé le câble
- Cuisson due à une mauvaise isolation à l'extrémité du fil
- Décharge due au contact du métal avec des pièces métalliques telles que le piédestal du module. [27]
- Phénomène de point chaud, point chaud à l'intérieur d'une cellule sombre ou sale, peut-être en raison du manque de nettoyage des panneaux ou en raison d'une conception incorrecte du système (par exemple un cône d'ombre d'une cheminée ou un plat).
- À l'intérieur de la boîte de jonction dans le panneau.
- S'il y a une perte d'isolation, un arc électrique peut être créé entre la cellule et la cellule de panneau et donc une étincelle
- Un autre allumage peut se produire dans les câbles de connexion, si une perte d'isolation se produit, et comme le panneau continue de fonctionner avec le soleil, un arc électrique peut être créé.
- Arc électrique dû aux températures élevées.

• En présence d'un toit en bois (les toits en béton armé sont préférables du point de vue de la sécurité) ». [33]

Bien qu'il y ait des incendies dus à des erreurs artificielles telles qu'une mauvaise application, la maintenance est très importante, car la maintenance est effectuée régulièrement pour les systèmes de production d'énergie solaire, ce qui n'est souvent pas évitable.



Figure (II.14) : Pompiers engagés dans l'extinction d'un incendie sur le toit recouvert de panneaux photovoltaïques d'une ferme porcine dans la province de Forli (Italie). [33]

II.8.détection des défauts (la thermographie solaire) :

Grâce à la thermographie solaire, il est possible de calculer de manière fiable les défauts dans les modules et l'installation, par exemple:

- ✓ Points chauds dus à des défauts dans les modules, Modules en circuit ouvert
- ✓ Courts circuits, contacts lâches, câbles et douilles surchauffés

Lors d'un examen relatif à la thermographie solaire, il est possible de répondre aux exigences de sécurité des installations et de protection des personnes:

- Les défauts dans l'opération sont détectés sans problèmes dans les images thermiques, le fonctionnement parfait de tous les composants est garanti et, de cette façon, un service sûr de l'installation photovoltaïque est réalisé.
- Grâce à la mesure effectuée à distance de sécurité, la protection idéale des personnes est toujours garantie.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a mis en évidence les différents types d'ombrage, le comportement des cellules différents défauts qu'on peut rencontrer sur les installations photovoltaïques et leur influence sur le comportement des systèmes photovoltaïque et on basé sur l'effet d'ombrage sur les générateurs photovoltaïques. Alors on peut conclure pour fonctionner de manière optimale et d'une manière adéquate, une installation solaire photovoltaïque doit être soumise au moins d'ombrage possible. Cependant certaines contraintes liées au lieu d'installation (présence de montagne, d'arbre, cheminée, poteau électrique..) ne peuvent être évitées. Par conséquent plusieurs phénomènes néfastes peuvent être révélés tel que le mismatch et le hot spot qu'on peut éviter à l'aide des diodes de by-pass et diodes anti-retour. Le dernier chapitre fera l'objet d'une étude expérimentale sur l'effet des différents types d'ombrage sur la production photovoltaïque.

Chapitre III :

**Etude expérimentale de l'effet
d'ombrage sur un générateur
photovoltaïque**

Introduction :

La cellule solaire est l'élément de base de la conversion d'énergie photovoltaïque en électricité, le meilleur rendement de cette conversion est obtenu pour un groupement de plusieurs cellules en parallèle ou en série. Seulement ce groupement demande des précautions particulières pour éviter de provoquer la dégradation du module. Lorsqu'un module photovoltaïque est totalement ou bien partiellement ensoleillé (ombré), et ainsi ayant subi des dommages mécaniques (craquage durant l'assemblage) ou bien présentant des dispersions dans des paramètres des cellules, certaines cellules se transforme en résistance et s'échauffent, par suite une dissipation de puissance considérable résulte et dégrade les caractéristiques du module, induisant ainsi des pannes importantes. [17]

Dans ce chapitre on va présenter le matériel utilisé lors de notre expérience et d'interpréter le comportement d'un système photovoltaïque sous l'impacte de différents types d'ombrage (total, partiel, aléatoire).

III.1. Situation géographique de la région de Bouira :

Cette étude est réalisée dans la région de Bouira dont les coordonnées géographiques sont 36° 15 latitude de nord et 3° 55 longitude Est. La région de Bouira s'étend sur une superficie de 445 626 km² représentant 0.19 pour cent du territoire national.

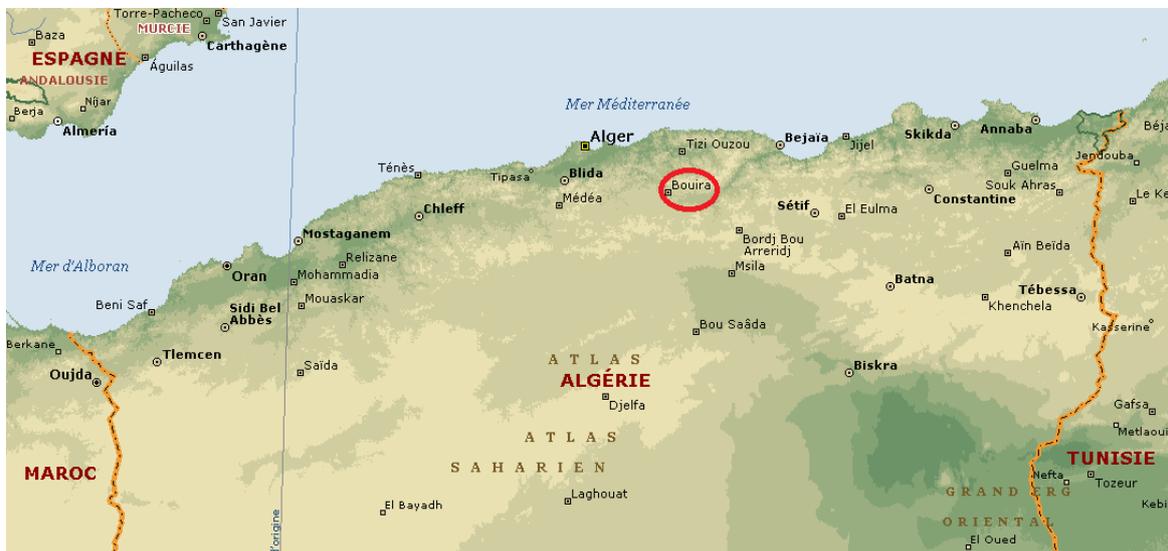


Figure (III.1) : La position géographique de la région de Bouira.

La région de Bouira se situe dans la région centre nord du pays à près de 120 km de la capitale Alger. Elle est limitée au Nord et au Nord-est par Tizi-Ouzou et la chaîne montagneuse du Djurdjura et du Sud-est par la chaîne montagneuse des Bidans et Bordj-Bou-Argeridj au Sud-Ouest par les montagnes de Dairah et M'Sila et à l'Ouest par Médéa et Blida.

Le climat est chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver. La pluviométrie moyenne est de 660 mm/an au nord et de 400 mm/an dans la partie sud. Les températures varient entre 20 et 40 °C de mai à septembre et de 2 à 12 °C de janvier à mars. [36]

III.2. Système proposé :

La figure (III.2) montre un schéma synoptique du système photovoltaïque utilisée dans ce travail et cela afin de voir le comportement des panneaux photovoltaïques à l'état sain et lors de l'impacte de l'ombrage (total et partiel) sur la puissance délivré par les panneaux photovoltaïques.

Le système comprend un générateur de type SUNTECH STP058B-12/BEA de 85 Watt, une résistance variable de 50 ohm utilisé comme un récepteur du courant débité par les panneaux photovoltaïques, des instruments de mesure telle que le voltmètre et l'ampèremètre est cela afin de mesuré respectivement la tension et le courant et le pyranomètre pour la mesure de l'éclairement solaire global.

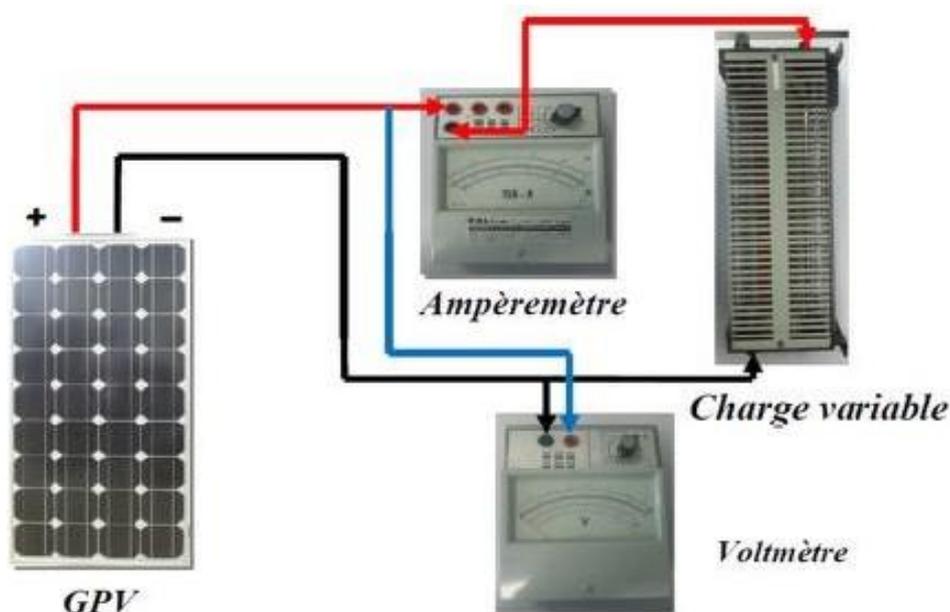


Figure (III.2) : Schéma représentatif de la méthode voltampère-métrique.

III. 2. 1. Les générateurs photovoltaïques :

La plateforme est constituée de deux kits photovoltaïques de type SUNTECH STP058B-12/BEA de 170 Watt, chaque kit contient deux modules constitué de 36 cellules en silicium identiques (même constructeur, même technologie et caractéristiques techniques identiques). Les modules sont en silicium monocristallin de type verre, cellules, polymère et d'une puissance crête de 85 Watt et d'une dimension (1195mm*541mm*30mm), chaque

module est encapsuler par un cadre en aluminium tous cela est fixé sur un support du kit photovoltaïque. Ils sont installés en champ libre (non intégré au bâti) avec un angle d'inclinaison de 45 degré par rapport à l'horizontal, une orientation vers plein Sud. Les spécifications techniques des modules données par le constructeur sont consignées dans le tableau III.1.

Modèle	STP085B-12/BEA
La puissance maximale P max	85 Watt
La tolérance	+5%
Courant au point maximal	4.8 A
La tension au point maximal	17.8 V
Le courant de court-circuit	5.15 A
La tension au circuit ouvert	22.2 V
La température maximale des cellules	45°C +-2°C

Tableau (III.1) : Caractéristiques électriques du générateur photovoltaïques.



Figure (III.3) : Générateur PV Suntech utilisé.

III. 2. 2. La charge :

La charge utilisée dans notre travail est une charge résistive variable donc les caractéristique sont :

- ✓ $I_{max} = 5 \text{ A}$
- ✓ $R_{max} = 50 \Omega$



Figure (III.4) : Charge résistive variable.

III. 2. 3. instruments de mesures :

On a utilisés lors de notre expérience des instruments analogiques (ampèremètre et voltmètre) et numérique (pyranomètre).



Figure (III.5) : Voltmètre et Ampèremètre utiliser lors de l'expérience.

A/ Le voltmètre :

Le voltmètre est un appareil de mesure de tension. Il se branche en parallèle avec le composant dont on veut mesurer la tension aux bornes.

Il utilisé contient :

- ✓ Un bouton indiquant la nature de tension à mesuré (continue ou alternatif).
- ✓ Un bouton de réglage du calibre.
- ✓ Les borne d'entrée et sortie.

La valeur maximale à supporter est de 1000 V.

B/ L'ampèremètre :

L'ampèremètre est un appareil de mesure de courant. Il doit être branché en série dans le circuit.

Il contient :

- ✓ Un bouton de réglage du calibre est cela en fonction de la nature du courant (continue ou alternatif).
- ✓ Des bornes d'entrées sorties.

