

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénieur

Département : Électrotechnique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Électrotechnique.

Spécialité : Électrotechnique. Commande

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

L'effet de l'ombrage partiel sur la puissance produite
par les PV (panneaux photo voltaïque)

Présenté par :- Zroug Meriem.

-Bouaicha Khalida.

Encadrant : Benabda amina

Grade : MAB

Université BADJI MOKHTAR ANNABA

Jury de Soutenance :

OURICI AMEL	Professeur	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA Université	Président
CHINE ABDELGHANI	MAA	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Le plus grand merci s'adresse au bon Dieu, le tout puissant de nous avoir accordé le courage, la volonté, la patience et la santé pour accomplir ce travail.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à notre promotrice Madame **Benabda Amina** qui nous a soutenus tout au long de ce travail. Pour sa Compétence et disponibilité à tout instant et surtout ses orientations.

Nous remercions également **les membres de jury** d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous rendons grâce à tous **les enseignants du département d'électrotechnique**, qui nous ont suivis durant notre cursus, et tous ceux qui ont contribué, à ce que ce travail prenne forme.

Nous souhaitons également adresser nos remerciements à nos parents, à nos frères et sœurs, à nos amis et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de notre travail.

Dédicace

De projet fin d'étude est dédié à mes chers parents et, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre, à mes belles sœurs : *Abir, Doaa, Kadil, Bouthaina, Khalida* et mes frères *Youssef, Khaled*, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour le dévouement et les sacrifices dont vous avez fait toujours preuve à mon égard.

Zroug Meriem .

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

* A mes très chers parents *Naser Eddine et Zakia*, pour tous leurs sacrifices, tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.
Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

* A mes sœurs *Nour Kuda , Sblessam* pour leurs appuis et leur encouragement.

* A mon binôme *Meriem*.

* A le mari de ma sœur *Marwan* et ma grand-mère *Yamina*, a Ma deuxième mère et mon deuxième père *Sabah et Cherif*

* A Toute la famille *Bouaicha et Merdaci*

Bouaicha Khalida.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I L'état de l'art sur l'énergie photovoltaïque	
I.1.Introduction.....	3
I.2 Définition sur Énergie Solaire Photovoltaïque	4
I.3.Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque.....	4
I.4 Cellule solaire photovoltaïque.....	5
I.4.1 Les type de cellules photovoltaïques.....	5
I.4.1.1 La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin.....	6
I.4.1.2 La cellule photovoltaïque en silicium Poly cristallin.....	6
I.4.1.3 La cellule au silicium Amorphe.....	7
I.4.2. Les avantages et les inconvénients de chaque cellule	8
I.4.2.1.La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin.....	8
I.4.2.2 La cellule photovoltaïque en silicium poly cristallin.....	8
I.4.2.3 .La cellule au silicium amorphe.....	8
I.5 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque.....	8
I.5.1 Mode autonome.....	9
I.5.1.1 Système autonome avec stockage (batterie).	9
I.5.1.2 Système autonome sans stockage.....	10
I.5.2 Mode connecté aux réseaux.....	11
I.5.3 Mode connecté à un générateur électrogène.....	11
I.5.4 Mode hybride.....	12
I.6 Rayonnement solaire.....	13
I.6.1 Rayonnement direct.....	13
I.6.2 Rayonnement diffus.....	13
I.6.3 L'albédo.....	13
I.7 Les composants d'un système photovoltaïque.....	14
I.7.1 Les modules photovoltaïques.....	14
I.7.2 Les caractéristiques d'un module PV.....	14
I.7.2.1. La tension en circuit ouvert.....	14
I.7.2.2 Le courant de court-circuit.....	14
I.7.2.3 La puissance maximale.....	15
I.7.2.4 Le rendement.....	15
I.7.2.5 Facteur de puissance.....	15

Sommaire

I.8 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire Photovoltaïque	16
I.9 Conclusion.....	16

Chapitre II Modélisation de cellule photovoltaïque

II.1 Introduction.....	17
II.2 cellules photovoltaïques.....	17
II.2.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	18
II.2.2 Un matériau de base : le silicium.....	19
II.2.3 Les différents types de cellules photovoltaïques	20
II.3 Modèles mathématique d'une cellule solaire	21
II.3.1 Modèle a une diode	22
II.3.2 Caractéristique P-V et I-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m ² et 25°	23
II.4 Influence des paramètres météorologiques sur le fonctionnement du GPV	24
II.4.1 Influence de la température sur la cellule	24
II -4-1-1Caractéristique (I-V)	24
II-4-1-2 Caractéristique (P-V)	25
II-4-2 Influence de l'éclairement sur la cellule	25
II-4-2-1 Caractéristique (I-V)	25
II-4-2-2Caractéristique P(V)	26
II-5 L'ombrage	27
II-5-1-Définition d'ombrage	27
II-5-2 Phénomène d'ombrage sur les modules photovoltaïques	28
II-5-3 Solutions pour limiter l'impact des ombres sur les panneaux photovoltaïques.....	29
A/ Le type de panneau.....	29
B/ Les micro-onduleurs	30
C/ Le positionnement et le sens de pose des panneaux.....	31
II.6 Conclusion	32

Chapitre III Etude de l'étage d'adaptation

III.1 Introduction	33
III. 2 Principe de la recherche du point de puissance maximale(MPPT)	33
III. 3 GESTION DE LA MPPT	34
III .4 Commande MPTT	35
III.4.1 Principe de La commande MPPT	36

Sommaire

III.5 classifications d'algorithmes du suiveur de point maximum	37
III.5.1. Les méthodes indirectes	37
III.5.1.1. Méthode de tension de circuit ouvert du générateur PV	37
III.5.1.2. La méthode de court-circuit	38
III.5.2. Les méthodes directes	38
III.5.2.1. La méthode Perturbation & Observation (P&O)	39
III.5.2.2. Méthode de conductance incrémentielle	40
III. 5.2.3. Commande MPPT classique	42
III.6 Convertisseur continu- continu (Hacheur)	43
III.6.1 Types de convertisseurs	43
III.6.1.1 Hacheur dévolteur ou abaisseur (Buck)	43
III.6.1.2 Hacheur survolteur ou élévateur (booste)	44
III.6.1.3 Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-Booste)	44
III.7 Modèle mathématique équivalent	44
III.8 Conclusion	46

Chapitre IV Simulation et résultat

IV .1 Introduction	47
IV.2 Partie pratique	47
IV.2.1. Description de l'installation	47
IV.3 Partie simulation	49
IV.3 .1 Etude de notre système sans effet ombrage	49
IV.3 .2 étude sous effet ombrage	51
IV.3 .3 Implémentation de la commande MPPT	53
IV.4 Conclusion	55
Conclusion générale :	56

Liste des figures

Chapitre I L'état de l'art sur l'énergie photovoltaïque

Figure (I.1): Image du soleil.....	3
Figure (I.2) : Système photovoltaïque.....	4
Figure (I. 3):formes des cellules solaires.....	5
Figure (I. 4):Cellules monocristallines.....	6
Figure (I. 5):Cellules Poly cristallines.....	7
Figure (I.6):Cellule Photovoltaïque amorphe.....	7
Figure (I.7) : Présentation générale d'un système photovoltaïque autonome.	9
Figure(I.8) : Système autonome avec stockage (batterie).....	10
Figure (I.9) : Système autonome sans stockage.....	10
Figure (I.10) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	11
Figure (I.11) : Système photovoltaïque raccordé à un générateur électrogène.....	12
Figure (I.12) : Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque.....	12
Figure(I.13):Vue schématique des différents types de rayonnements.....	12
Figure(I.14): Structure d'un module photovoltaïque.....	14

Chapitre II Modélisation de cellule photovoltaïque

Figure(II.1) : cellules solaires.....	17
Figure(II.2) : le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	18
Figure(II.3) : les cellules photovoltaïques sen silicium.....	19
Figure(II.4): Schéma du circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.....	21
Figure (II.5) : caractéristique I-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m ² et 25° C.....	23
Figure (II.6) : caractéristique P-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m ² et 25° C.....	23
Figure (II .7) : Caractéristique I(V) pour différentes températures (G=1000W/m ²).....	24
Figure (II.8) : caractéristique P(V) pour différentes températures (G=1000W/m ²).....	25
Figure (II. 9) : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).....	26
Figure (II. 10) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).....	27
Figure (II.11) : Caractéristique I –V d'une cellule PV.....	28
Figure (II. 12) : Caractéristiques des cellules PV pour un courant donné Ilmen présence d'ombrage.....	29
Figure (II.13) : Certains types des panneaux.....	30
Figure (II.14) : schéma installation de micro onduleur.....	30
Figure (II .15) : micro onduleur IQ7.....	31
Figure (II.16) : inclination des panneaux solaires.....	31

Liste des figures

Chapitre III Etude de l'étage d'adaptation

Figure (III.1) : Schéma de principe du convertisseur MPPT.....	34
Figure (III.2) : recherche et recouvrement du point de puissance maximal.....	35
Figure (III.3) : Courbes de I-V et de puissance de sortie pour un module photovoltaïque.....	36
Figure (III.4) :Schéma de converge vers le PPM par P&O.....	39
Figure (III.5) : Algorithme type de la méthode P&O.....	40
Figure (III.6) : Organigramme de la méthode conductance incrémentielle.....	41
Figure (III.7) : Schéma fonctionnel de la commande MPPT classique.....	42
Figure (III.8) : Hacheur dévolteur ou abaisseur.....	43
Figure (III.9) : Hacheur survolteur ou élévateur.....	44
Figure (III.10) : Hacheur abaisseur-élévateur.....	44
Figure (III.12) : Schéma équivalent du hacheur survolteur quand $t \in [0, \alpha.TS]$	45
Figure (III.13) : équivalent d'un hacheur survolteur lorsque $t \in [\alpha. TS, TS]$	45

Chapitre IV Simulation et résultat

Figure (IV .1) :Caractéristiques (I-V) sous l'influence de l'ombre partielle.....	48
Figure (IV.2) : caractéristiques (p-V) sous l'influence de l'ombre partielle.....	49
Figure (IV.3) : Schéma bloc de GPV sans effet ombrage.....	49
Figure (IV.4) : Caractéristiques (I-V) Sans effet ombrage.....	50
Figure(IV.5) : Caractéristiques (p-V) Sans effet ombrage.....	50
Figure (IV.6) : Schéma bloc de deux modules en série sous l'effet d'ombrage.....	51
Figure (IV.7) : caractéristique (P.V) d un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.....	52
Figure(IV.8) : caractéristique (I.V) d un générateur photovoltaïque sous l'effet d'ombrage.....	52
Figure (IV.19) : Schéma bloc du système PV adapté par la commande Mppt (perturbation et observation).....	53
Figure(IV.10) : la puissance délivrée par le PV commande par P&O.....	54
Figure (IV.11) : la tension de sortie commandée par P&O.....	54

Liste des tableaux

Tableaux(II.1) : Les différents types de cellules photovoltaïques.....	20
Tableaux(IV.1) : caractéristique des panneaux.....	48

Résumé

Résumé

Notre travail est basé sur l'effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque (PV) et son impact sur ses différentes caractéristiques. Nous avons choisi de nous pencher sur cette question en utilisant l'environnement de simulation SIMULINK pour étudier et simuler cet effet sur les performances du système PV.

Abstract

Our work is based on the effect of shading on a photovoltaic (PV) system and its impact on its different characteristics. We chose to address this question by using the SIMULINK simulation environment to study and simulate this effect on the performance of the PV system.

ملخص

يعتمد عملنا على تأثير التظليل على النظام الكهروضوئي وتأثيره على خصائصه المختلفة. لقد اخترنا معالجة هذا السؤال باستخدام بيئة محاكاة **SIMULINK** لدراسة ومحاكاة هذا التأثير على أداء النظام الكهروضوئي.

Introduction générale

Les énergies fossiles, bien qu'ayant longtemps été la principale source d'énergie mondiale, ont des effets néfastes sur l'environnement, tels que l'augmentation de la pollution atmosphérique, ainsi que le risque d'épuisement des réserves.

Pour répondre à ces défis, la science s'est tournée vers les énergies renouvelables, telles que l'énergie photovoltaïque (PV), qui convertit directement le rayonnement solaire en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques. Cette forme d'énergie renouvelable offre de nombreux avantages, notamment son abondance, sa durabilité et son impact réduit sur l'environnement par rapport aux énergies fossiles.

Actuellement, beaucoup de recherche sont effectuées sur les cellules (ou panneaux) et les systèmes PV qui exploitent cette énergie. L'optimisation de la puissance fournie par les panneaux photovoltaïques (PV) et la gestion de l'ombrage sont des défis cruciaux dans le domaine des systèmes PV. Voici une brève explication de ces deux problématiques :

1. Optimisation de la puissance fournie par les panneaux PV : Les chercheurs se penchent sur différentes méthodes pour maximiser le rendement des panneaux PV. Cela inclut l'amélioration des matériaux utilisés dans les cellules PV pour augmenter leur efficacité de conversion, l'optimisation des conceptions de panneaux pour une meilleure capture de la lumière solaire, et le développement de techniques de suivi solaire pour ajuster la position des panneaux afin de maximiser leur exposition au soleil tout au long de la journée.

2. Gestion de l'ombrage des panneaux PV : L'ombrage peut avoir un impact significatif sur les performances des systèmes PV en réduisant la quantité d'énergie solaire captée par les panneaux. Les chercheurs travaillent sur des solutions pour minimiser les effets de l'ombrage, notamment en optimisant la disposition des panneaux pour éviter les zones d'ombrage, en développant des algorithmes de suivi solaire adaptatifs pour contourner les obstacles et en utilisant des techniques de by-pass ou de diode pour réduire les pertes causées par l'ombrage partiel.

Nous avons scindé notre mémoire en 04 chapitres. Le premier et deuxième chapitre donne des notions sur l'énergie solaire et ces caractéristiques et explique l'effet photovoltaïque on donnant une idée général sur les systèmes photovoltaïques. En présentant le générateur photovoltaïque et le principe de la conversion photovoltaïque, ensuite la modélisation du module photovoltaïque et les caractéristiques du générateur photovoltaïque, l'Influence de la condition climatique, comme nous avons abordé aussi les différents types d'ombrage.

Introduction générale

Dans le troisième chapitre, on a présenté une étude théorique de plusieurs méthodes pour suivre le point de la puissance maximal. Ainsi on a étudié les différents types des convertisseurs statiques (DC-DC) et leur modélisation, on basant sur le convertisseur (DC-DC) survolteur (Boost) convenable à notre projet. Dans le quatrième chapitre, a été consacré aux présentations des résultats de la simulation du système PV. Nous avons utilisé le logiciel Matlab. On terminera notre mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude dans sa partie théorique et de simulation.

Chapitre I

L'état de l'art sur l'énergie photovoltaïque

I.1.Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques et photovoltaïques.

Les sources d'énergie issues indirectement de l'énergie solaire sont notamment l'énergie hydraulique, dérivée de l'énergie cinétique de l'eau dont le cycle dépend de l'énergie thermique du Soleil ; l'énergie éolienne, provenant de l'énergie cinétique du vent, lui-même lié à l'échauffement et à l'évaporation de l'eau générés par le Soleil, la rotation de la Terre et la force de Coriolis ; l'énergie hydrolenne et l'énergie des vagues, liées aux mouvements des océans et des cours d'eau ; le bois énergie et l'énergie de la biomasse ainsi que la géothermie de très basse température, provenant des couches superficielles du sol réchauffées par le Soleil.

L'énergie solaire est ainsi l'une des principales formes d'énergies renouvelables. On peut ajouter, à des échelles de temps plus longues, les combustibles fossiles, provenant de matières organiques créées par photosynthèse (charbon, pétrole, gaz naturel...) auxquelles s'ajoute l'énergie biochimique de la matière organique vivante.

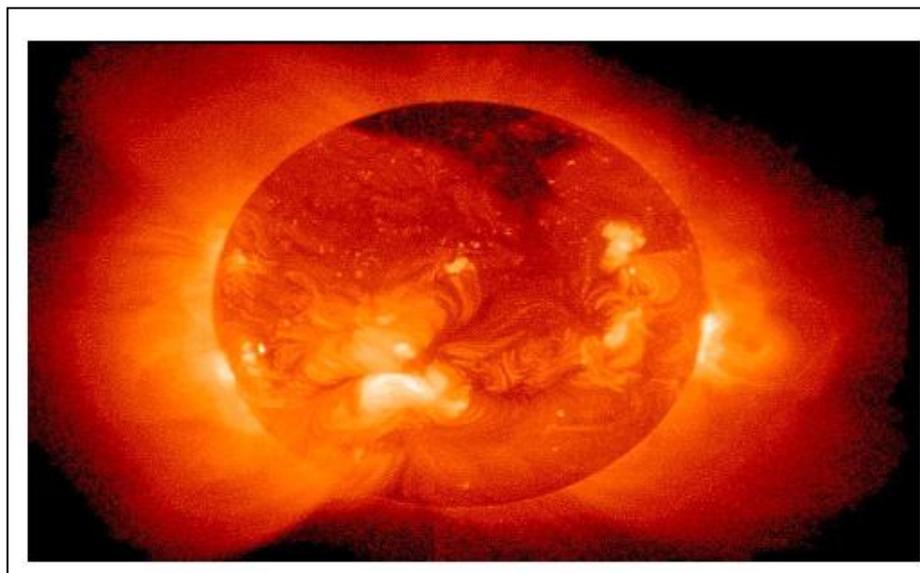


Figure (I.1): Image du soleil.

I.2 Définition sur Énergie Solaire Photovoltaïque

L'utilisation de l'électricité générée par les panneaux photovoltaïques ne se limite pas aux bâtiments. Comme les surplus sont envoyés sur le réseau public, cette énergie peut être consommée par n'importe quel appareil.

L'engouement pour le solaire photovoltaïque est notable partout sur la planète. [1]

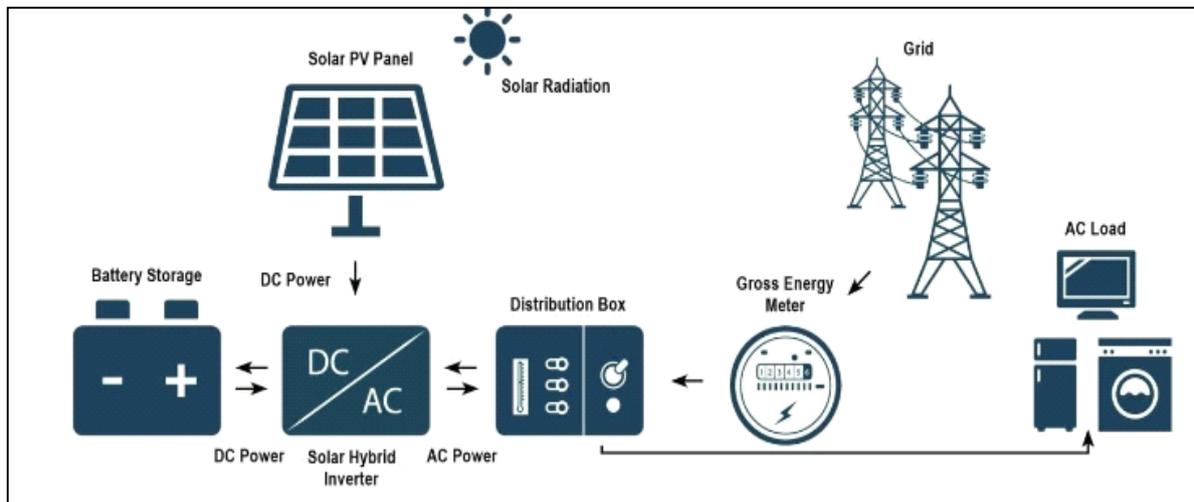


Figure (I.2) : Système photovoltaïque.

I.3.Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque

En 1838, l'énergie solaire photovoltaïque apparaît dans l'histoire de l'énergie solaire.

Le français Alexandre Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque pour la première fois. Becquerel expérimentait une batterie électrolytique avec des électrodes de platine et réalisait que, lorsqu'il était exposé au soleil, le courant augmentait. C'était le début de l'énergie solaire photovoltaïque.

L'étape suivante a été franchie en 1873 lorsque l'ingénieur électricien anglais

Willoughby Smith a découvert l'effet photovoltaïque dans les solides. Dans ce cas à propos de sélénium.

Quelques années plus tard, en 1877, l'Anglais William Grills Adams, professeur de Philosophie naturelle au Kings Collège de Londres et son élève Richard Evan Dany, ont découvert qu'ils exposaient le sélénium à la lumière pour produire de l'électricité. Ils ont ainsi créé la première cellule photovoltaïque au sélénium.

En 1953, Calvin Feller, Gerald Pearson et Daryl Chaplin ont découvert la cellule solaire en silicium. Cette cellule produisait suffisamment d'électricité et était suffisamment efficace pour faire fonctionner de petits appareils électriques. Ces cellules photovoltaïques avaient une grande importance dans l'avenir de l'histoire de l'énergie solaire.

Les premières cellules solaires disponibles dans le commerce ne sont apparues qu'en 1956, même si le coût était encore très élevé pour la plupart des gens jusqu'en 1970 environ, lorsque le prix des cellules solaires a chuté d'environ 80%.

Les cellules solaires ont été utilisées dans les satellites américains et soviétiques lancé depuis la fin des années 1950. [2]

I.4 Cellule solaire photovoltaïque

I.4.1 Les type de cellules photovoltaïques

Les photopiles au silicium cristallin sont plus répandues. Elles se présentent sous forme de plaquettes rondes, carrées ou pseudo carrées. Si l'on parle de matériaux cristallin, c'est parce que le silicium a les propriétés d'un cristal, avec un arrangement parfait des atomes. [2]

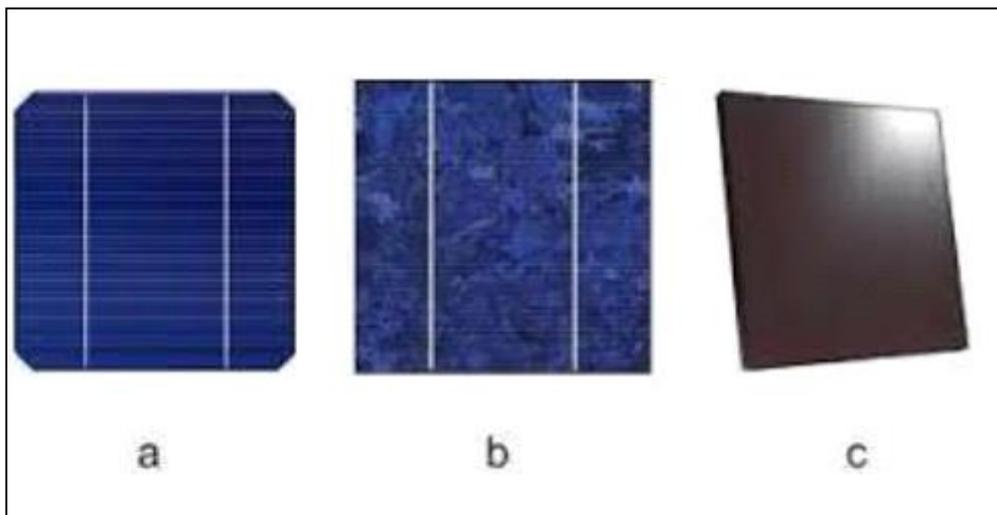


Figure (I. 3):formes des cellules solaires.

I.4.1.1 La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

Ce type de cellule photovoltaïque est l'une des plus répandues. Elle est obtenue à partir de silicium monocristallin, appliqué en une tranche simple. Elle permet de composer des panneaux solaires qui vont produire de l'électricité servant à alimenter une habitation ou le réseau public, par exemple.

Le silicium monocristallin est le résultat du refroidissement du silicium fondu. Une fois solidifié, il se transforme en un cristal uniforme qui est découpé en tranches fines afin de former la cellule photovoltaïque. La couleur de ce matériau est bleue, sans trace de cristaux ou autre. [2]

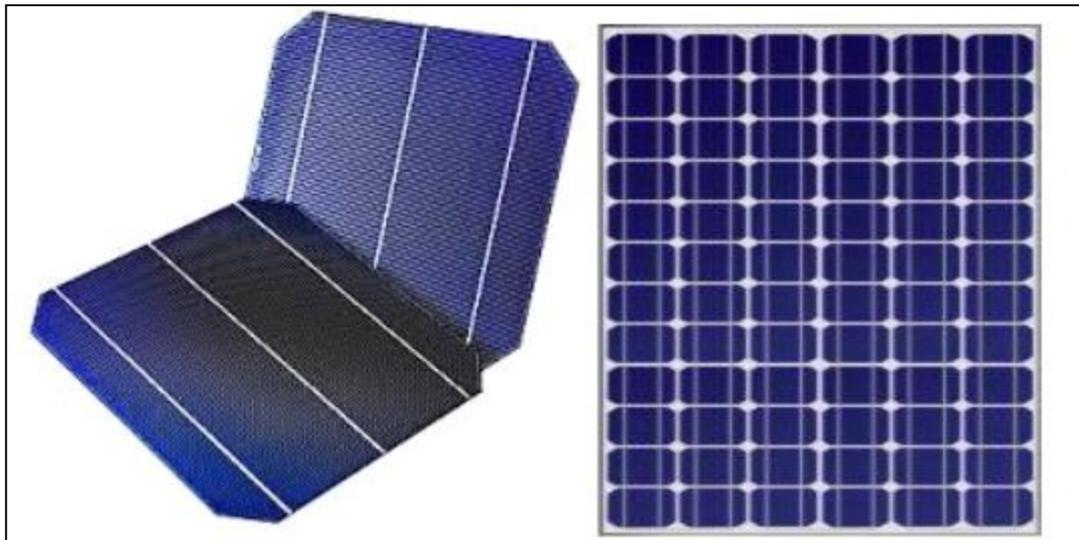


Figure (I. 4):Cellules monocristallines.