La valeur maximale du courant à supporter est de 10 A.

C/ Cellule PV calibrée :

Est un instrument conçue pour des mesures de l'irradiance solaire globale. il est fourni avec un numérique affichage pour une lecture directe de l'éclairement énergétique en Watt par mètre carré. Deux prises jack de sécurité de 4 mm sont fournies pour que le signal puisse, si nécessaire, être utilisé par un enregistreur de données. L'appareil est alimenté par un 9 volt block batterie.

Chaque instrument est calibré individuellement au soleil en utilisant un pyranomètre kipp-Zonen CM21 comme référence. Dans des conditions typiques la précision de l'instrument est à +/- 5% de la pleine échelle. La précision de l'instrument est de +/- 1 Watt par mètre carré.

Les données techniques de l'instrument :

- ✓ Dimensions : 185*108*56 mm.
- ✓ Alimentation : pile bloc 9V.
- ✓ Plage de mesure : 0-1999 W/m². [37]



Figure (III.6): Pyranomètre 4890.20.

D/ Boussole numérique :

Une boussole numérique à été utiliser lors de notre expérience est cela afin de faire l'orientation des panneaux photovoltaïques vers le plein Sud.

III. 3. Partie expérimentale :

Nous avons utilisé dans notre expérience effectuer à l'université exactement dans le «pole universitaire » de Bouira, le matérielles disponible au laboratoire de génie électrique, celui présenté précédemment.

Notre expérience se focalise sur l'impacte de l'ombrage (total, partiel et aléatoire) sur les panneaux photovoltaïques est cela pour des différent niveaux d'ensoleillements.

Dans un premier temps nous avons caractérisé le comportement du module PV sans ombrage sous des conditions extérieures pour des différents éclairgements (faible, moyen et fort ensoleillement).

Les figures (III.7a et 7b) montrent les caractéristiques (courant/tension) et (puissance /tension) et cela pour différents conditions météorologique obtenue grâce à des valeurs expérimentales par la méthode voltampère-métrique.

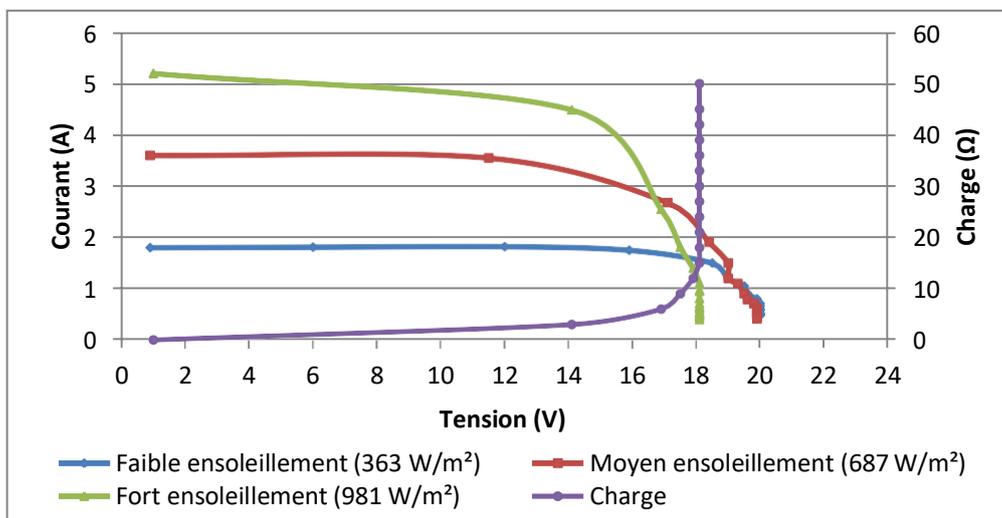


Figure (III.7a) : Caractéristiques électriques expérimentales I(V).

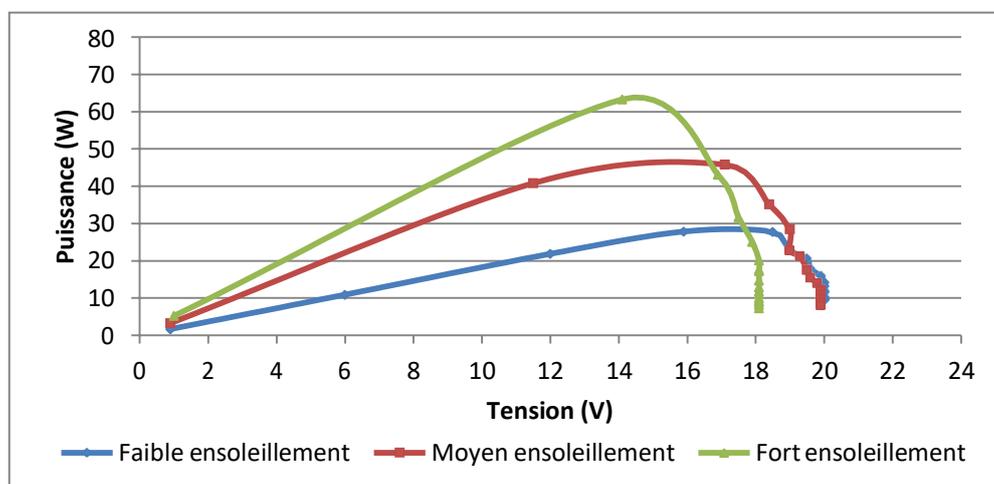


Figure (III.7b) : Caractéristiques électriques expérimentales P(V).

Les caractéristiques expérimentales obtenues sont similaires à celle du constructeur. Pour une température quelconque, lorsque l'ensoleillement varie, le courant de court-circuit varie proportionnellement à l'irradiation tandis que la tension de circuit ouvert varie un peu ce qui engendre une proportionnalité au niveau de la puissance.

III. 3. 1. Configuration «A» Ombrage total :

Dans cette configuration, on s'intéresse à l'impact de l'ombrage total sur les modules de types SUNTCHE STP058B-12/BEA (pour un seul panneau) afin de voir l'influence sur la production photovoltaïque. Pour cette configuration, un obstacle a été mis en œuvre afin d'empêcher tout rayonnement direct ou indirect d'atteindre la surface des cellules, (selon le taux d'ombrage exigé) pour des différents niveaux d'ensoleillements.

Pour cette expérience cinq cas d'ombrage seront étudiés comme le montre le tableau (III.2) et la Figure (III.8) montrent le schéma adopté à cette expérience.

Cas	Description : taux l'ombrage sur les panneaux photovoltaïques
Cas (0)	Sans ombrage état sain du module.
Cas (1)	Ombrage de 25% du panneau photovoltaïque.
Cas(2)	Ombrage de 50% du panneau photovoltaïque.
Cas(3)	Ombrage de 75% du panneau photovoltaïque.
Cas(4)	Ombrage de 100% du panneau photovoltaïque.

Tableau (III.2) : Configuration (A).



(a)

(b)

Figure(III.8) : (a) cas (3) de la configuration « A », (b) cas (2) de la configuration « A ».

Le graphique de la figure (III.9) représente l'évolution de la puissance PV en fonction de l'ensoleillement pour différent taux d'ombrage totale réalisés en faisant varier le taux d'ombrage de (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

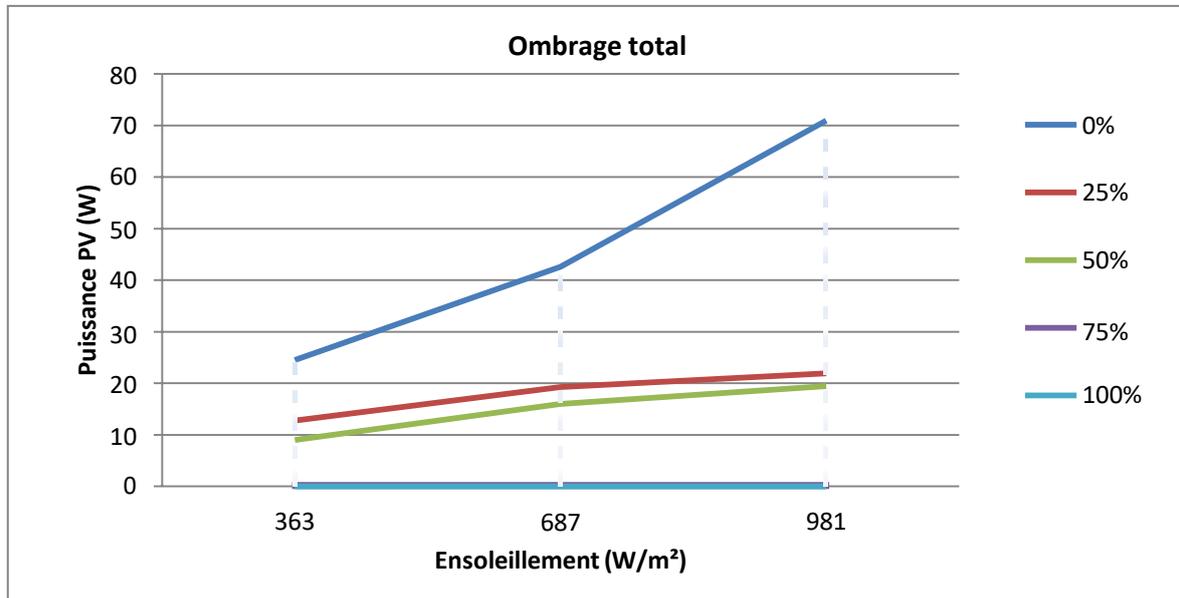


Figure (III.9) : Evolution de la puissance PV en fonction de l'ensoleillement pour différent taux d'ombrage.

La figure (III.10) présente l'évolution de la puissance PV en fonction de taux d'ombrage du générateur PV pour différent types d'ensoleillement (faible, moyen et fort ensoleillement).