I.4.1.2 La cellule photovoltaïque en silicium Poly cristallin

Facilement reconnaissable grâce à ses cristaux bleus, cette cellule photovoltaïque se compose d'une seule tranche de silicium. Elle est de forme carrée. On la trouve souvent dans les installations domestiques, agricoles ou industrielles.

Pour obtenir du silicium poly cristallin, on fait fondre le silicium dans un moule Métallique carré et allongé, appelé lingotière. Le coloris de ce type de cellule est bleu et parsemé de motifs laissés par les cristaux. Cette particularité nous permet de reconnaître facilement cette cellule photovoltaïque. [2]

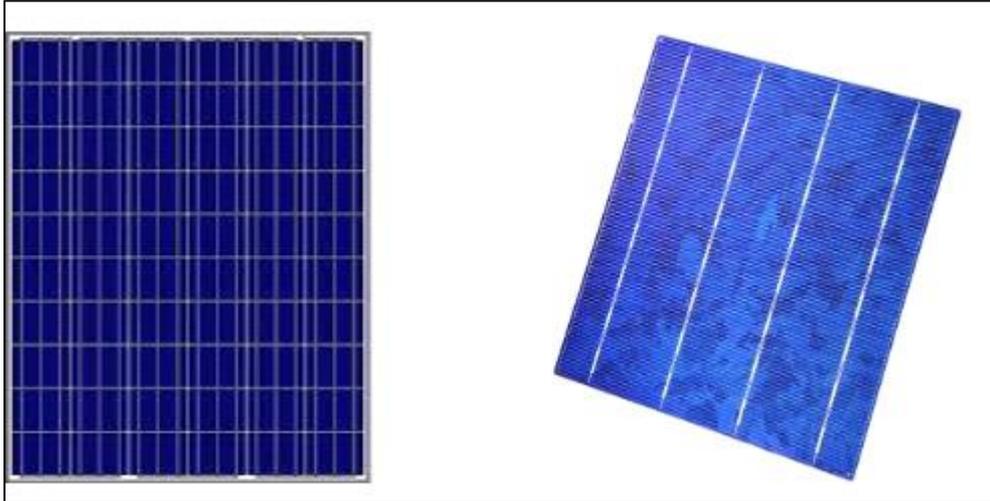


Figure (I. 5):Cellules Poly cristallines.

I.4.1.3 La cellule au silicium Amorphe

La cellule photovoltaïque au silicium amorphe est composée d'une couche fine de silicium, bien plus fine que les monocristallines ou les poly cristallines. On la trouve essentiellement pour alimenter les appareils de faible puissance, comme les montres solaires, les éclairages de jardin ou encore les calculatrices solaires.

Le silicium amorphe est obtenu à partir de gaz de silicium. Ce gaz est vaporisé sur un Support, en verre, en plastique souple ou en métal, grâce à un procédé de projection sous vide. Ces cellules photovoltaïques sont gris foncé. [2]

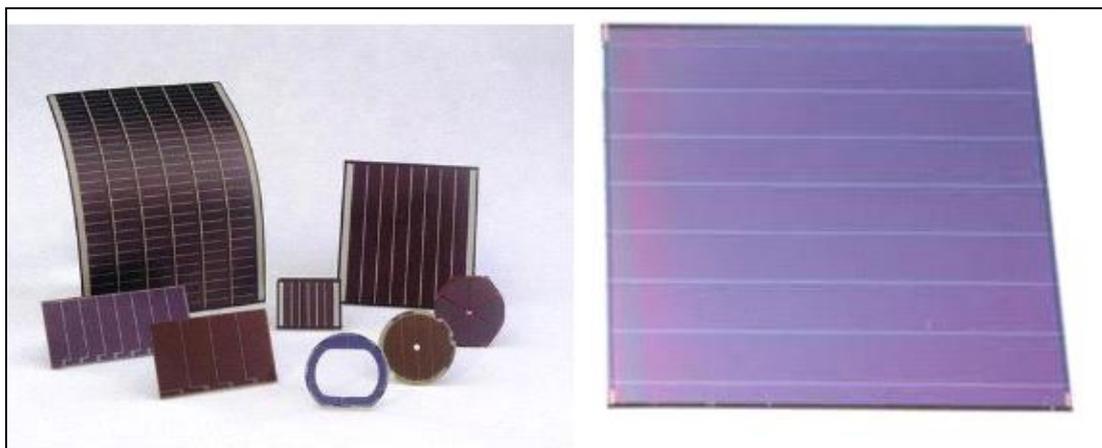


Figure (I.6):Cellule Photovoltaïque amorphe.

I.4.2. Les avantages et les inconvénients de chaque cellule**I.4.2.1. La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin**

Cette cellule photovoltaïque offre un rendement d'environ 25 %, l'un des meilleurs sur le marché. La durée de vie des panneaux solaires composés de cellules en silicium Monocristallin avoisine les 30 ans, ce qui est très rentable, malgré le coût élevé à l'achat. L'inconvénient de ce type de cellule solaire est qu'elle offre un rendement très faible lorsqu'il n'y a pas assez de soleil. Elle convient donc mieux aux régions les plus ensoleillées.[2]

I.4.2.2 La cellule photovoltaïque en silicium poly cristallin

La fabrication de ce type de cellule photovoltaïque est plus simple que la version en Silicium monocristallin. Son coût est donc moindre. Côté rendement du panneau solaire, on peut espérer entre 10 et 15 %, ce qui est nettement inférieur aux cellules monocristallines. Elle a cependant l'avantage de pouvoir être utilisée par temps nuageux, ceci grâce à sa flexibilité d'irradiation.[2]

I.4.2.3 .La cellule au silicium amorphe

Cette cellule solaire présente de nombreux avantages. Elle est tout d'abord peu chère à fabriquer. Elle peut aussi être intégrée sur tout type de support, flexible ou rigide. Un autre point positif est qu'elle capte les rayons solaires même par temps nuageux. Son principal inconvénient est qu'elle offre un faible rendement, environ 7 % au maximum. Pour être rentable, il faut donc que la surface du panneau solaire soit conséquente. De même, ses performances diminuent dans le temps. [2]

I.5 Mode de fonctionnement d'un système photovoltaïque

On distingue trois modes d'exploitation d'un panneau PV : autonome, connecté au réseau et hybride.[3]

I.5.1 Mode autonome

En mode autonome, le générateur photovoltaïque représente la seule source d'énergie Électrique pour alimenter des récepteurs comme les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance et le pompage d'eau.

En mode autonome, le système est constitué généralement des éléments suivant .

- Le champ de modules PV charge la batterie en période d'ensoleillement.
- La batterie alimente la charge et assure un stockage de l'énergie électrique
- Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge de l'énergie produite par le champ de modules PV et inclut habituellement une protection contre les décharges profondes de la batterie.
- Un convertisseur de charge permet l'utilisation d'appareil à courant continu ou à courant alternatif.

Il existe deux types de systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage et sans stockage, le schéma général d'un système PV autonome est représenté sur la figure (I.7) [3]

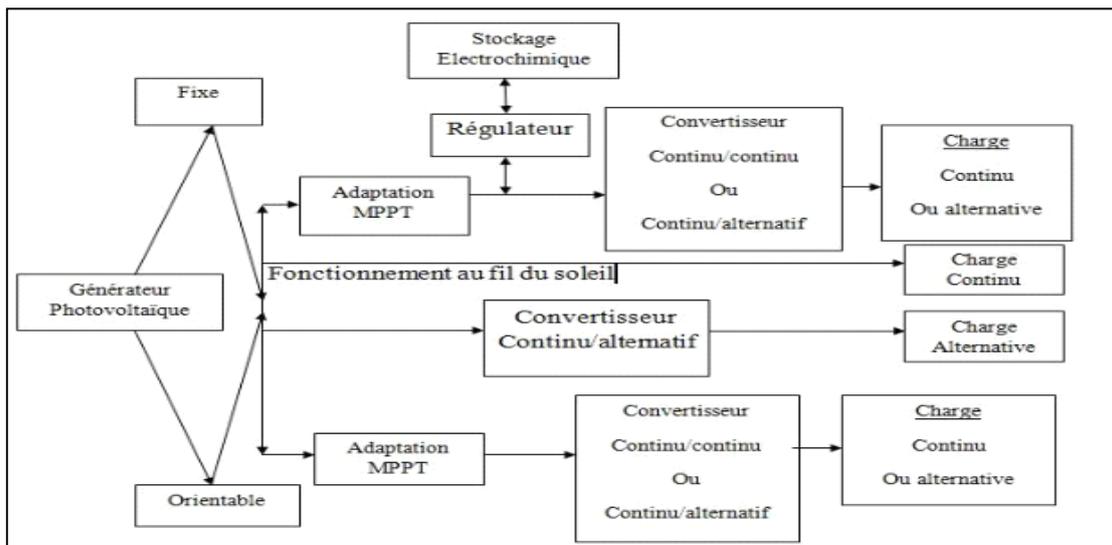
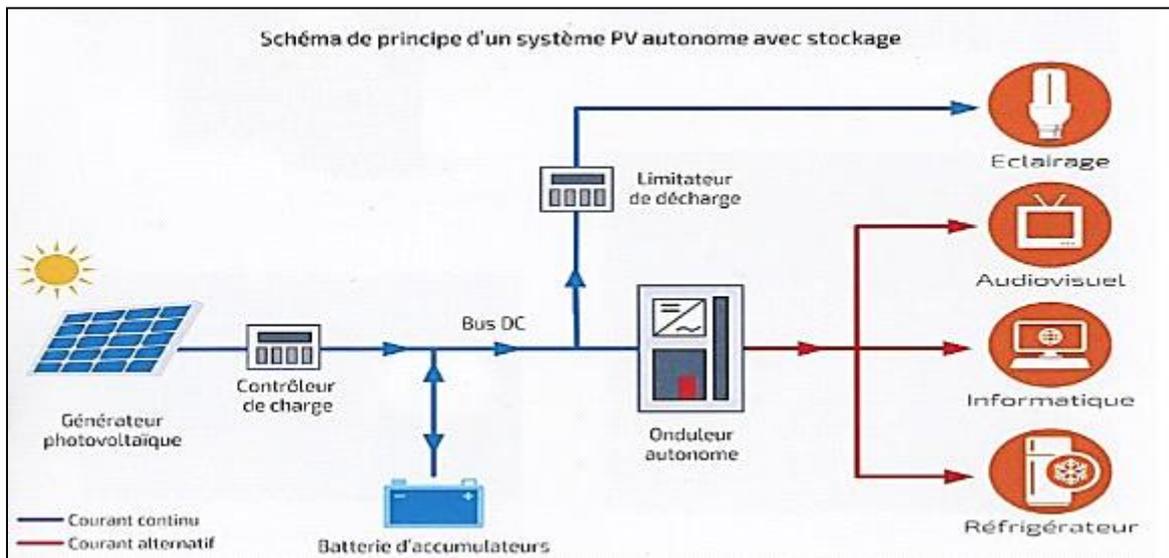


Figure (I.7) : Présentation générale d'un système photovoltaïque autonome.

I.5.1.1 Système autonome avec stockage (batterie).

C'est le système photovoltaïque le plus commun. Le champ PV sert de chargeur pour la batterie. L'électricité peut alors être utilisée en tout temps. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour. [3]



Figure(I.8) : Système autonome avec stockage (batterie).