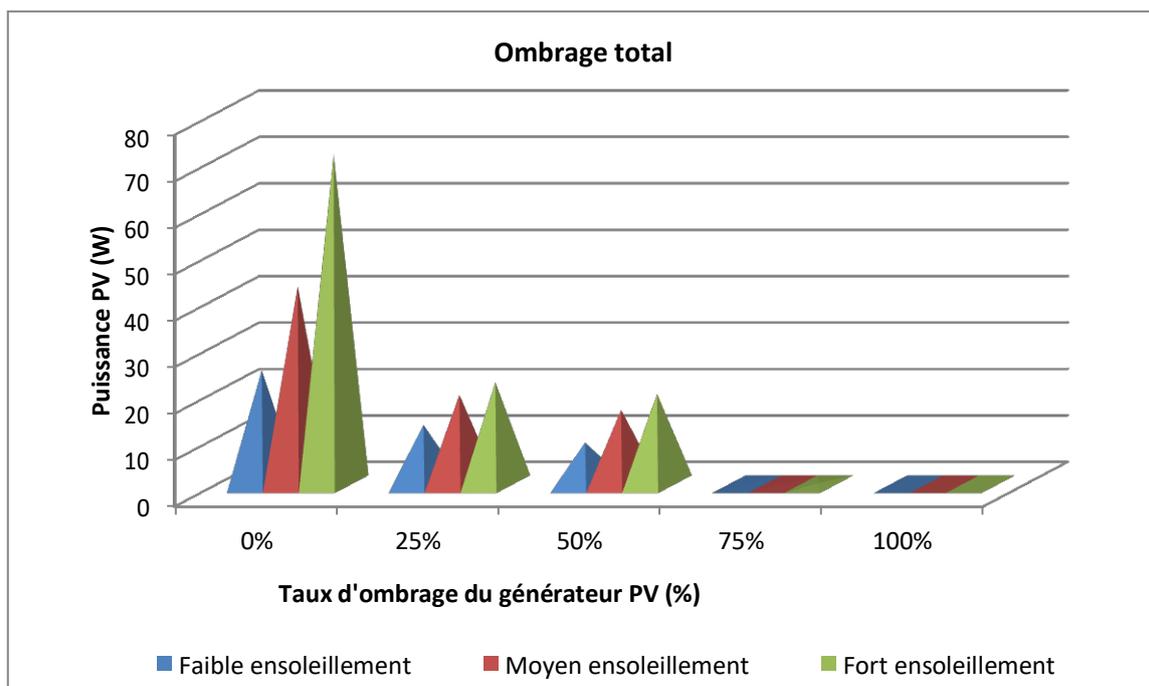
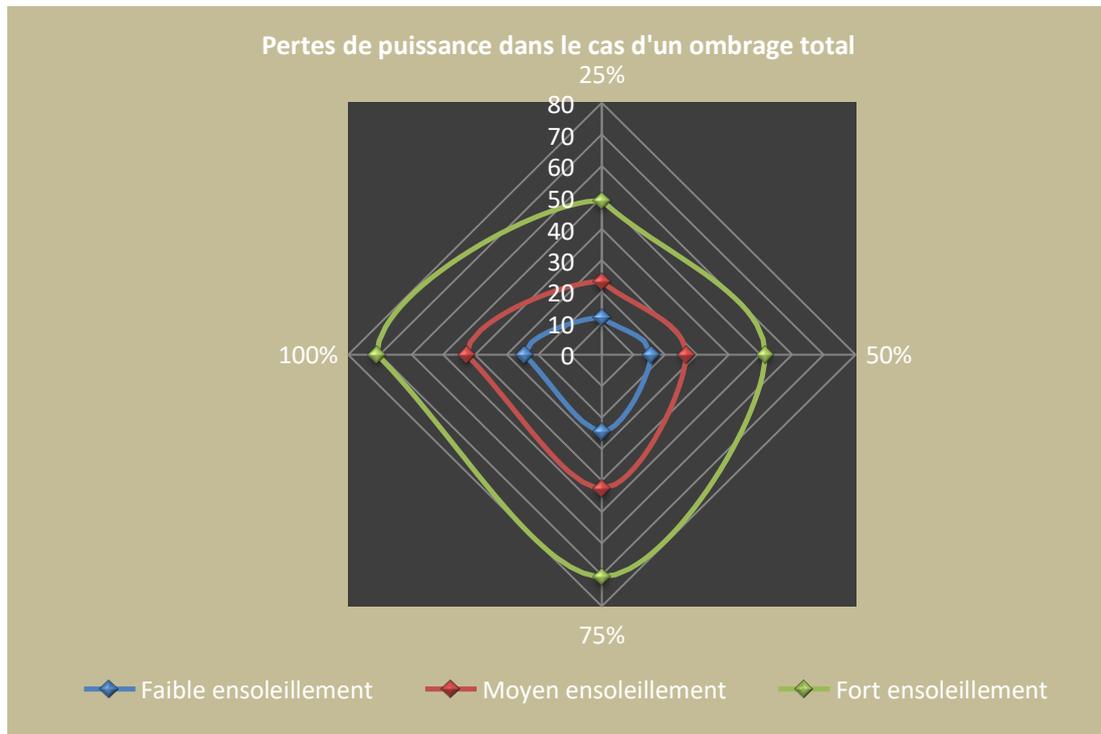


Figure (III.10): Evolution de la puissance PV en fonction de taux d'ombrage total.

Le diagramme ci-dessous, représente les pertes de puissance dans le cas d'ombrage totale pour faible, moyen et fort éclairage.



Figure(III.11): Perte de puissance dans le cas d'ombrage total.

La figure ci-dessous présente l'évolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.

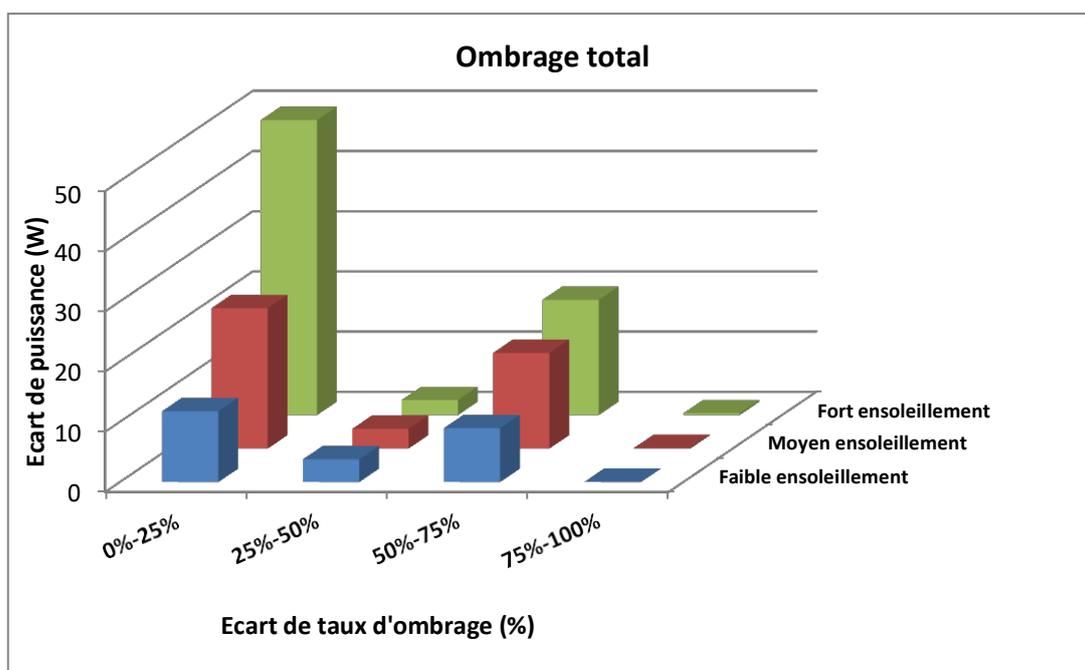


Figure (III.12): Evolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.

La figure (III.13) présente l'évolution de rendement du générateur en fonction de taux d'ombrage.

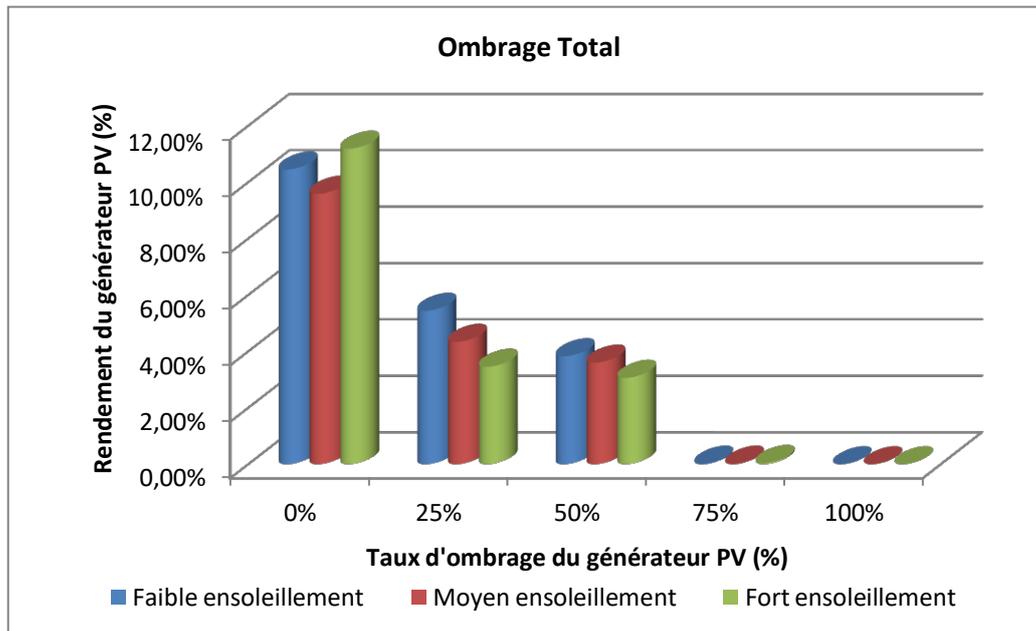


Figure (III.13): Evolution de rendement du générateur PV dans le cas d'ombrage total.

Les figures précédentes montrent que les performances de générateur PV (puissance et rendement) dépendent essentiellement du taux d'ombrage et ainsi du niveau d'éclairement reçu. Une ombre totale de l'ordre de 25% sur les cellules dans le cas de scénario 'A' peut réduire la production des modules de près de 70,4% (71 W à presque 21 Watt) par rapport à l'état sain du module. Cette diminution va se répercuter sur le rendement du générateur qui va chuter de plus d'un tiers (72% à 50% d'ombrage total). Quant à l'écart de puissance entre chaque paire des cas de la configuration « A » on remarque une alternance du niveau de puissance suite à l'ombrage alterné des branches en série du module (0%-25% et 50%-75% c'est la moitié des branches occultées « écart importante » par contre 25%-50% et 75%-100% c'est la totalité des branches qui est occultée « écart faible »).

III. 3. 2. Configuration «B» ombrage partiel :

Dans cette configuration, on s'intéresse à l'impact de l'ombrage partiel sur les modules afin de voir l'influence sur la puissance générée par les panneaux photovoltaïques.

Pour cette configuration on a placé un dispositif au-dessus d'un seul panneau afin d'empêcher les rayons directs du soleil d'atteindre la surface des cellules et cela pour différents niveaux d'ensoleillements (faible, moyen et fort ensoleillement), et selon le taux d'ombrage sur les modules photovoltaïques qui varie de (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

Pour cette expérience cinq cas seront étudiés comme le montre le tableau (III.3)

Cas	Description : taux l'ombrage partiel sur les panneaux photovoltaïques
Cas(0)	Sans ombrage état sien du module photovoltaïque.
Cas(a)	Ombrage partiel de 25% du module photovoltaïque.
Cas(b)	Ombrage partiel de 50% du module photovoltaïque.
Cas(c)	Ombrage partiel de 75% du module photovoltaïque.
Cas(d)	Ombrage partiel de 100% du module photovoltaïque.

Tableau (III.3) : Configuration (B)

(a)

(b)

Figure(III.14) : (a) cas (b) de la configuration « B », (b) cas (c) de la configuration « B »

Dans cette partie, l'expérience est faite avec différent taux d'ombrage partiel réalisé avec l'introduction d'un cache avec une distance précise par rapport aux cellules. En faisant varier le taux d'ombrage de (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) pour différents niveaux d'éclairéments.

La figure (III.15) représente l'évolution de la puissance PV en fonction de l'ensoleillement pour différent taux d'ombrage de type partiel.

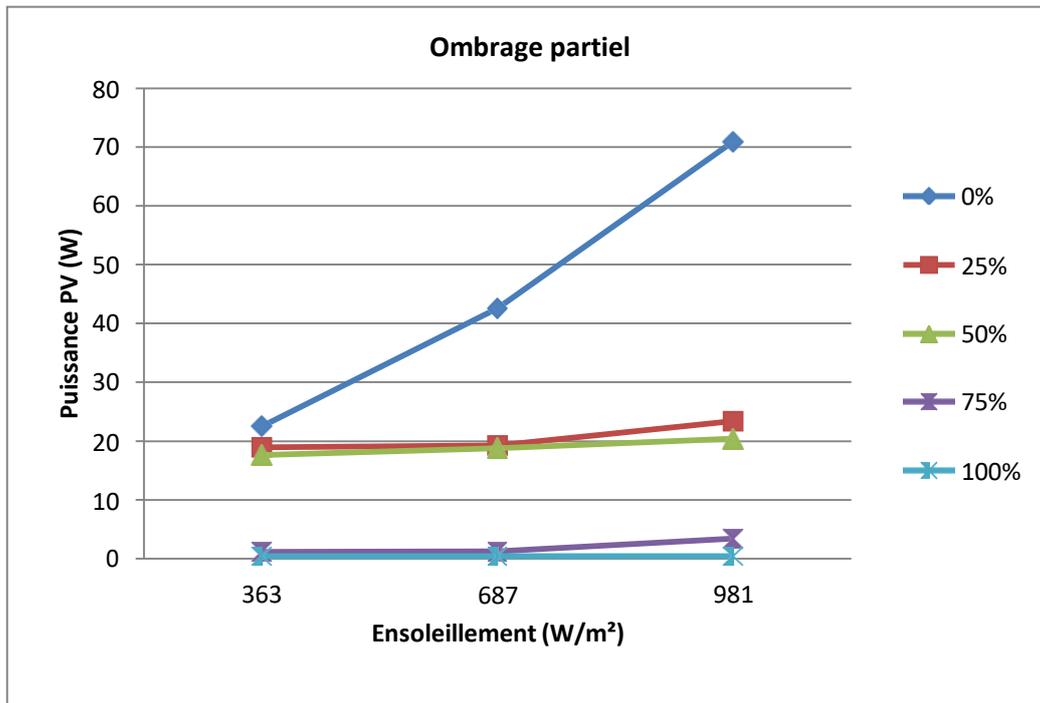


Figure (III.15): Evolution de la puissance en fonction de l'ensoleillement.

La figure (III.16) représente la puissance PV débitée en fonction de taux d'ombrage du générateur.

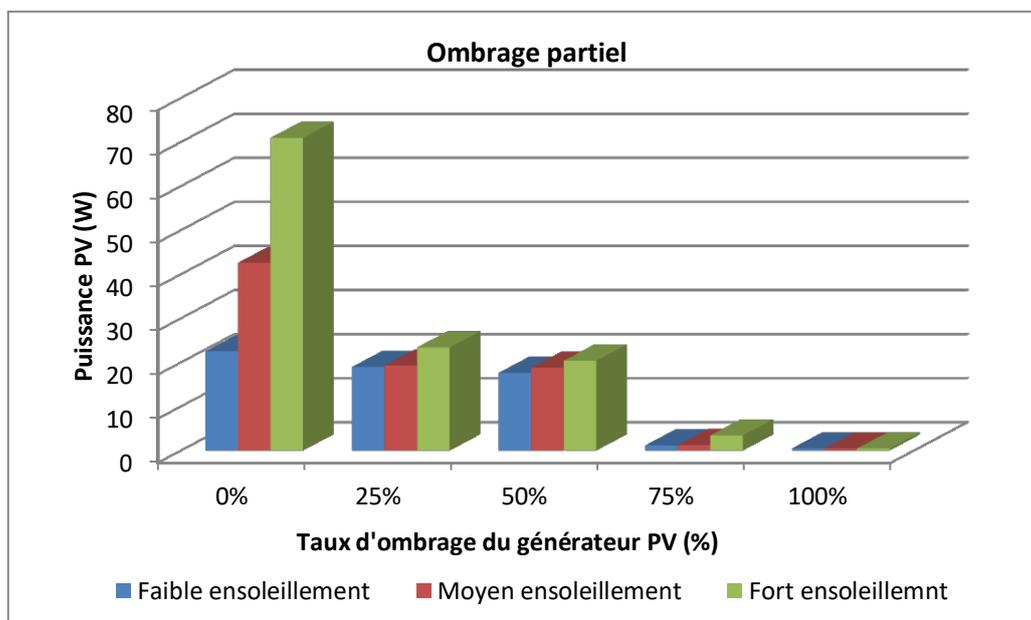


Figure (III.16): Evolution de la puissance PV en fonction de taux d'ombrage partiel.

La figure (III. 17) illustre les pertes de puissance de générateur en fonction de différent taux d'éclaircement.

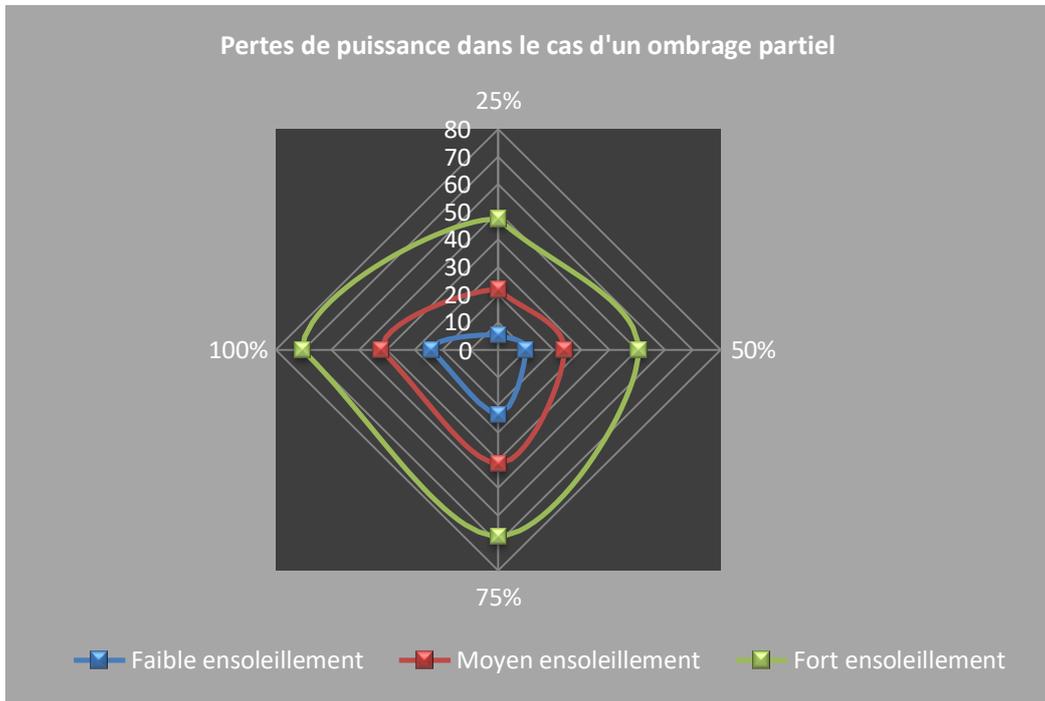


Figure (III.17): Perte de puissance dans le cas d'ombrage partiel.

La figure ci-dessous présente l'évolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.

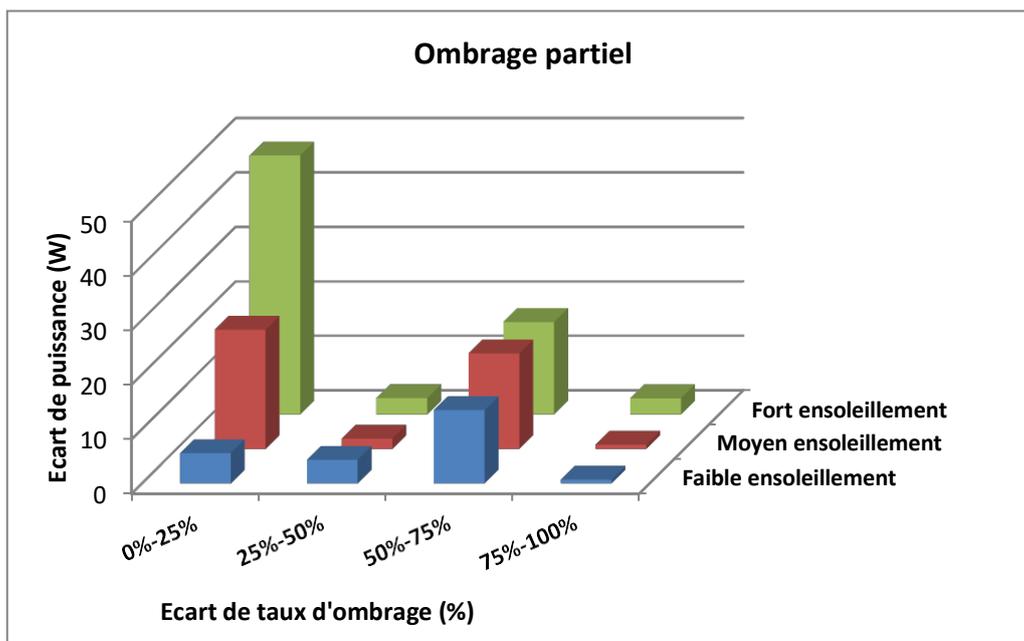


Figure (III.18): Evolution de l'écart de puissance en fonction de l'écart de taux d'ombrage.

La figure ci-après présente l'évolution de rendement de GPV dans le cas d'ombrage partiel en fonction de taux d'ombrage.

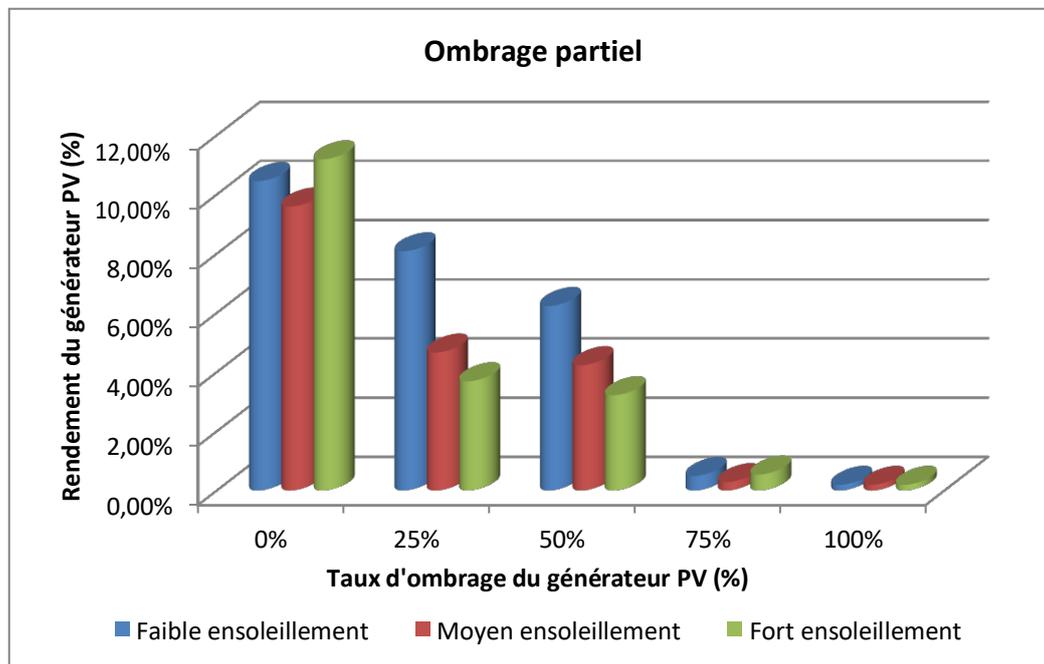


Figure (III.19): Evolution de rendement de générateur PV dans le cas d'ombrage partiel.

Les résultats obtenus montrent que la puissance dépend également des deux paramètres à savoir du taux d'éclairement et d'ombrage, cela montre que la cellule recevant le moins de flux de lumière se trouve à dissiper une partie d'énergie produite par le reste de l'ensemble. Plus l'ombrage est important, plus l'énergie dissipée est grande, d'où une puissance débitée faible.

Le constat général qui découle de cette étude montre que lors d'un ombrage partiel de 25%, près de deux tiers de la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque seront perdus (64,79% à fort ensoleillement). Par conséquent le rendement du générateur poursuivra cette détérioration proportionnellement au taux d'ombrage partiel présent (notons que le rendement au de la de 50% d'ombrage partiel n'est pas nul et présente une valeur faible au alentour de 1%).

☞ **Comparaison entre les deux configurations :**

Pour pouvoir interpréter le comportement du générateur vis-à-vis de ces phénomènes d'ombrage Une comparaison entre les deux configurations s'avère nécessaire.

Les figures suivantes montrent une comparaison des résultats obtenus à faible ensoleillement qui se manifestent de la même manière que les autres niveaux d'ensoleillement.

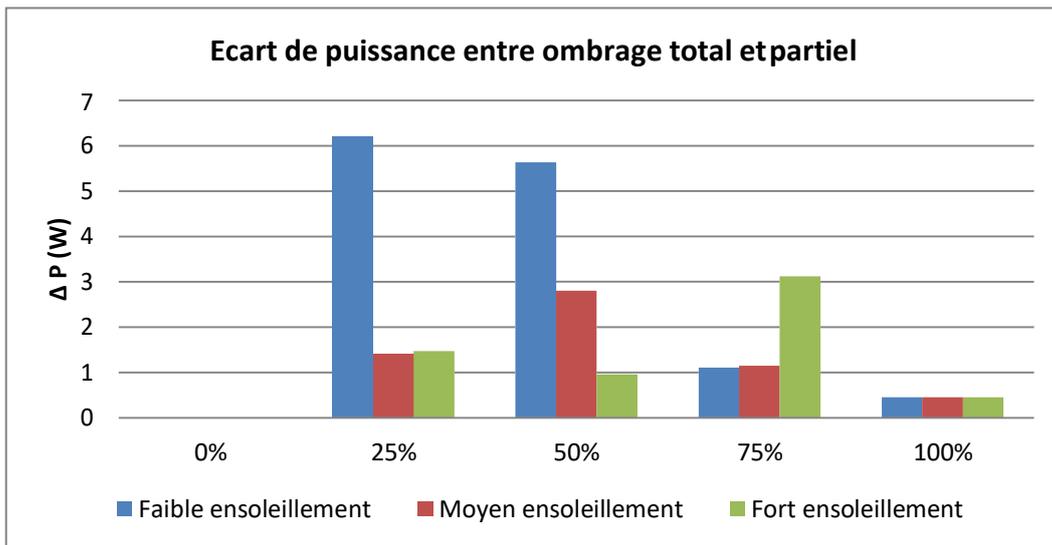


Figure (III.20): Ecart de puissance entre ombrage total et partiel.