I.5.1.2 Système autonome sans stockage

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergie des cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex : calculatrice), soit que le temps de fonctionnement de charge n'est pas critique (ex : pompe à eau). [3]

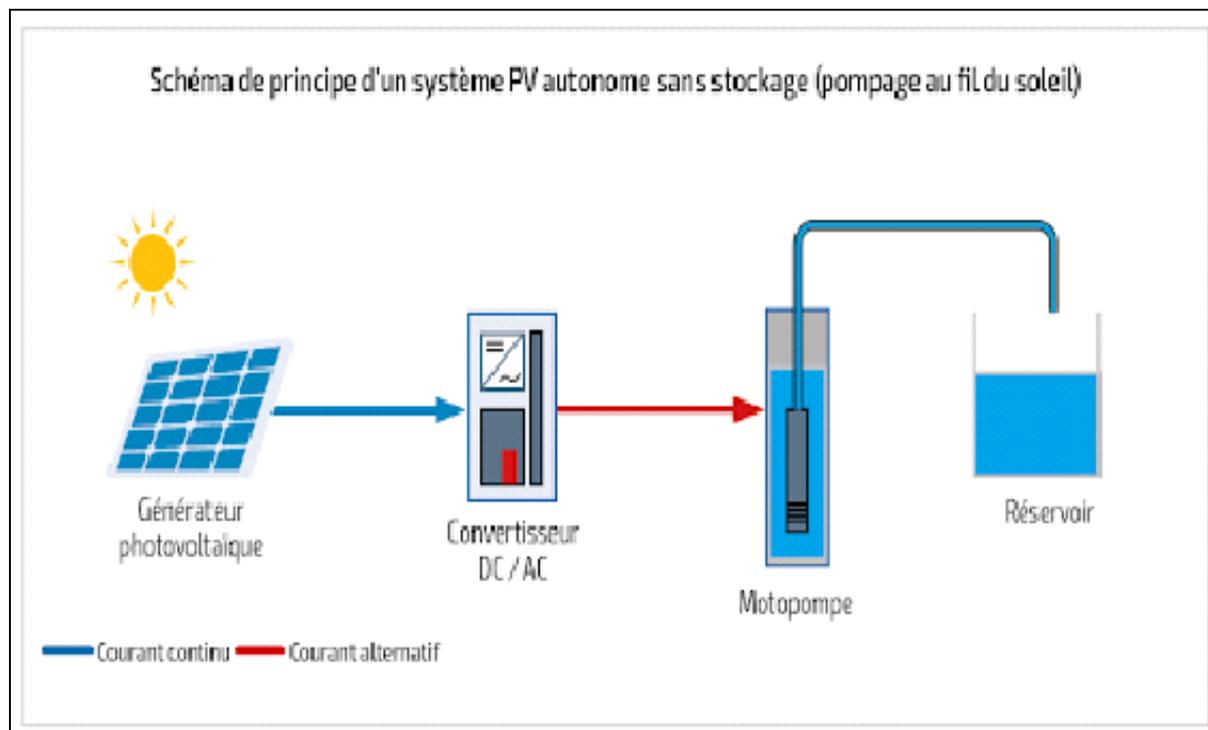


Figure (I.9) : Système autonome sans stockage.

I.5.2 Mode connecté aux réseaux

Ce système photovoltaïque est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé près de la demande. Il peut être installé, par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise sur le réseau. Ce système permet d'éliminer les frais de stockage d'électricité, particulièrement en ce qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïque tels les systèmes d'air conditionné (gestion de la demande). Ce système permet aussi d'éviter le stockage classique sur batteries (d'où réduction du coût global). [3]

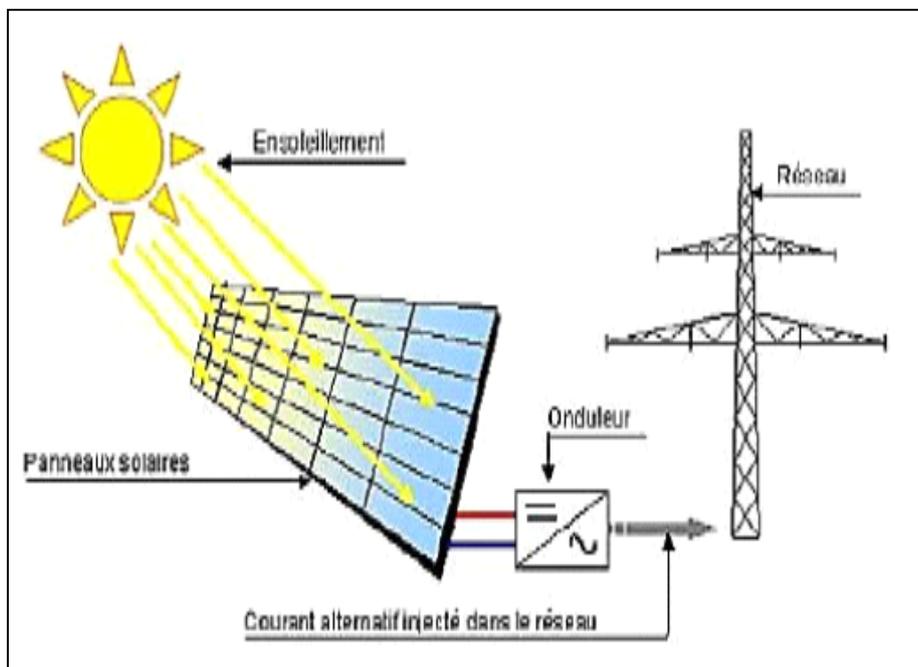


Figure (I.10) : Système photovoltaïque raccordé au réseau.

I.5.3 Mode connecté à un générateur électrogène

Ce système est utilisé principalement dans les communautés ou les villages éloignés. Le générateur PV est branché en parallèle avec les génératrices au diesel du réseau villageois et fournit l'électricité sur ce réseau lorsque l'ensoleillement le permet. Il permet de réduire la consommation d'un carburant diesel très coûteux en régions éloignées et diminue les temps de fonctionnement des génératrices. [3]

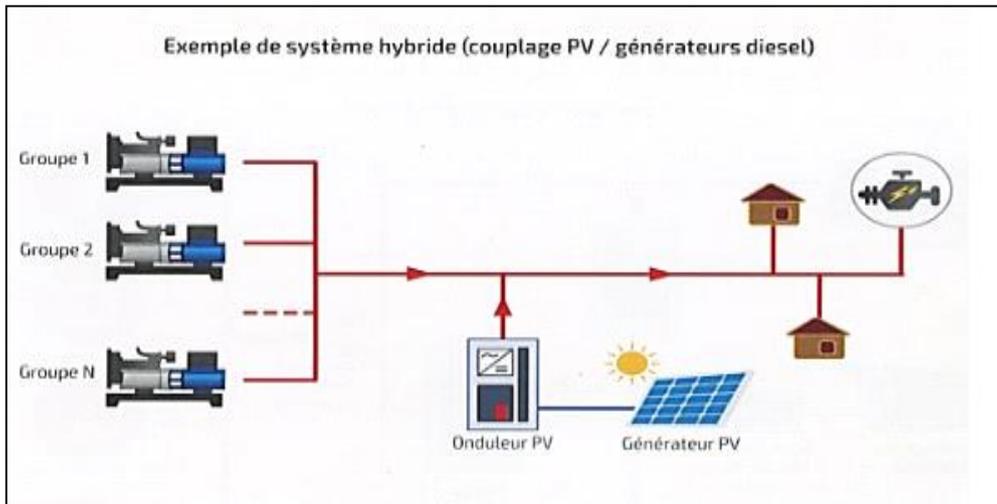


Figure (I.11) : Système photovoltaïque raccordé à un générateur électrogène.

I.5.4 Mode hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les cellules à combustible, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes, etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau. Il existe plusieurs configurations de ces systèmes : PV/thermique, PV/batterie, PV/cellules à combustible, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène. Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation.

Un exemple d'un système hybride est représenté sur la figure (I.12). [3]

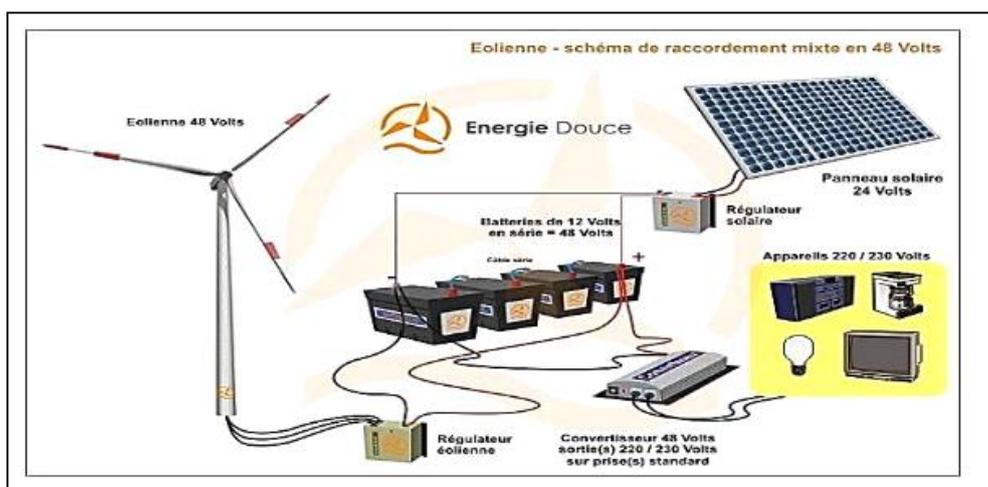


Figure (I.12) : Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque.

I.6 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2 et 4.10-6m. Sans la nécessité d'un support physique pour se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbe. On distingue trois types de rayonnement solaire qui représente dans la figure I.13, direct, diffus et L'albédo. [4]

I.6.1 Rayonnement direct

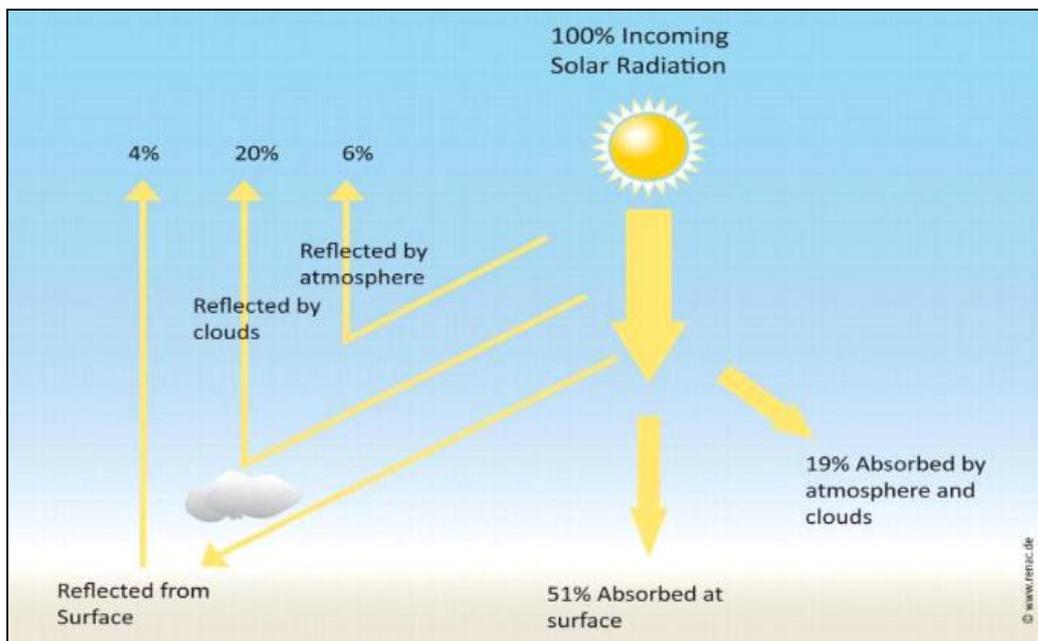
Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il forme donc des ombres set peuvent être concentrés par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyromètre. [4]

I.6.2 Rayonnement diffus

Le rayonnement diffuse le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. Il peut être mesuré par un parano mètre avec écran masquant le soleil. [4]

I.6.3 L'albédo

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige). [4]

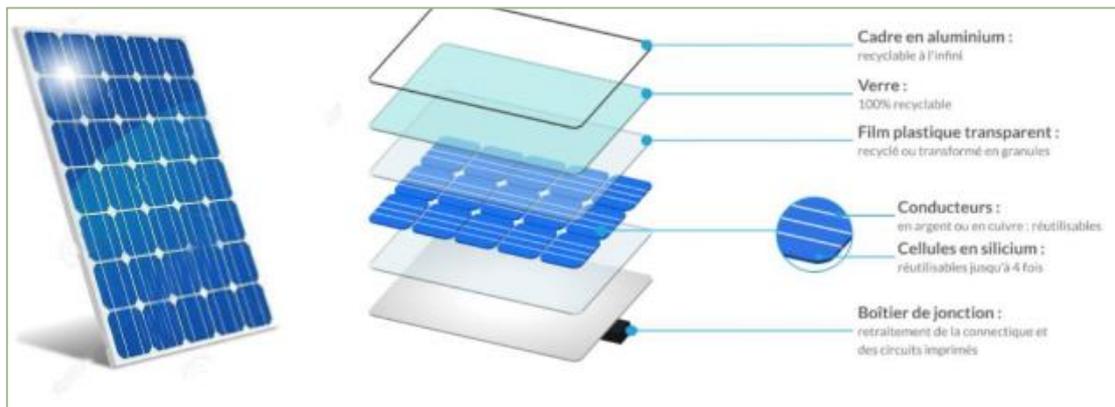


Figure(I.13): Vue schématique des différents types de rayonnements.