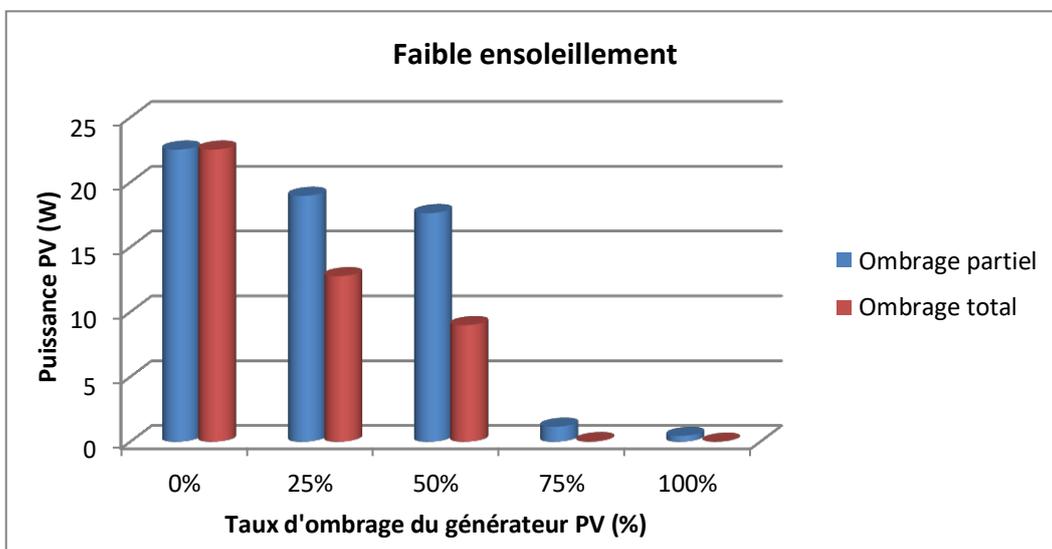


Figure (III.21): Puissance débitée entre l'ombrage total et partiel.

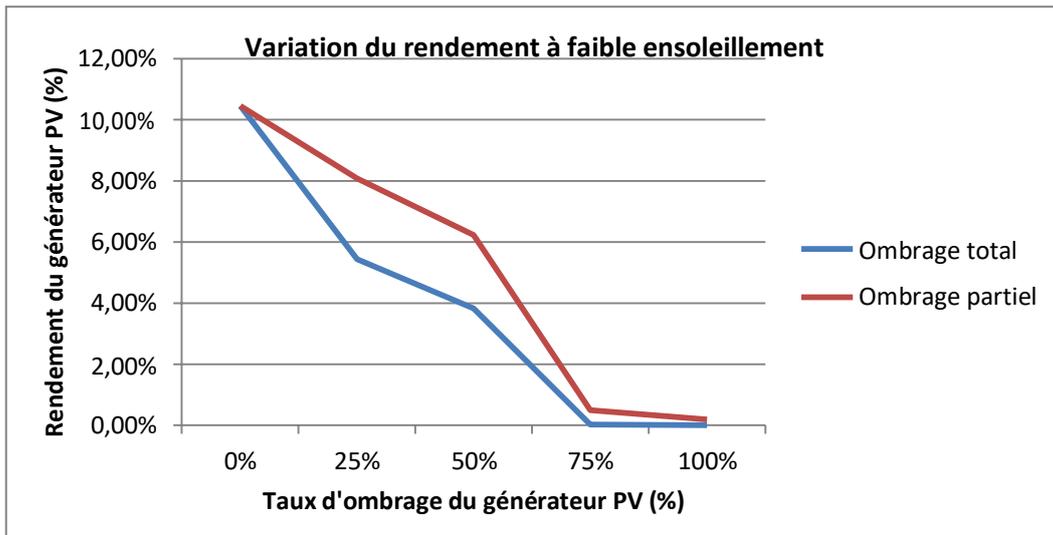


Figure (III.22): Variation du rendement à faible ensoleillement entre ombrage total et partiel

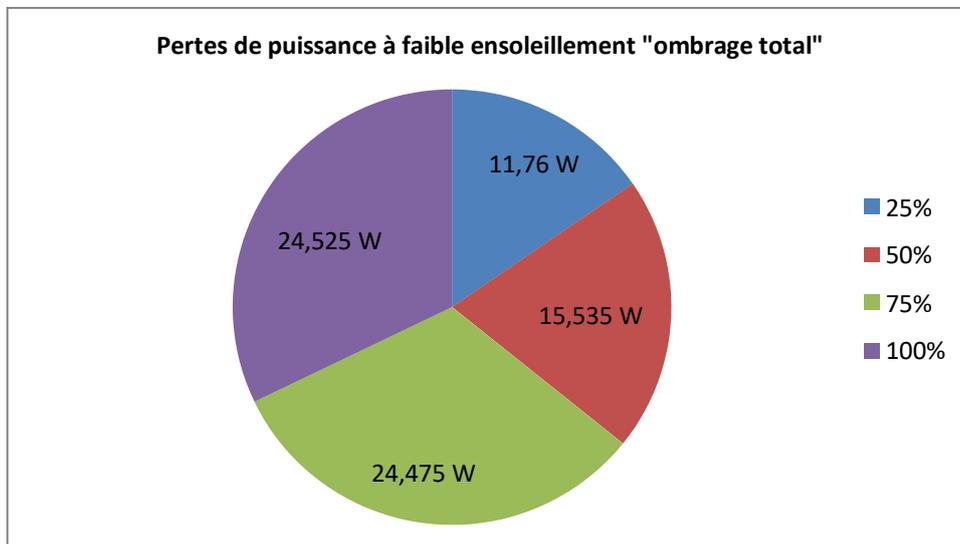


Figure (III.23): Pertes de puissance à faible ensoleillement pour ombrage total.

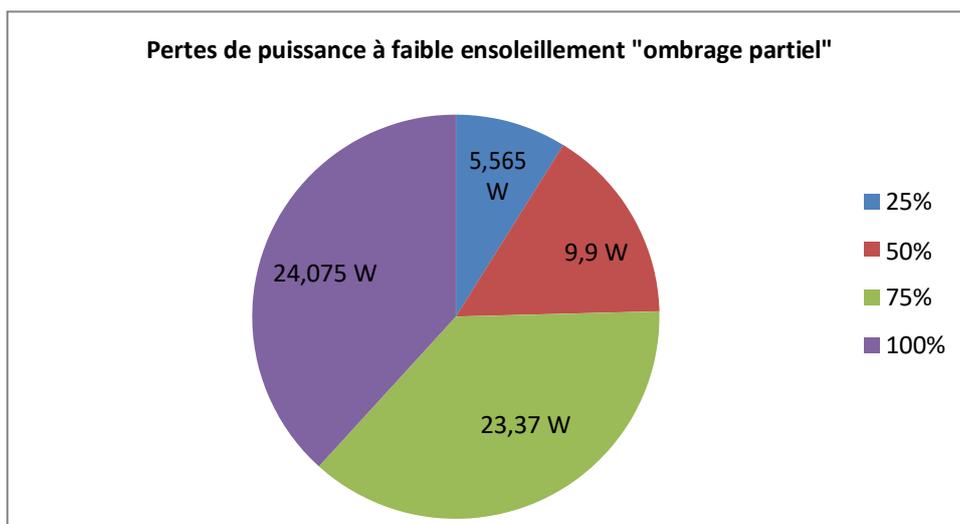


Figure (III.24): Pertes de puissance à faible ensoleillement pour ombrage partiel.

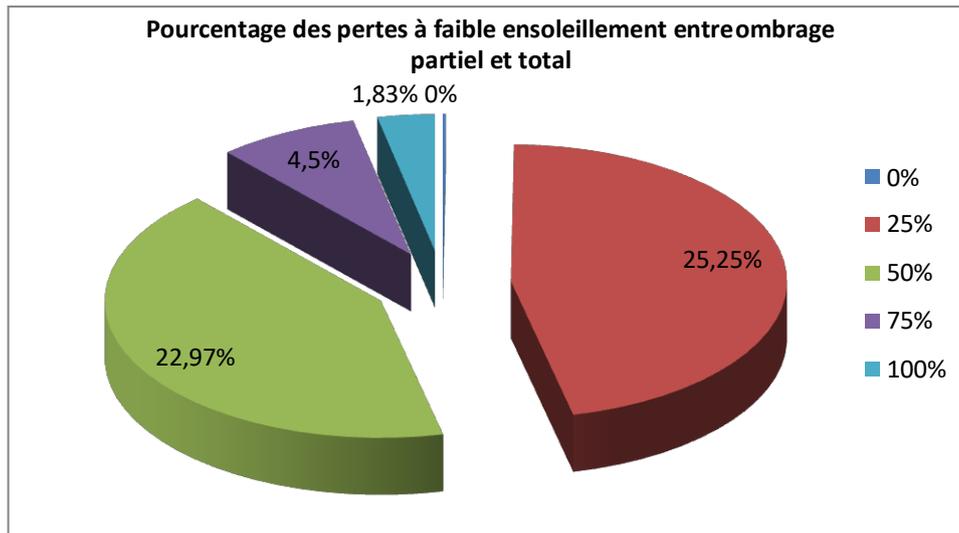


Figure (III.25): Pourcentage des pertes à faible ensoleillement entre ombrage partiel et total.

On constate que les performances du générateur PV se dégradent d'une manière plus importante en présence d'un ombrage total sur sa surface, cette dégradation se manifeste d'une manière remarquable par les écarts de puissance entre les deux configurations notamment à 25% et 50% d'ombrage ou l'écart peut atteindre les 6W. Autrement dit le GPV génère plus de puissance dans le cas d'ombrage partiel, cet effet est illustré par la forte baisse du rendement de GPV lorsqu'une ombre totale de même portion se présente (3% de diminution dans le rendement à 25% -50% d'ombrage). La puissance dissipée par le générateur PV dans le cas d'un ombrage total est plus importante, elle vaut ≈ 12 W à 25% et ≈ 16 W à 50%, tandis qu'elle vaut ≈ 6 W à 25% et ≈ 10 W à 50% en ombrage partiel. En présence d'un ombrage partiel au lieu de total, on pourra gagner plus de 25% de puissance à 25% d'ombrage et plus de 22% de puissance à 50% d'ombrage sur le générateur. Les résultats montrent que la différence des performances se manifeste clairement à 25% et 50% d'ombrage. Au-delà de 50% une détérioration complète des performances est recensée avec un léger avantage pour l'ombrage partiel cela peut se traduire par l'absence totale de la conversion d'énergie lumineuse transformée en énergie électrique dans le cas de l'ombrage total au bout de 75% d'ombrage sur le générateur.

III. 3. 3. Configuration «C» ombrage aléatoire :

Dans cette troisième partie de l'expérience et pour les mêmes types des modules cités auparavant, on s'intéresse à l'impacte de l'ombrage aléatoire sur des modules PV, et on va mettre l'accent sur deux facteurs qui peuvent causer ce type d'ombrage que se soit par salissures ou par feuilles d'arbres.

Pour cette expérience l'étude a été faite dans les mêmes conditions extérieures et pour des différents éclaircissements (faible, moyen, fort ensoleillement). et cela afin d'avoir l'impacte de l'ombrage aléatoire sur la puissance fournie par le panneau photovoltaïque.

Les figures (III.20) et (III.21) illustre l'ombrage avec salissure et par feuille d'arbre.



Figure (III.26) : Ombrage par salissure.



Figure (III.27) : Ombrage par feuilles d'arbre.

La figure (III.28) illustre l'évolution de la puissance de GPV en fonction des différents niveaux d'ensoleillement.

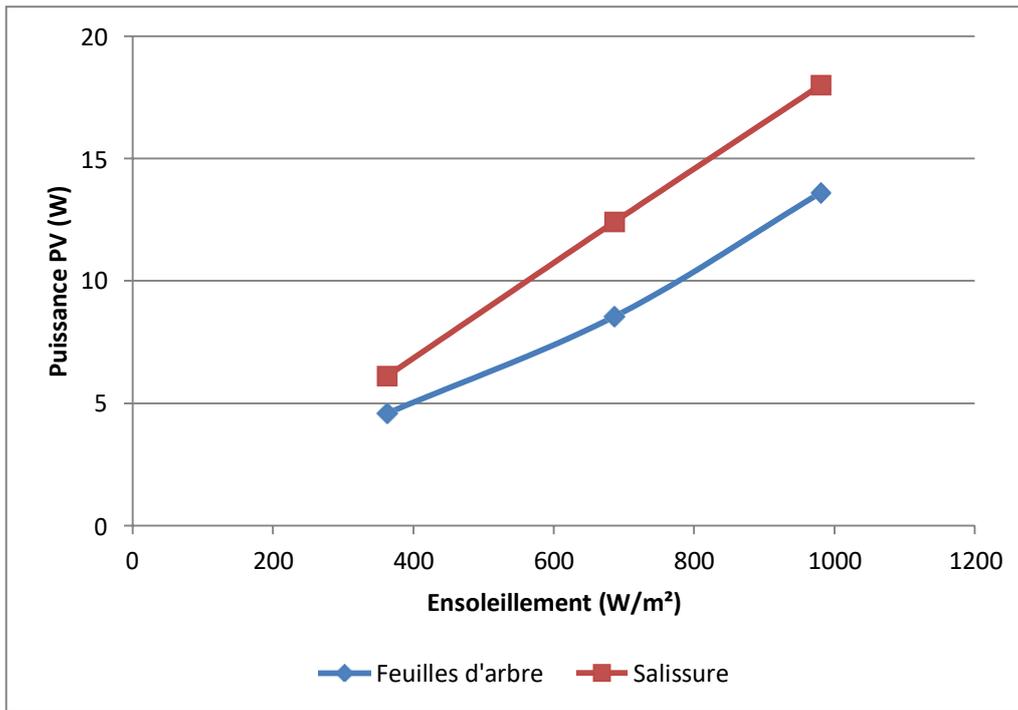


Figure (III.28): Evolution de la puissance dans le cas de présence d'ombrage aléatoire.

La figure (III.29) illustre l'écart de puissance de GPV en fonction des différents niveaux d'ensoleillement.

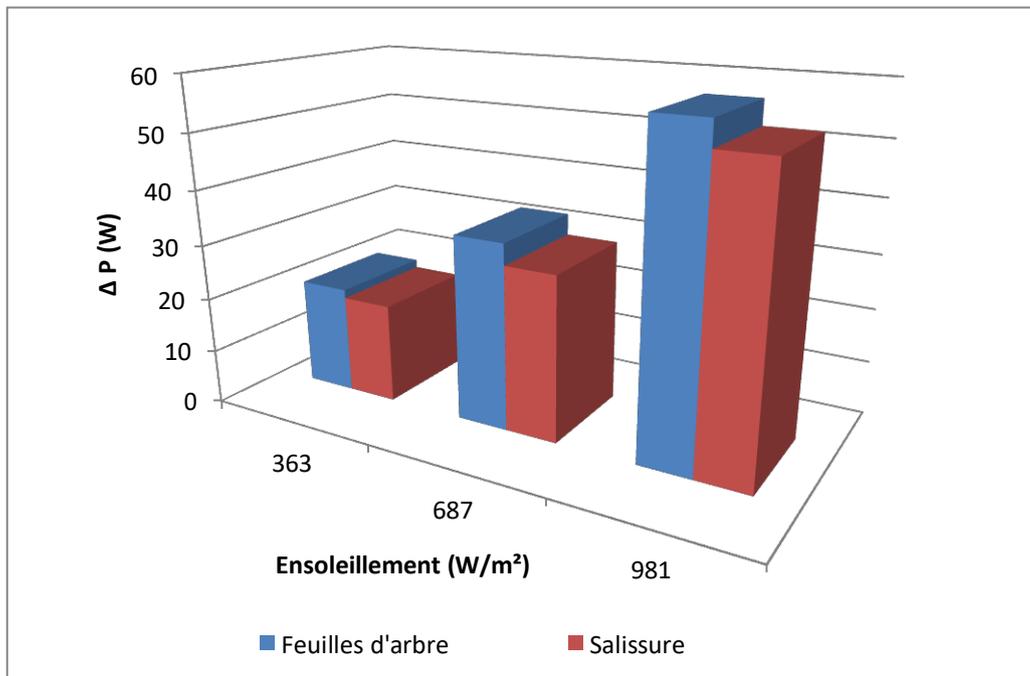


Figure (III.29) : Ecart de puissance selon le niveau d'ensoleillement.

La figure (III.30) présente le rendement de panneau en présence d'ombrage aléatoire pour différents niveaux d'éclairement.

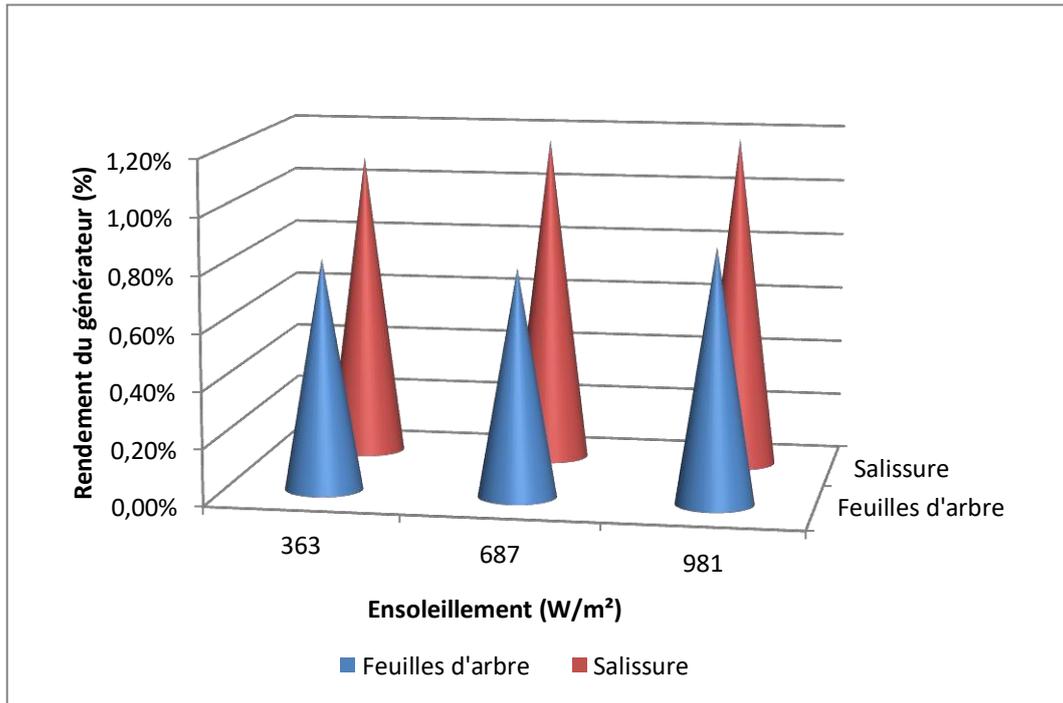


Figure (III.30): Rendement du générateur PV.

La figure (III.31) illustre le rendement de panneau en état sain et en présence d'ombrage aléatoire pour différents niveaux d'éclairement.

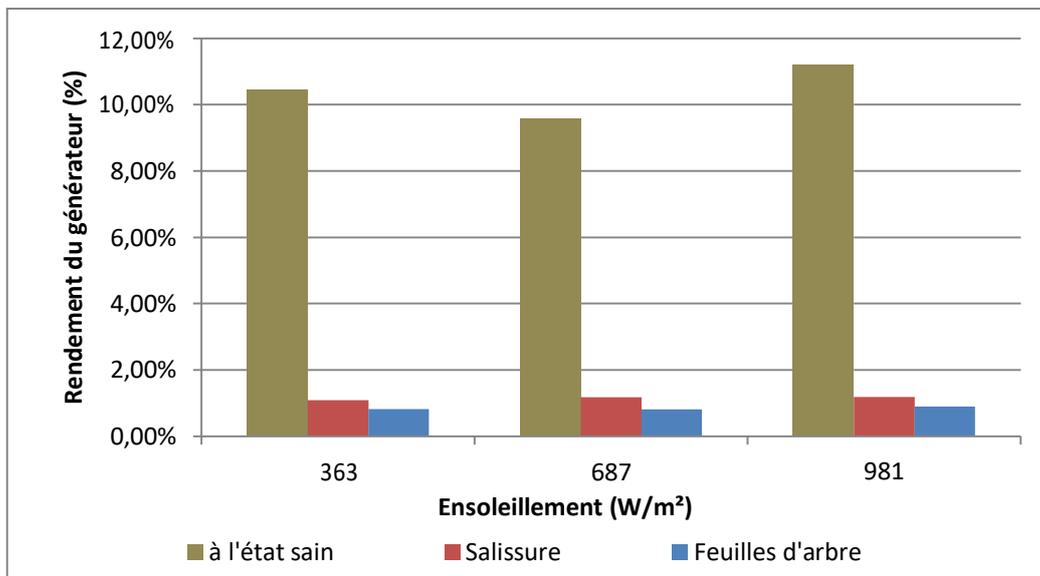


Figure (III.31): Rendement de GPV pour les différents états.

La figure (III.32) illustre le pourcentage de la puissance débitée par le panneau en état sain et en présence d'ombrage aléatoire pour différents niveaux d'ensoleillement.

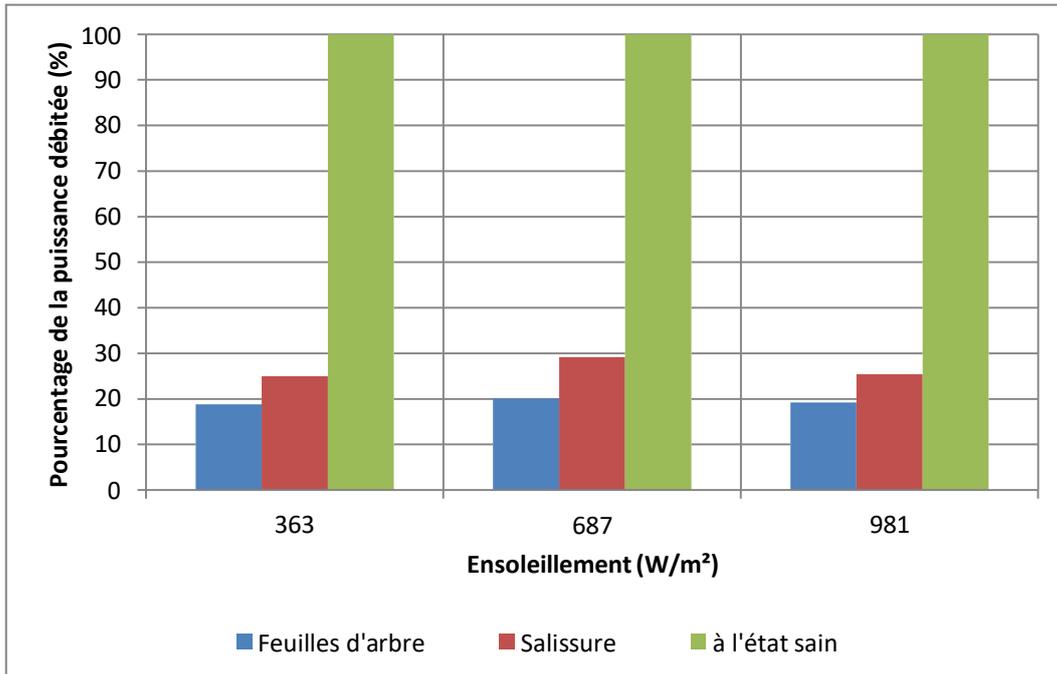


Figure (III.32): Pourcentage de la puissance débitée en présence d'ombrage aléatoire.