I.7 Les composants d'un système photovoltaïque

I.7.1 Les modules photovoltaïques

Un module photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu lorsqu'il est exposé à la lumière. Le module photovoltaïque est constitué d'un cadre rigide le plus souvent en aluminium permettant la fixation et d'une vitre transparente en verre trempé sur le dessus. A l'intérieur se trouve un ensemble de cellules photovoltaïques reliées électriquement entre elles. En effet ceux sont-elles qui génèrent le courant. Elles sont assemblées en série ou en parallèle à l'intérieur du module afin de cumuler leur puissance et de les rendre plus résistantes à l'environnement externe. [5]



Figure(I.14): Structure d'un module photovoltaïque.

I.7.2 Les caractéristiques d'un module PV

I.7.2.1. La tension en circuit ouvert

Si l'on place une photopile sous une source lumineuse constante, sans aucune charge à son borne, celle-ci va produire une tension continue d'environ 0,6 V, appelée tension en circuit ouvert UCO ou à vide (elle varie légèrement avec la température et l'éclairement). [5]

I.7.2.2 Le courant de court-circuit

A l'inverse du cas précédent, si l'on place une photopile en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle. Ce courant est dit courant de court-circuit ICC. De plus, comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, le photo-courant fourni par la cellule est proportionnel à l'intensité lumineuse et à la surface du panneau mis en œuvre, Ainsi, plus ces deux paramètres seront élevés, plus l'intensité produite sera grande. [5]

I.7.2.3 La puissance maximale

L'objectif principal de l'utilisateur de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible, c'est la puissance électrique maximum que peut fournir le module, qui est associé à une tension maximale U_m et à une intensité maximale I_m . Lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement STC standard (25°C et un éclairement de 1000 W/m²), on parle alors de puissance crête, mesurée en watts-crête (WC). [5]

La puissance est donnée par la relation suivante :

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

I.7.2.4 Le rendement

Le rendement énergétique est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire parvenant au module. Soit S la surface du module et E l'éclairement en W/m², ce rendement a pour formule : [5]

$$\eta = \frac{P_m}{S * E}$$

ou :

η : Le rendement

P_m : la puissance crête du module photovoltaïque

S : la surface du module

E : l'éclairement dans les conditions STC

I.7.2.5 Facteur de puissance

Le facteur de forme pour une cellule de bonne qualité est supérieur à 0,7, Il diminue avec l'augmentation de la température. [5]

Le facteur de forme (**FF**) est une mesure de la caractéristique I – V réel. Efficace des cellules solaires, la valeur doit être supérieure à 0,7. Le (**FF**) diminue lorsque la cellule température augmente. Le **FF** est exprimé en :

$$FF = \frac{I_x V_{OC}}{V_{max} \times I_{max}}$$

I.8 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire Photovoltaïque :**➤ Avantage**

- Énergie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et Gratuit.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de Gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- Génère l'énergie requise.
- Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être.
- Augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de Générer redevendus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

➤ Inconvénients

La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie

Demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.

Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles. Nécessite un Système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'histoire de l'énergie photovoltaïque, nous avons voyagé à travers les siècles, depuis les premières observations des effets photovoltaïques jusqu'à l'émergence des cellules solaires modernes. Tout au long de ce parcours, nous avons découvert les innombrables avantages de cette forme d'énergie propre et renouvelable : sa capacité à fournir de l'électricité sans émissions nocives, sa polyvalence dans les applications domestiques et industrielles, ainsi que son potentiel à réduire notre dépendance aux combustibles fossiles. Cependant, nous avons parlé aussi sur les inconvénients associés à cette technologie.

Chapitre II

Modélisation de cellule photovoltaïque

II.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie de la lumière en électricité. Cette conversion s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basé sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules en série /parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale. De nos jours et selon le besoin, l'énergie électrique produite est disponible sous forme d'électricité directe (alimenté une charge) ou stockée en batteries.

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la conversion photovoltaïque; dans un premier temps, nous décrirons brièvement la structure et le fonctionnement des cellules photovoltaïques

Ainsi, nous étudierons l'influence des paramètres météorologiques (Température et Eclairement) sur le comportement électrique d'une cellule solaire. Un modèle de PV sera abordé dans ce chapitre, à savoir, le modèle à une seule exponentiel

II.2 cellules photovoltaïques

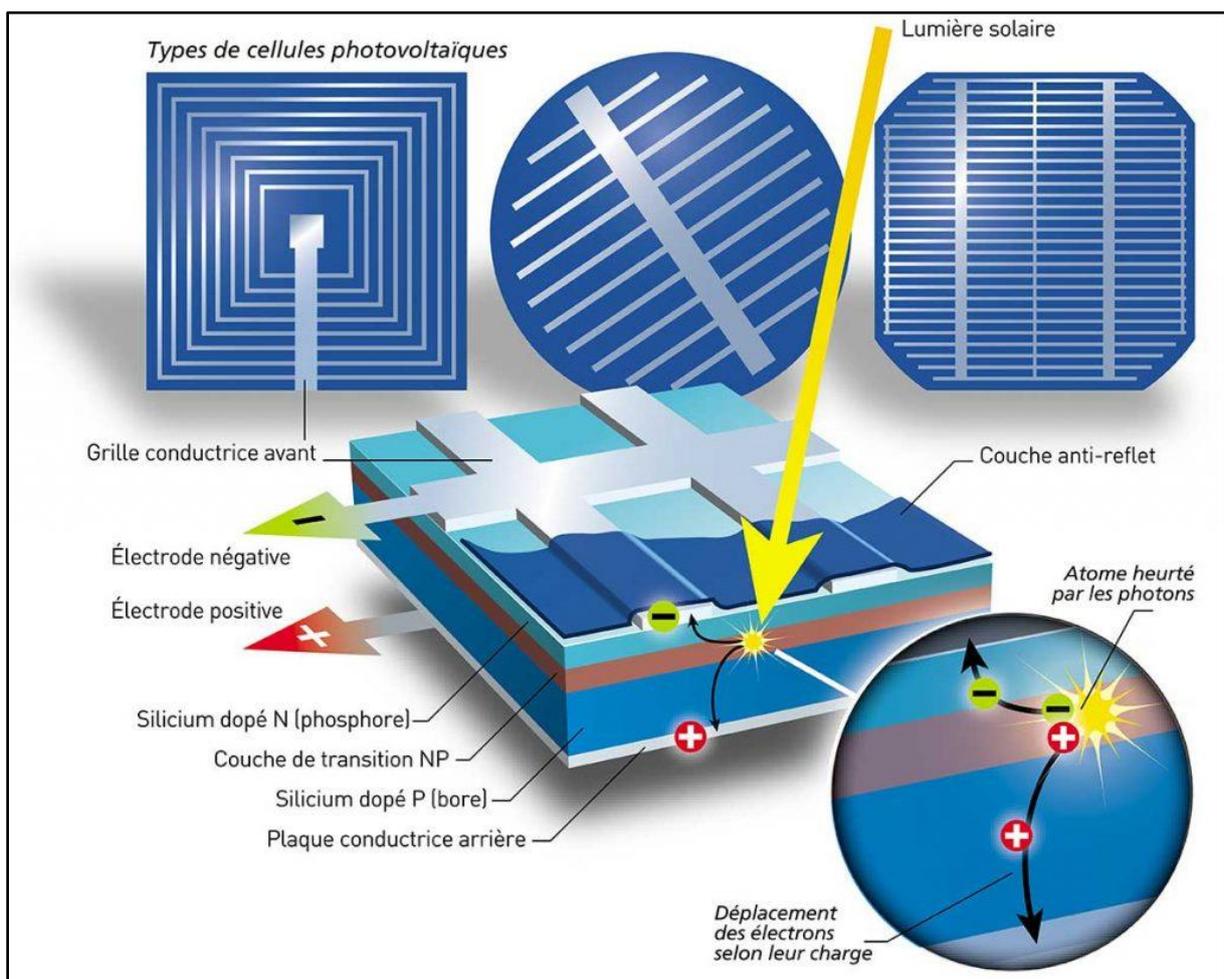
Le fonctionnement des panneaux solaires dépend d'un composant principal : la cellule photovoltaïque. Ces petits carrés, qui forment des modules photovoltaïques, ont l'étonnante capacité de convertir la lumière du soleil en électricité. Ces éléments sont les éléments qui composent les panneaux solaires. Ce sont des composants électroniques qui produisent de l'électricité à partir de la lumière du soleil. Ils sont très fins (environ 200 micromètres), mais une très petite quantité suffit à leur fabrication. Il y a entre 60 et 72 cellules photovoltaïques sur chaque panneau solaire.[6]



Figure(II.1) : cellules solaires.

II.2.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est relativement simple. Un semi-conducteur présentant une face négative et une face positive, du silicium par exemple, est exposé à la lumière. En percutant les atomes de silicium, les photons mettent en mouvement des électrons qui se déplacent dans des directions différentes selon leur charge. C'est ce déplacement d'électrons qui génère un courant électrique. Pour que les électrons soient attirés d'un côté ou de l'autre du dispositif, la cellule photovoltaïque doit posséder une face négative et une face positive. Le silicium utilisé en surface est donc préalablement chargé, ou « dopé », négativement en lui adjoignant du phosphore. De même, le silicium utilisé au dos de la cellule photovoltaïque est chargé positivement avec du Bore. C'est cette différence de charge entre la face inférieure et la face supérieure qui entraîne le mouvement des électrons, comme l'illustre le visuel ci-dessous [7]



Figure(II.2) : le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

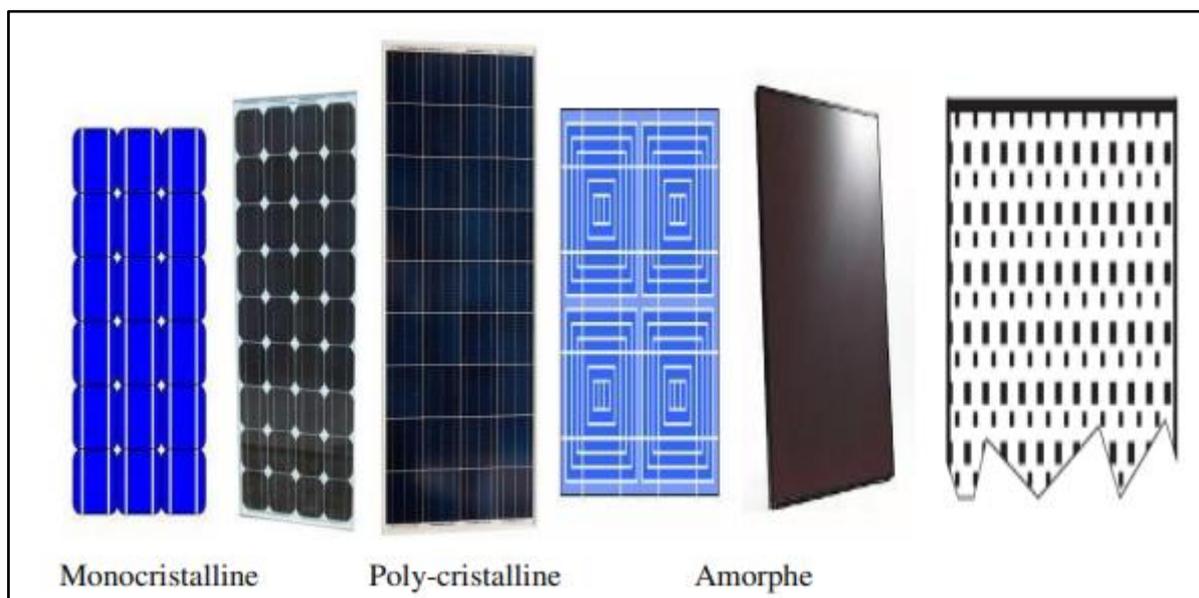
II.2.2 Un matériau de base : le silicium

Le matériau le plus utilisé pour la fabrication des cellules photovoltaïques est le silicium que l'on obtient à partir de la silice abondamment présente dans le sable ou le quartz. Produit sous forme de lingot quasiment pur, le silicium est ensuite découpé en fines tranches, appelées *wafers*, qui sont traitées pour obtenir une face positive et une face négative afin d'en faire des cellules photovoltaïques. [7]

La silice est très largement disponible et peu chère. C'est sa transformation en silicium, puis la découpe et le traitement chimique des *wafers* qui sont responsables du coût élevé, autant financier qu'environnemental, que représente la fabrication des cellules photovoltaïques à base de silicium. Selon les procédés utilisés, différents types de silicium peuvent être obtenus : [7]

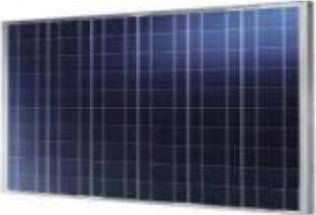
- amorphe.
- poly cristallin.
- monocristallin.