La figure (III.33) présente le rendement de GPV pour les cas d'ombrage total et aléatoire pour différents niveaux d'éclairement.

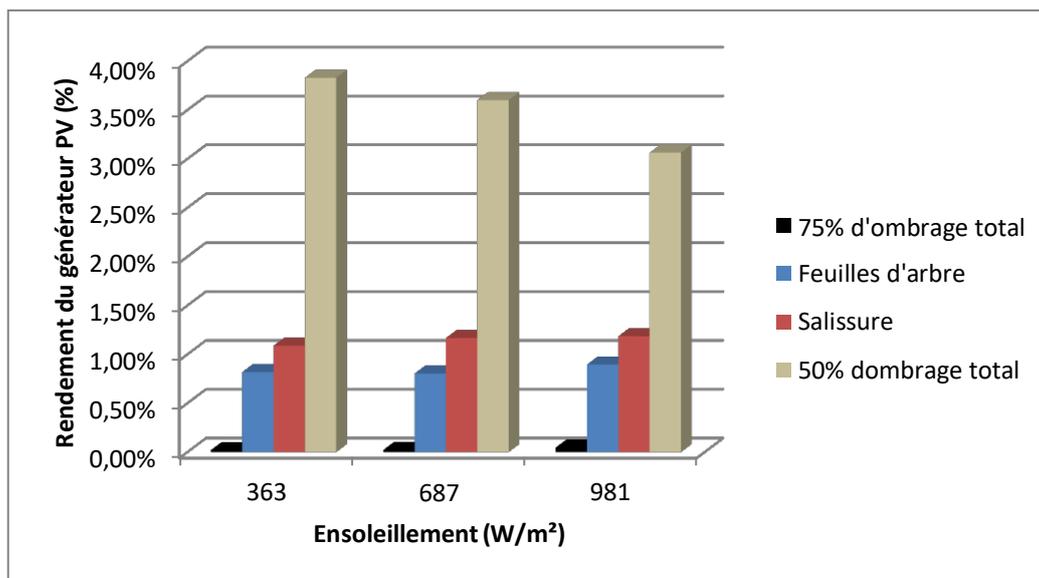


Figure (III.33): Rendement de GPV en présence d'ombrage (total / aléatoire).

La figure (III.34) présente le rendement de GPV pour les cas d'ombrage partiel et aléatoire pour différents niveaux d'éclairement.

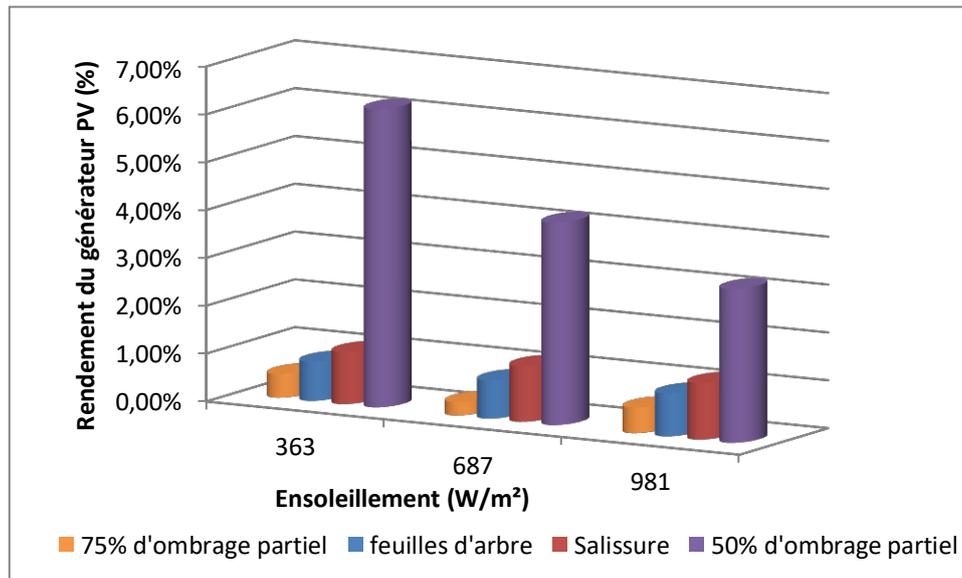


Figure (III.34): Rendement de GPV en présence d'ombrage (partiel / aléatoire).

Malheureusement beaucoup des éléments peuvent influencer sur le rendement et l'efficacité des panneaux photovoltaïques. L'exposition des panneaux photovoltaïques à l'air ouvert les rend sensible aux perturbations extérieures telles que le taux d'éclairement, la température et toute fois les phénomènes naturels dont on peut citer le vent de sable et cela provoque l'accumulation de particules de sable sur la surface des modules, et toutes les impuretés qui peuvent couvrir la surface des panneaux (feuilles d'arbres), et cela engendre une réduction des performances électriques et de perte importante de puissance.

- Dans le cas de notre expérience le taux des salissures est supérieure à celui des feuilles d'arbres, malgré ceci les résultats obtenus montrent que l'influence des feuilles d'arbre sur le générateur est plus importante que celle des salissures.

La puissance générée dans le cas d'ombrage causé par les feuilles d'arbre est faible par rapport à celle des salissures comme illustrent les figures (III.28), (III.29).

Le rendement des panneaux photovoltaïques dans le cas d'ombrage aléatoire (salissure ou par les feuilles d'arbre) est très faible et varie légèrement en fonction de l'éclairement, et il dépend essentiellement du taux des salissures et des impuretés qui occupent la surface de module PV.

Le rendement de panneaux soumis à un ombrage aléatoire est trop faible et il représente presque 10% de celui en état sain (exposé au soleil). De plus la puissance débitée ne dépasse pas une marge de 30% par rapport à celle délivrée à l'état sain. A partir des résultats de notre expérience, on constate que le rendement obtenu dans le cas d'ombrage aléatoire représente près de 67% d'ombrage total, tandis qu'il représente plus 74%, d'ombrage partiel avec une préférence d'avoir une ombre par salissure que avec feuilles d'arbre.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a effectué une étude expérimentale sur l'impacte d'ombrage sur le panneau photovoltaïque de type SUNTCHE STP058B-12/BEA, pour différents états, sain, ombragé (25%, 50%, 75%, 100%, feuilles d'arbre et salissures) et selon les différents niveaux d'ensoleillements. Dans un premier lieu nous avons effectué une étude sur un panneau sain afin de déterminer le comportement et les caractéristiques électriques de ce type de panneau.

Le but de cette expérience est de voir l'influence de l'impacte d'ombrage sur le rendement et la puissance débitée du générateur photovoltaïque.

Le courant circulant dans l'ensemble des cellules connectées en série est limité par le courant générée par la cellule la moins performante ou la moins éclairée, ce qui traduit par la suite par une dissipation importante de la puissance au sein du générateur photovoltaïque selon les degrés d'ombrage (relativement de partiel vers total).

Si l'ombrage occulte horizontalement quelques cellules, l'impact peut varier selon plusieurs critères à savoir : le taux d'ombrage ; la nature de l'ombrage, les conditions climatiques.....



Conclusion générale



Conclusion générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire et qui a été réalisé au laboratoire de génie électrique au sein du pôle universitaire de Bouira, cela a pour but de déterminer les caractéristiques et d'analyser le comportement et les performances d'un système photovoltaïque. Autrement dit ; évaluer la portion de puissance délivrée et cela pour différentes conditions météorologiques (plusieurs niveaux d'ensoleillement) et de fonctionnement (à l'état sain puis soumis à différents défauts telle que l'ombrage total et partiel et aléatoire).

Pour accroître la viabilité économique des systèmes photovoltaïques et pour une meilleure intégration de ce système, le problème de l'ombre sur les générateurs photovoltaïques devrait être pris en considération. La plupart des modules sont désormais équipés de diodes de by-pass et anti retour pour réduire au minimum l'effet de l'ombre (et à protéger les cellules), mais ces effets sont significatifs.

Nous avons entamé ce mémoire par des généralités sur les énergies renouvelables qui se présente comme une solution idéal afin de diminué le réchauffement climatique qui est un problème majeur sur l'écosystème de la planète terre. Dans cette partie initiale, nous avons donnée une description générale sur l'énergie renouvelable, le concept de l'énergie solaire photovoltaïque, les caractéristiques des cellules et les principes technologies des cellules solaire.

Le deuxième chapitre nous avons met l'accent sur les différents problèmes et défauts rencontrés dans les installations photovoltaïques, car dans la technologie photovoltaïque il est clair que les modules ne maintiennent pas obligatoirement leur performances initial au fur et à mesure de leurs fonctionnements. Si ce système photovoltaïque présente des avantages, il présente aussi quelques inconvénients .on notera par ses inconvénients sa sensibilités aux différents défauts et anomalies au cours de son fonctionnement se qui conduit par la suite à une baisse de la performance du système et voire à son indispensabilité total.

Le troisième chapitre, a été consacré de maitre en ouvre le système photovoltaïque à l'expérience et d'évaluer les performances du générateur sous l'effet d'ombrage total, partiel, les salissures et les feuilles d'arbres qui peuvent êtres des facteurs néfaste à la production des panneaux.

En effet, les données récoltées lors de notre expérience, ont mis en évidence le comportement dégradé du module PV lorsqu'il fonctionne dans des conditions d'ombrage.

Conclusion générale

Une telle repense est confirmée par la diminution des performances du module PV en fonction du niveau d'occultation.

L'ombrage est souvent inévitable car dans certain condition, on ne peut pas garantir une irradiation homogène sur la totalité de GPV. Dans cette configuration d'ombrage, les cellules qui ne reçoivent pas le même niveau d'ensoleillement, provoquant ainsi un déséquilibre important lors de la délivrance de puissance. Plus que l'ombrage occupe un espace ou une surface importante plus la puissance fournie est faible et cela pour les différents niveaux d'ensoleillements

L'ombrage impacte de manière fondamentale la production globale d'un système photovoltaïque. Son influence est difficile à modéliser car il dépend de nombreux paramètres tels que : La puissance instantanée du rayonnement solaire, le taux de masquage des cellules ombragées (% de la surface), La zone ombragée du module (influence des diodes by-pass), Le taux d'ombrage relatif (différence d'ensoleillement entre zone ombragée et exposée), De la configuration du champ photovoltaïque (arrangement série/parallèle),...

Pour ces raisons, il conviendra de choisir un endroit approprié pour l'installation des systèmes photovoltaïques où il y a, le moins d'ombrage possible. Il est préférable d'avoir 60% d'ombrage total et plus de 70% partiel que d'avoir un ombrage aléatoire.

En perspective à ce travail, on propose de réaliser une étude plus poussé sur l'influence d'autre facteur influent sur la production PV tel que l'humidité et la température des cellules.



Bibliographie



- [1] Bandou, Farida. Contribution à l'analyse des performances électriques et thermiques des modules photovoltaïques de différentes technologies. Thèse de doctorat. Electronique, Tizi-Ouzou, université de Tizi-Ouzou, 2016,135p.
- [2] PETIT,Pierre. Optimisation du Transfer d'énergie dans les systèmes photovoltaïques. Thèse de doctorat. Système photonique. Metz, université de Metz, 2011,230p.
- [3] Boukli-Hacene, Omar. Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique. Automatique production informatique, thèse de magister. Tlemcen, université ABOU Baker Belkaid-Tlemcen, 2011,171p.
- [4] Anne Labouret, Pascal Cumunel, Jean-Paul Braun, B FARAGGI. Cellules solaires. 5e éd. Dunod, Paris : ETSF.2010 ,129p.
- [5] Debili,Narimene. Étude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque. Thèse de magister, électronique, matériaux et nanoélectronique, Constantine, Université Constantine I ,2014/2015, 93p.
- [6] HELLAL, Kamelia. Modélisation d'une cellule photovoltaïque, étude comparative. Mémoire de magister. Machine électrique, Tizi-Ouzou, université de Tizi-Ouzou (l'UMMTO), 2012,106p.
- [7] Sylvain, Brigand. Installations solaires photovoltaïques. Paris , le moniteur, 2011, 280 p.
- [8] LAZARI, Lyes. MEBARKI, Nasser-eddine. Etude d'un système photovoltaïque. Master, énergies renouvelables, Bejaia, université A.MIRA de Bejaia, 2013/2014,105p.
- [9] Samuel, De Sousa. Ingénierie, synthèse et étude de chromophores organiques et organométalliques pour cellules solaires à colorant. Thèse de doctorat, Bordeaux, université de Bordeaux I, 2013,236p.
- [10] AL- HADDAD, Kamal, ph.D. Cours énergie photovoltaïque. Professeur et titulaire de la chaire de recherche du Canada.
- [11] JAMIL, Abdul Aziz. Solaire photovoltaïque, principe et applications, Institut national des. Sciences appliquées de Rouen, Juin 2014,33p. Saint Etienne du Rouvra.
- [12] BENSICI, Wafa. Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT. Électrotechnique industriel. Master. Ouargla, Université Kasdi Merbeh-Ouargla.2011/2012,69p.

- [13] BENSMAIL, Samia. Contribution à L'Optimisation Des Systèmes Photovoltaïques. Mémoire de Magister. Electrotechnique systèmes Electro-Energétique, Bejaia, Université A.MIRA-BEJAIA : 2011/2012,128p.
- [14] SEMASSOU-GUY, Clarence, Aide a la décision pour le choix de site et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du Benin. Mémoire de doctorat, Science Physique pour l'Ingénieur, Mécanique, Bordeaux, Université de Bordeaux I, 2011,224p.
- [15] PETIBON, Stéphane. Nouvelle architecture distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. Thèse de doctorat. Toulouse, université de Toulouse, 2009.157p.
- [16] BOUSSAID, Mohammed. Modélisation des phénomènes de vieillissement des modules photovoltaïques. Physique électronique et modélisation. Magister, Tlemcen, université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, 2012,89p.
- [17] IDIR, Zahir. ADRAR, Amazigh. Etude et simulation du comportement d'un générateur photovoltaïque en présence de problème de désadaptation, mémoire de master ,électronique, automatique, Bejaïa, université A.Mira- Bejaia,2016,78p.
- [18] ATEK, Mourad. Effets du taux d'ombrage sur les performances des cellules solaires à base de CIGS. Mémoire de Magister. Setif, université Ferhat Abas de Setif, 2013,89p.
- [19] El BASRI, Youssef. Architecture de puissance distribuée reconfigurable dédiée à l'optimisation de l'énergie photovoltaïque. Thèse de doctorat, composants et systèmes de gestion de l'énergie, Toulouse, université de Toulouse, 2013,173p.
- [20] BENI, Halouma. Contribution à la modélisation du problème de «Hot Spot» dans les modules solaires photovoltaïques occultés. Thèse de magister. Électronique option Instrumentation. Constantine, université Mentouri Constantine, 2008,99p.
- [21] Amara, Karima. Contribution à l'étude d'une conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension. Mémoire de magister. Electronique, microélectronique, Tizi-Ouzou, université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015,107p.
- [22] [www.Systemes photovoltaïques/IIS-Marconi-Galletti-Domodossola \(VB\).It](http://www.Systemes%20photovoltaïques/IIS-Marconi-Galletti-Domodossola%20(VB).It), consulté le 11/08/2018.

- [23] Belaout, Abdesslam. Etude et diagnostic des défauts fréquents aux systèmes photovoltaïques (PV) par emploi de la caractéristique courant-tension. Mémoire de magister, instrumentation, Setif, uneversité-Setif-1, 2014,127p.
- [24] Long, Bun. Détection et localisation de défauts pour un system PV. Mémoire pour l'obtention du doctorat, génie électrique, Grenoble, université de Grenoble, 2011,206p.
- [25] Khenfer, Riad. Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques. Thèse de doctorat, Sétif, université Ferhat Abas, 2015,126p.
- [26] ABABACAR, Ndiaye. Etude de dégradation et de fiabilité des modules photovoltaïques impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance. Thèse de doctorat. Energie renouvelable et systèmes électriques. Dakar, université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2016,181p.
- [27] <http://quelle> genre de panne d'anomalie ou d'accident se produit avec la production d'énergie solaire.JP. Consulté le 29/07/2018.
- [28] SAOUDI, Messaoud. SALHI, Massinissa. Etude et optimisation d'un système photovoltaïque. Mémoire de master. Electrotechnique, énergie renouvelables, Bejaia, université A.Mira de Bejaia, 2017,119p.
- [29] LAHLOU, Samir. Détection et localisation des défauts convertisseurs statiques dans un système photovoltaïque raccordé au réseau moyenne tension. Mémoire de master. Maintenance industrielle, génie électrique. Boumerdes, université M'Hamed Bougara, 2016,72p.
- [30] [www. fr.solarpedia.net](http://www.fr.solarpedia.net). consulté le 07/07/2018.
- [31] SADOK, Mohammed. Détermination des paramètres, performances et étude de la dégradation des modules photovoltaïques en milieu saharien. Thèse de doctorat. Science physique. Tlemcen, université Aboubakr Belkaid-Tlemcen, 2011,142p
- [32] Eco glasses énergie BLOC .consulté le 11/08/2018.
- [33] PUCHETTI, Angela, panneaux photovoltaïques à risque d'incendie. Tout ce qu'il ne t'on jamais dit, BUSINESS INSIDER, ITALIA.It.,<https://it.businessinsider.com>. Consulté le 29/07/2018
- [34] Testo SE & Co.KGaA, Poket-guide Thermodynamique, Lenzkirch,Allemagne.

[35] OULD SALEM, Mohamed. Analyse, modélisation et simulation des pertes dans un module photovoltaïque à base de silicium monocristallin. Mémoire de magister. Physique énergétique et matériaux, énergies renouvelables, Tlemcen, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2010,103p..

[36] KHOUMRI, Nassima. Dahmani, Hayet. Quelques aspects sur la bio systématique des apoidea dans les milieux agricoles et naturels dans les régions d'Alger er de Bouira. Mémoire de master. Science agronomie, -environnement et bio-indicateurs, Boumerdes, université M'hamed Bouguera Boumerdes,2016,99p.

[37] <https://www.frederiksen.eu> consulté le 01/08/2018

Référence des images :

[A] <https://www.energie-service.org> consulté le 07/05/2018

[B] <https://www.kyothem.com> consulté le 07/05/2018

[C] <https://www.eolupjv.wordpress.com> consulté le 07/05/2018

[D] <https://www.researchgate.net> consulté le 07/05/2018

[E] <https://www.energienature.fr> consulté le 07/05/2018



Annexe

Les formules utilisées :

L a formule de la puissance :

$$P = U * I$$

L a formule du rendement :

$$\eta = \frac{P}{E_s * S}$$

P= la puissance délivrer du panneau photovoltaïque en Watt

Es= ensoleillement W/m^2

S= la surface du panneau m^2

Les résultats d'ombrage total :

Date:18/07/2018	Heure: 08h30	Es=363 w/m ²	T= 30 c
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	2,75	8,92	24,53
25%	1,85	6,9	12,765
50%	1,55	5,8	8,99
75%	0,1	0,5	0,05
100%	0	0	0
1/3	0	0	0
2/3	0	0	0
Date:03/07/2018	Heure: 10h35	Es=687 w/m ²	T=31 c
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	3,55	12	42,6
25%	2,41	8	19,28
50%	2	8	16
75%	0,1	1	0,1
100%	0	0	0
1/3	0	0	0
2/3	0	0	0

Date:10/07/2018	Heure: 13h28	Es=982 w/m ²	T= 32c
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	4,3	16,5	70,95
25%	2,58	8,5	21,93
50%	2,4	8,1	19,44
75%	0,15	2	0,3
100%	0	0	0
1/3	0	0	0
2/3	0	0	0

Les résultats d'ombrage partiel :

Date:04/07/2018			
Heure: 08h40		Es=363 w/m ²	
T= 29 c			
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	2,75	8,92	24,53
25%	2,4	7,9	18,96
50%	2,15	6,8	14,62
75%	0,55	2,1	1,155
100%	0,25	1,8	0,45
1/3	0,55	2,1	1,155
2/3	0,2	1,5	0,3

Date:01/07/2018			
Heure: 10h40		Es=687 w/m ²	
T= 30 c			
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	3,55	12	42,6
25%	2,3	9	20,7
50%	2,35	8	18,8
75%	0,5	2,5	1,25
100%	0,3	1,5	0,45
1/3	0,31	1,8	0,558
2/3	0,25	1,2	0,3

Date:02/07/2018			
Heure: 12h50		Es=982 w/m ²	
T= 32c			
l'ombrage	Le courant (A)	La tension (V)	la puissance (W)
0%	4,3	16,5	70,95
25%	2,6	9	23,4
50%	2,55	8	20,4
75%	0,9	3,8	3,42
100%	0,3	1,5	0,45
1/3	0,4	2,1	0,84
2/3	0,35	2	0,7

Les résultats d'ombrage aléatoire :

Date:12/06/2018				
Heure	Le courant (A)	La tension (V)	La puissance (w)	Es
Avec feuilles d'arbre				
08 h 35	1,15	4	4,6	363
10 h 25	1,71	5	8,55	687
13 h 05	0,8	17	13,6	982
Avec salissures				
08 h 40	1,2	5,1	6,12	363
10 h 30	1,91	6,5	12,415	687
12 h 47	1	18	18	982

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحديد تأثير التظليل على سلوك وأداء النظام الكهروضوئي القائم على السيليسيوم ، وتظهر النتائج أن سلوك الخلايا الشمسية يتدهور عندما تعمل تحت ظروف التظليل. التيار المتداول في جميع الخلايا الموصولة في السلسلة محدود بالتيار المتولد بواسطة الخلية الأقل كفاءة أو الأقل ضوء ، والذي يترجم لاحقاً إلى ضياع كبير للطاقة لمولد الطاقة الضوئية) وفقاً للدرجات تظليل)

مردود الألواح الكهروضوئية في حالة التظليل العشوائي (الأوساخ أو أوراق الاشجار) منخفض جداً ومتغير قليلاً وفقاً لإضاءة ، ويعتمد بشكل أساسي على معدل التلوث والشوائب التي تحتل السطح.

وفقاً لنتائج التجربة ، من الأفضل أن يكون لديك وحدة مظلمة بنسبة 50٪ من التظليل العشوائي على الوحدة الكهروضوئية.

الكلمات مفتاحية: نظام ضوئي ، تظليل ، سليكون ، أداء.

Abstract

The main objective of this work is to determine the effect of the shading impact on the performance of a silicon-based photovoltaic system. The results obtained show that the module is degraded when it operates under shading conditions. The current flowing in all the cells connected in series is limited by the current generated by the least efficient cell or the least light, which subsequently translates into a significant dissipation of the power to the healthy photovoltaic generator according to degrees shading (relatively partial to total).

The yield of photovoltaic panels in the case of random shading (dirt or tree leaves) and very low and varied slightly depending on the illumination, and it mainly depends on the rate of soiling and impurities that occupies the surface PV module.

According to the results of the experiment, it is better to have a shaded module at 50 percent than having random shading on the photovoltaic module.

Keywords : photovoltaic système, shading, silicon, performance.

Resumé

L'objectif principal visé dans ce travail est de déterminer l'effet de l'impacte d'ombrage sur le comportement et les performances d'un système photovoltaïque a base de silicium.les résultats obtenues montrent que, le comportement du module est dégradé lorsqu'il fonctionne dans des conditions d'ombrage. Le courant circulant dans l'ensemble des cellules connectés en séries est limité par le courant générée par la cellule la moins performante ou la moins éclairée, ce qui traduit par la suite par une dissipation importante de la puissance au sain du générateur photovoltaïque selon les degrés d'ombrage (relativement de partiel vers total).

Le rendement des panneaux photovoltaïques dans le cas d'ombrage aléatoire (salissure ou par les feuilles d'arbre) et très faible et varié légèrement en fonction de l'éclairément, et il dépend essentiellement de taux des salissures et des impuretés qui occupe la surface de module PV.

D'après les résultats de l'expérience, il est préférable d'voire un module ombré à 50 pourcent que d'avoir un ombrage aléatoire sur le module photovoltaïque.

Mots-clés: système photovoltaïque, ombrage, silicium, performance.