Récemment, le recours à d'autres matériaux est à l'étude pour répondre à l'explosion de la demande mondiale en panneaux photovoltaïques en trouvant des procédés moins coûteux et plus propres. L'utilisation du cuivre ou de matières plastiques, notamment, semble pouvoir offrir des perspectives intéressantes mais les rendements sont encore trop insuffisants pour faire de l'ombre au silicium. [7]



Figure(II.3) : les cellules photovoltaïques en silicium.

II.2.3 Les différents types de cellules photovoltaïques [7]

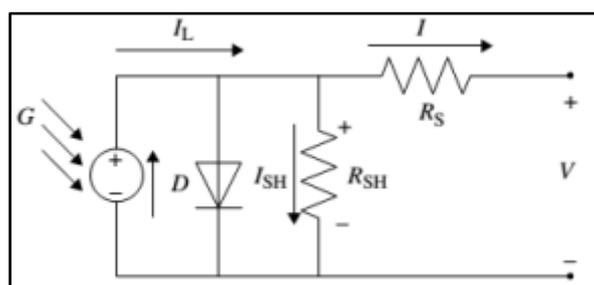
Les cellules	Rendement maximal	Avantages	Inconvénients
<p>Cellules photovoltaïques en silicium amorphe</p> 	8 %	<ul style="list-style-type: none"> - Une technologie éprouvée et abordable. - Une utilisation sous forme souple ou rigide. - Fonctionne même avec un faible luminosité. - Une technologie éprouvée et abordable. - Une utilisation sous forme souple ou rigide. - Fonctionne même avec un faible luminosité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Un rendement très faible. - Une technologie inopérante pour une production - Un rendement très faible. - Une technologie inopérante pour une production
<p>Cellules photovoltaïques en silicium poly cristallin</p> 	18 %	<ul style="list-style-type: none"> - Meilleur rapport rendement/prix du marché - Meilleur rapport rendement/prix du marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Un procédé de fabrication coûteux. - Nécessite une luminosité optimale.
<p>Cellules photovoltaïques en silicium mono cristallin</p> 	25 %	<ul style="list-style-type: none"> - Un excellent rendement. - Un aspect uniforme souvent jugé plus esthétique que le poly cristallin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Un procédé de fabrication très coûteux. - Nécessite une luminosité optimale.

Tableaux(II.1) : Les différents types de cellules photovoltaïques

II.3 Modèles mathématique d'une cellule solaire

Le circuit équivalent le plus simple d'une cellule solaire est une source de courant connectée en parallèle avec une diode comme il montre la figure(II.4). La sortie de la source actuelle est directement proportionnelle à la lumière tombant sur la cellule. Pendant l'obscurité, la cellule solaire n'est pas active et fonctionne comme une diode. Il ne produit ni courant ni tension. Cependant, si la lumière tombe sur la cellule solaire, elle génère un courant de diode. La diode, « D » détermine les caractéristiques I-V de la cellule. Une résistance en série, représente la résistance à l'intérieur de chaque cellule, tandis que la résistance au shunt R_{sh} , est négligé car il a une grande valeur de résistance Le circuit équivalent le plus simple d'une cellule solaire est une source de courant connectée en parallèle avec une diode comme il montre la figure(II.4) La sortie de la source actuelle est directement proportionnelle à la lumière tombant sur la cellule. Pendant l'obscurité, la cellule solaire n'est pas active et fonctionne comme une diode. Il ne produit ni courant ni tension. Cependant, si la lumière tombe sur la cellule solaire, elle génère un courant de diode. La diode, « D » détermine les caractéristiques I-V de la cellule. Une résistance en série, représente la résistance à l'intérieur de chaque cellule, tandis que la résistance au shunt R_{sh} , est négligée car il a une grande valeur de résistance. [9]

II .3.1Modèle a une diode



Figure(II.4): Schéma du circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.

Le courant est donné par la relation suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(v + I R_S)}{n K N_s T} \right) - 1 \right] - I_{sh}$$

$$I_{ph} = [I_{cc} + Ki(T - 298)] \cdot \frac{G}{1000}$$

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\frac{q \cdot Eg \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)}{nK} \right]$$

$$I_{rs} = \frac{I_{cc}}{\exp \left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T} \right) - 1}$$

$$I_{sh} = \frac{v + IR_S}{R_{sh}}$$

Avec :

I_{ph} : Courant photonique.

I_{cc} : Courant de court circuit.

I_0 : Courant de saturation.

I_{rs} : Courant de saturation inverse de la diode.

I_{sh} : courant shunt (courant circulant dans la résistance shunt).

V_{oc} : Tension a circuit ouvert.

T_{ref} : Température de référence.

q : 1.6×10^{-6} la charge électrique .

n : 1 Facteur de non idéalité de la jonction

N :36 nombre de cellule.

K : $1.3805 \times 10^{-23} j/K$ Constante de Boltzwane.

Eg :1.12 énergie de reinl .

Ki :0.003 coefficient d' I_{cc} .

R_S : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shunt.

II.3.2 Caractéristique P-V et I-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m² et 25°

Les Caractéristiques **I(V)** et **P(V)** sous les conditions standard ($T=25^{\circ}\text{C}$, $E=1000\text{ W/m}^2$) Les résultats obtenus de la simulation (programmation en utilisant le logiciel MATLAB) d'un Caractéristiques courant –tension **I(V)** et puissance -tension **P(V)** de la cellule photovoltaïque sont représentés dans les figures suivant :

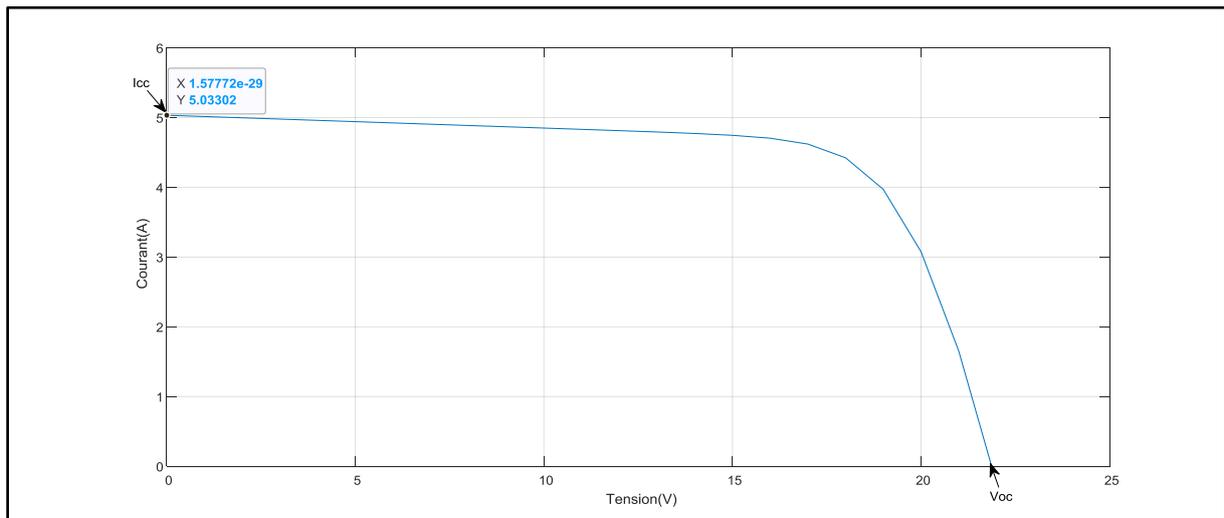


Figure (II.5) : caractéristique I-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m² et 25° C.

La première figure représente la caractéristique courant – tension d'une cellule solaire dans les Conditions de $E=1000\text{ W/m}^2$ et $T=25^{\circ}\text{C}$. Le courant de court-circuit est égale 5.06A et la tension de circuit ouvert est 21.96V.

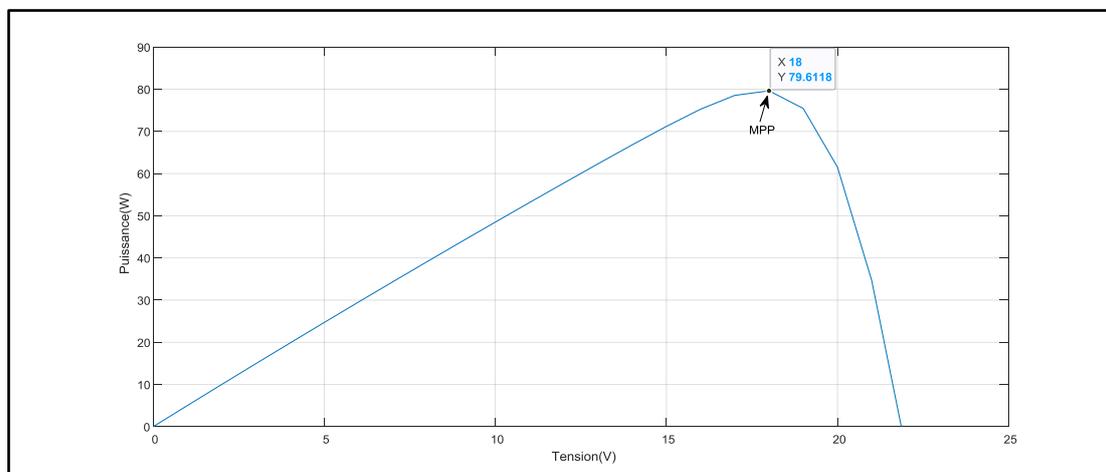


Figure (II.6) : caractéristique P-V de modules photovoltaïques à 1000 W/m² et 25° C.

La deuxième figure représente la caractéristique puissance – tension d’une cellule solaire dans les conditions de $E=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25^\circ\text{C}$. La puissance maximale est $P_{\text{max}}=80\text{W}$. On remarque que, quand la tension augmente la puissance augmente jusqu’à atteindre la valeur optimale (P_{max}) ensuite elle décroît.

Etude est faite sur un panneau photovoltaïque, composé de 36 cellules multi-cristallines connectées en série constituant une branche, deux branches seront connectées en parallèle pour produire une puissance maximale de 80 W

II.4 Influence des paramètres météorologiques sur le fonctionnement du GPV

Les figures suivant représentent la caractéristique courant – tension $I(V)$ et puissance Tension $P(V)$ dans la même condition de l’éclairement ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et pour différents Température ($T=25, 60,85$):

II.4.1 Influence de la température sur la cellule

La tension de circuit ouvert est diminué avec l’augmentation de la température, par Contre le courant de court-circuit augmente légèrement avec l’augmentation de la température Et la puissance maximale diminue. On constate que la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert

II .4.1.1Caractéristique (I-V)

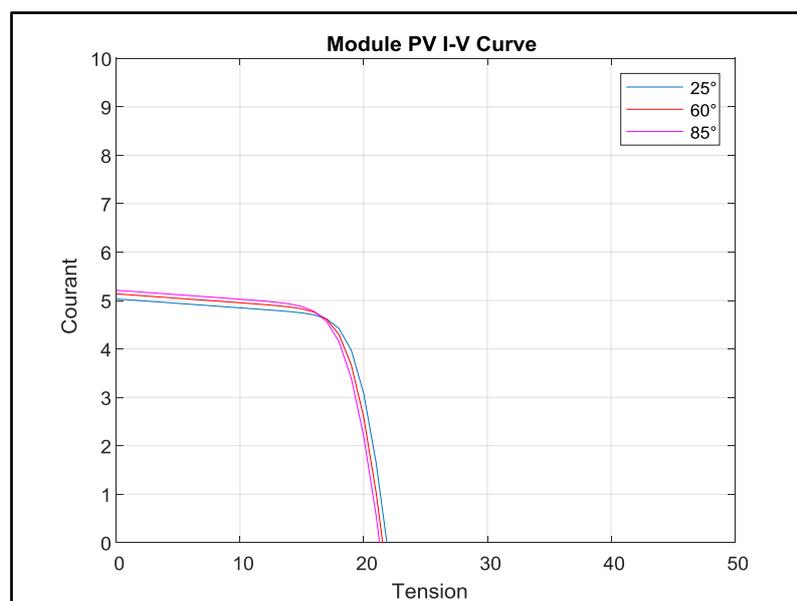


Figure (II .7) : Caractéristique $I(V)$ pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

II.4.1.2 Caractéristique (P-V)

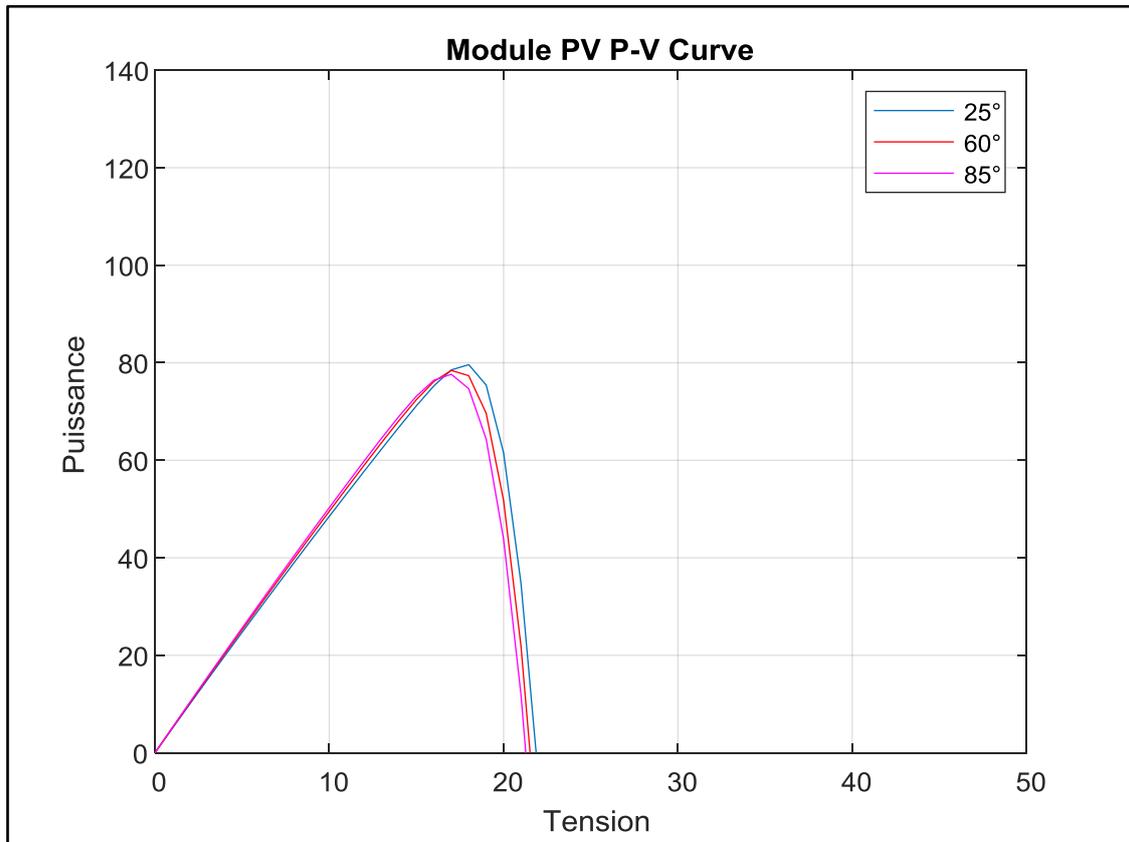


Figure (II.8) : caractéristique P(V) pour différentes températures ($G=1000\text{W/m}^2$).

On peut donc tirer la conclusion suivante : les cellules **PV** ont de meilleure performance dans un environnement froid avec ciel dégagé.

II-4-2 Influence de l'éclairement sur la cellule

Les figures suivantes représentent la caractéristique (I-V) et (P-V) d'une cellule en fonction de la variation de l'éclairement ($E=500.750.1000\text{W/m}^2$) à température constante ($T=25^\circ\text{C}$). Le courant de court-circuit est directement proportionnel au rayonnement incident. Par contre, la tension de circuit ouvert augmente rapidement pour de faibles.

II-4-2-1 Caractéristique (I-V)

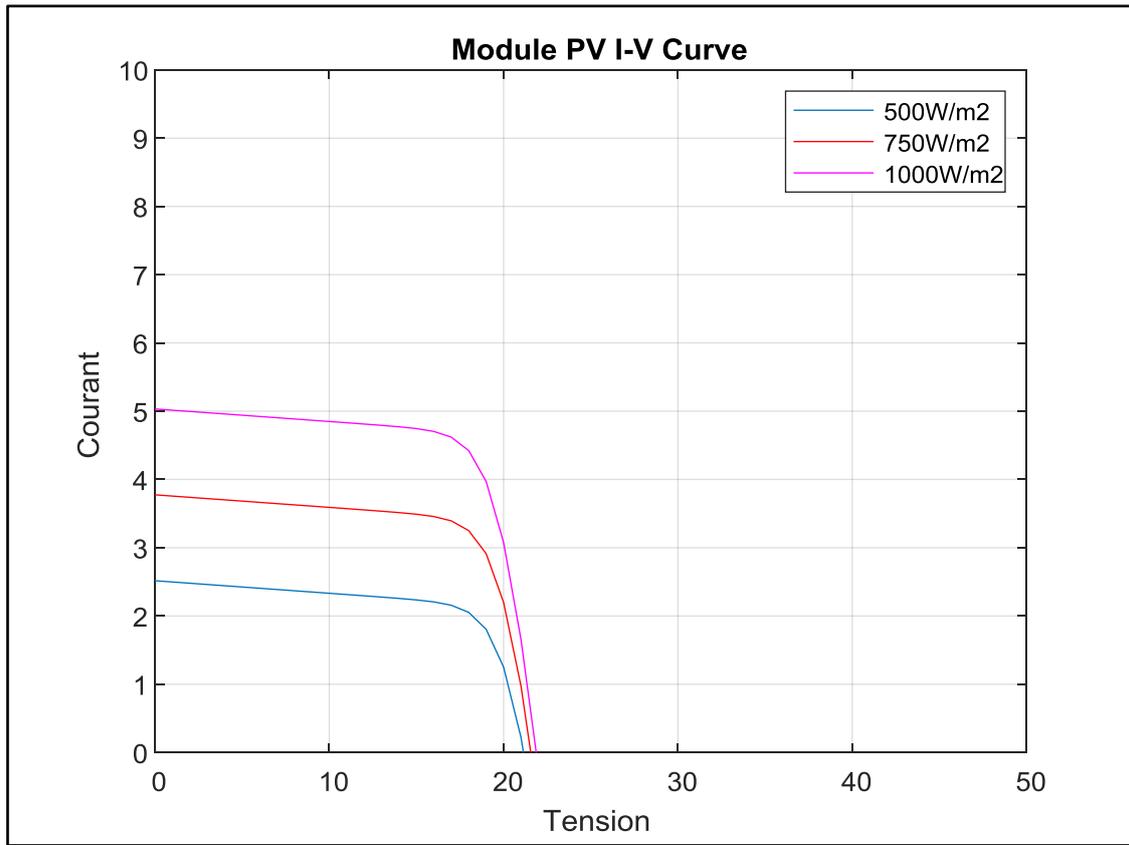


Figure (II. 9) : Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ($T=25^{\circ}\text{C}$).

II-4-2-2 Caractéristique P(V)

La figure (II. 10) illustre la variation de la puissance délivrée par la cellule en fonction de la Tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique P(V). On remarque l'augmentation d'éclairement provoque l'augmentation de puissance.

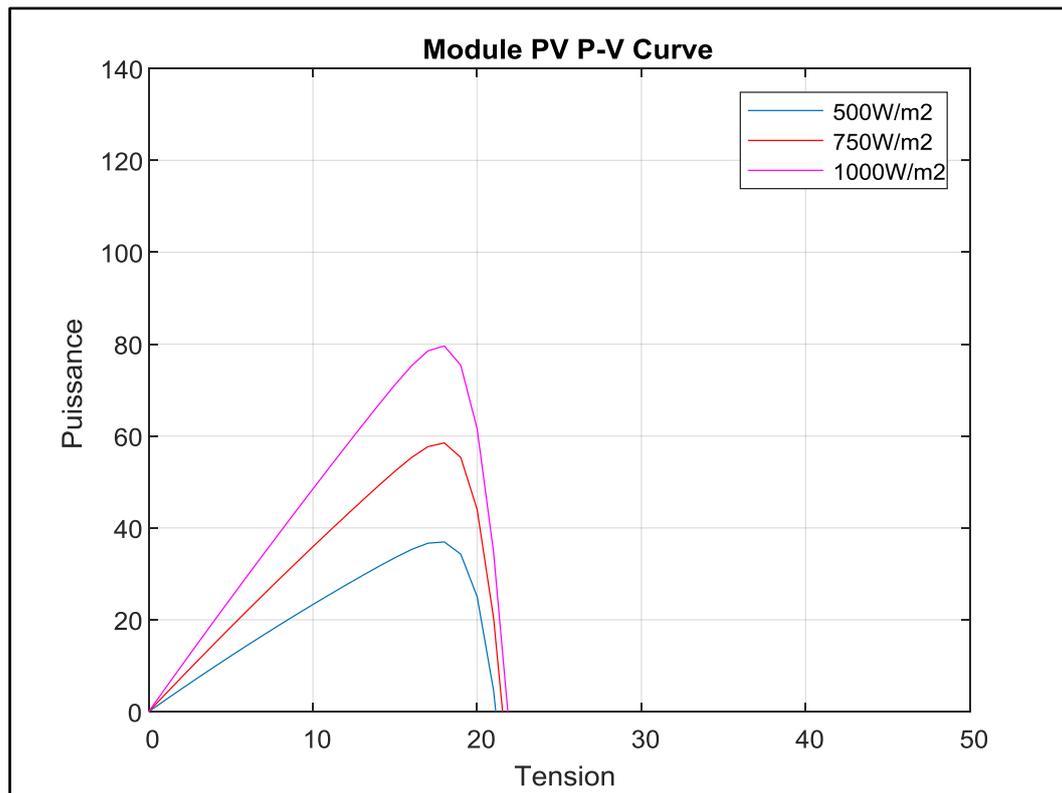


Figure (II. 10) : Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C).

II-5 L'ombrage

II-5-1-Définition d'ombrage

Les modules photovoltaïques sont très sensibles à l'ombrage. Contrairement aux panneaux solaires thermiques qui peuvent tolérer un peu d'ombrage, les modules photovoltaïques ne peuvent être occultés, principalement à cause des connexions électriques (en série) entre les cellules et entre les modules.

On distingue 2 types d'ombrage : **l'ombrage total** et **l'ombrage partiel**.

L'ombrage complet empêche tout rayonnement (direct et indirect) d'atteindre une partie de cellule photovoltaïque (par 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 photovoltaïque (par exemple, une cheminée, un arbre, un nuage). Souvent, les cellules d'un module photovoltaïque sont connectées en série. Ainsi, la cellule la plus faible va déterminer et limiter la puissance des autres cellules. L'ombrage de la moitié d'une cellule ou de la moitié d'une rangée de cellule diminuera la puissance proportionnellement au pourcentage de la surface ombrée d'une cellule, dans ce cas de 50%. L'ombrage total d'une rangée de cellules peut réduire à zéro la puissance du module. [10]

II-5-2 Phénomène d'ombrage sur les modules photovoltaïques

Additionner les tensions dans le cas d'un assemblage série de cellules **PV** est aisé, si toutes les cellules sont identiques et qu'elles travaillent sous les mêmes conditions d'ensoleillement et de température. Mais, comme nous l'avons précisé précédemment, dans les conditions réelles de fonctionnement, si les cellules sont légèrement différentes ou ne sont pas uniformément éclairées, le comportement électrique n'est pas facilement prévisible et dépend des caractéristiques de chaque cellule et des conditions d'éclairement. Plusieurs études ont présenté des modèles mathématiques afin de calculer les effets de cellules non identiques dans un module. La Figure(II.10) montre la caractéristique I–V d'une cellule **PV** dans toute sa gamme de tension. On constate que si, pour un éclairement solaire et une température ambiante donnés, le courant traversant une cellule est supérieur à son courant de court-circuit, alors la cellule fonctionnera en mode inverse (reverse-bias conditions) avec une tension négative. Dans ce cas, la puissance excessive sera dissipée, sous forme de chaleur dans la cellule ombragée et la cellule ou l'encapsulation de la cellule peuvent être irrémédiablement endommagée. Cet effet est appelé 'hot spot' ou (point chaud). [11]

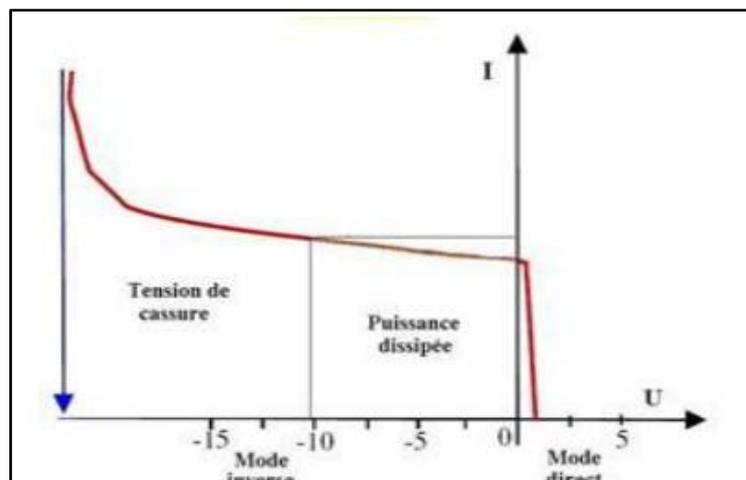


Figure (II.11) : Caractéristique I –V d'une cellule PV.

Dans le domaine en sens direct (mode normal de fonctionnement), la tension de circuit ouvert de la cellule est de l'ordre de 0,6 V pour les cellules cristallines alors que dans le sens inversé (polarisation inversée), les tensions peuvent atteindre plus de – 20 V pour le cas du silicium.

Dans un assemblage série, le courant est le même dans toutes les cellules. Si le courant de la rangée est plus grand que le photo-courant de la cellule ombragée (courant de court-circuit), ce qui se produit dans la plupart des cas, cette cellule ombragée se met à fonctionner en mode inversé et dissipe de la puissance. Une telle situation est illustrée sur la Figure(II. 11) dans le cas de trois cellules connectées en série.[11]

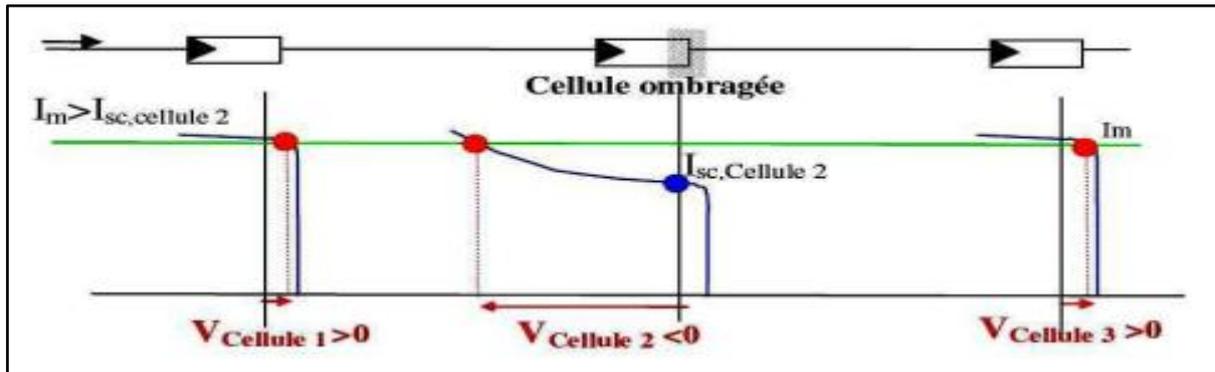


Figure (II. 12) : Caractéristiques des cellules PV pour un courant donné I_m en présence d'ombrage.

Si la rangée de cellules travaille à un point de fonctionnement correspondant à un courant I_m au-delà du courant de court-circuit de la cellule ombragée (cellule 2), le point de fonctionnement du module correspond à une tension négative aux bornes de la cellule ombragée (cellule 2), ce qui permet de dissiper de l'énergie. Pour résoudre ce problème, on utilise une diode de dérivation (by-pass diode) connectée en parallèle sur chaque connexion série des multiples cellules PV. Si une telle diode by-pass était connectée dans chaque cellule alors le problème induit par l'ombrage serait fortement réduit. Cependant, ce n'est pas une solution envisageable d'un point de vue commercial. [11]

II -5-3 Solutions pour limiter l'impact des ombres sur les panneaux photovoltaïques.

A/ Le type de panneau.

On pourrait imaginer que lorsqu'une feuille reste collée sur un panneau, seule la surface de cellules photovoltaïques sous la feuille ne produit plus mais ce n'est pas du tout le cas. En effet, un panneau photovoltaïque est en général divisé en 3 zones électriques distinctes (1/3, 1/3, 1/3). Lorsqu'une feuille reste bloquée sur un panneau solaire, c'est donc 1/3 du panneau qui ne produit plus. Cela peut même être 60 ou 100% si l'obstruction se fait sur le côté du panneau (bloquant le départ des 3 lignes). Certains panneaux sont conçus pour que l'énergie circule en rangées indépendantes et parallèles comprenant également un quadrillage soit six lignes horizontales et trois colonnes verticales. Avec ces panneaux, on se retrouve avec 18 zones distinctes au lieu de 3. Par conséquent, la feuille bloquée ne pénalise que 6% de la production photovoltaïque (ou 1/3 si l'obstruction se fait sur le côté du panneau bloquant le départ des lignes. [12]

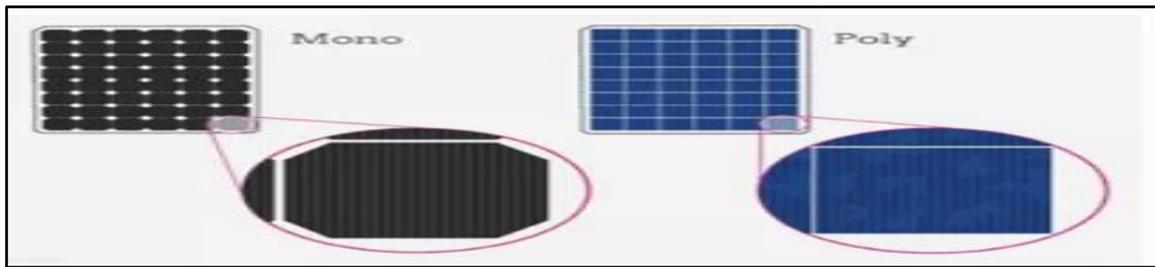


Figure (II.13) : Certains types des panneaux.

B/ Les micro-onduleurs

Les onduleurs et micro-onduleurs servent à transformer le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif utilisable par les machines à l'intérieur de la maison.

Lorsque l'installation photovoltaïque est connectée à un seul onduleur central, le mauvais fonctionnement d'un panneau bloque l'ensemble de la production.

Le fait d'installer des micro-onduleurs sur chaque panneau permet de continuer à faire fonctionner tous les autres panneaux normalement si un dysfonctionne. Seul le panneau touché aura une production réduite. [12]

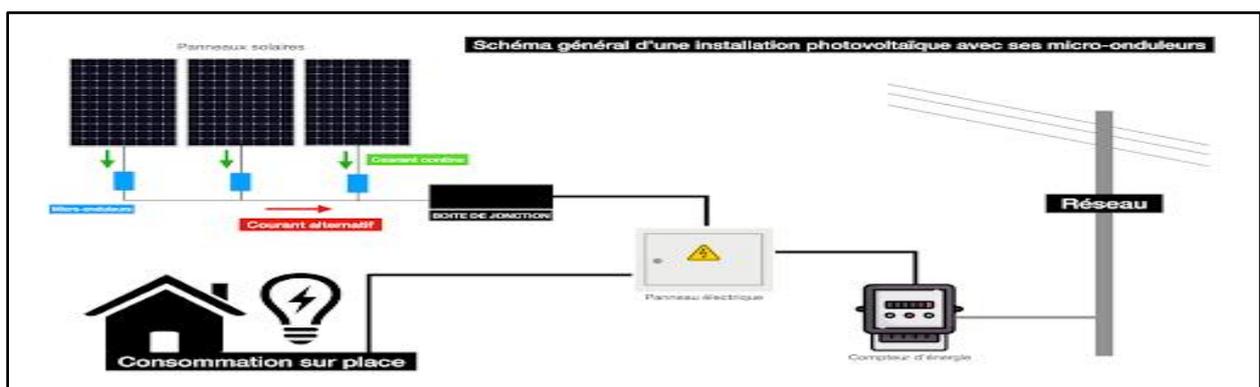


Figure (II.14) : schéma installation de micro onduleur.



Figure (II .15) : micro onduleur IQ7.

C/ Le positionnement et le sens de pose des panneaux.

Il est très important d'étudier la position des panneaux photovoltaïques en examinant les ombres portées tout au long de l'année (pas seulement l'été, en Hiver les ombres sont différentes, plus longues).

Les maisons voisines, les arbres, les cheminées peuvent créer de l'ombre.

L'orientation paysage peut également optimiser la production d'énergie (L'accumulation de feuilles se faisant souvent en bas des panneaux).

Les ombres peuvent avoir des conséquences très préjudiciables sur la production d'électricité. Pour éviter qu'une petite ombre pénalise l'ensemble des panneaux photovoltaïques, optez plutôt pour des micros onduleurs (plus chers à l'achat mais qui ne nécessitent pas d'être changés tous les 10 ans comme l'onduleur central) et choisissez des panneaux photovoltaïques spécialisés. Vérifiez également régulièrement la production photovoltaïque sur l'application de suivi et en visuel si cela est possible. [12]

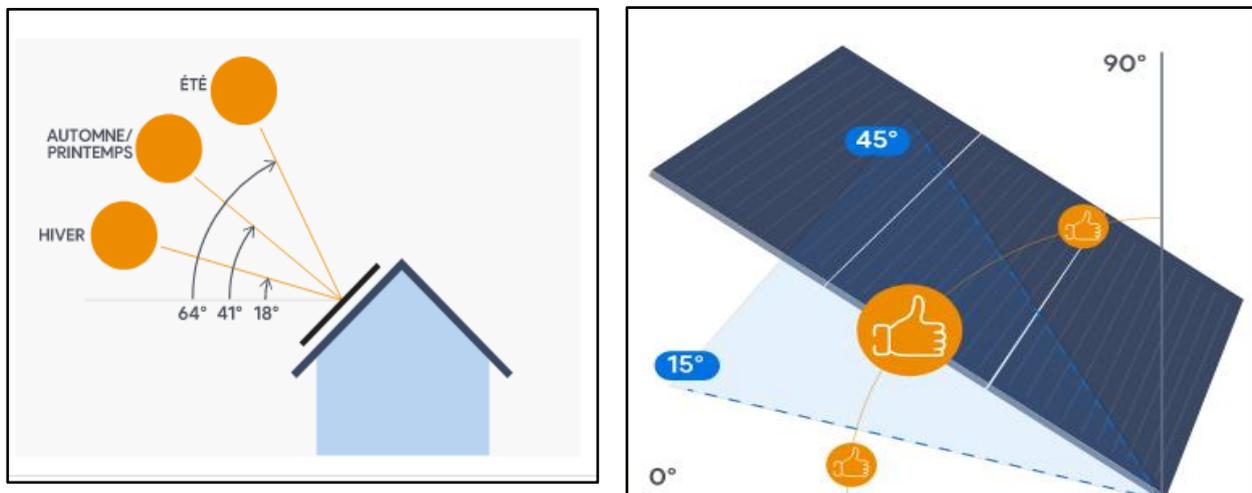


Figure (II.16) : inclination des panneaux solaires

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre la modélisation d'un module photovoltaïque en utilisant le modèle à une seule diode, L'effet de la variation météorologique (température et insolation) sur l'énergie produite. Le phénomène d'ombrage partiel et son effet sur le panneau PV ont été envisagés.

Chapitre III

Etude de l'étage d'adaptation

III.1 Introduction

La conception d'un étage d'adaptation permet aujourd'hui de relier aisément un générateur photovoltaïque (**GPV**) à une charge de type continue (**DC**), avec un rendement de conversion très élevé. En fait, le concept de cet étage correspond à la modélisation des fonctions basiques idéalisées d'un convertisseur à découpage continu-continu (**DC/DC**). Ce concept est nommé ainsi à cause des liens que le convertisseur crée entre ses quatre grandeurs électriques sur les ports d'entrée et de sortie qui sont ses courants et ses tensions d'entrée et de sortie

III. 2 Principe de la recherche du point de puissance maximale (MPPT)

Il existe un point de fonctionnement où la puissance débitée est maximale. L'optimisation consiste à réaliser ce point en permanence en agissant de façon automatique sur la charge vue par le générateur cette adaptation de charge dans le principe s'effectue en générale à l'aide d'un convertisseur statique dans les pertes doivent être aussi faibles que possible et qui peut, par ailleurs, Assurer une fonction de mise en forme d'un générateur de sortie, différentes attitudes peuvent être envisagées quant à la commande de l'adaptateur.

Ce type de commande est souvent nommé « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » (**MPPT**).

La (**figure III.1**) représente une chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque élémentaire associée à une commande **MPPT**.

Pour simplifier les conditions de fonctionnement de cette commande, une charge **DC** est choisie. Comme nous pouvons le voir sur cette chaîne, dans le cas de la conversion solaire. L'adaptateur peut être réalisé à l'aide d'un convertisseur **DC-DC** de telle sorte que la puissance fournie par le **GPV** corresponde à la puissance maximale qu'il génère et quelle puisse ensuite être transférée directement à la charge [13] [14] [15].

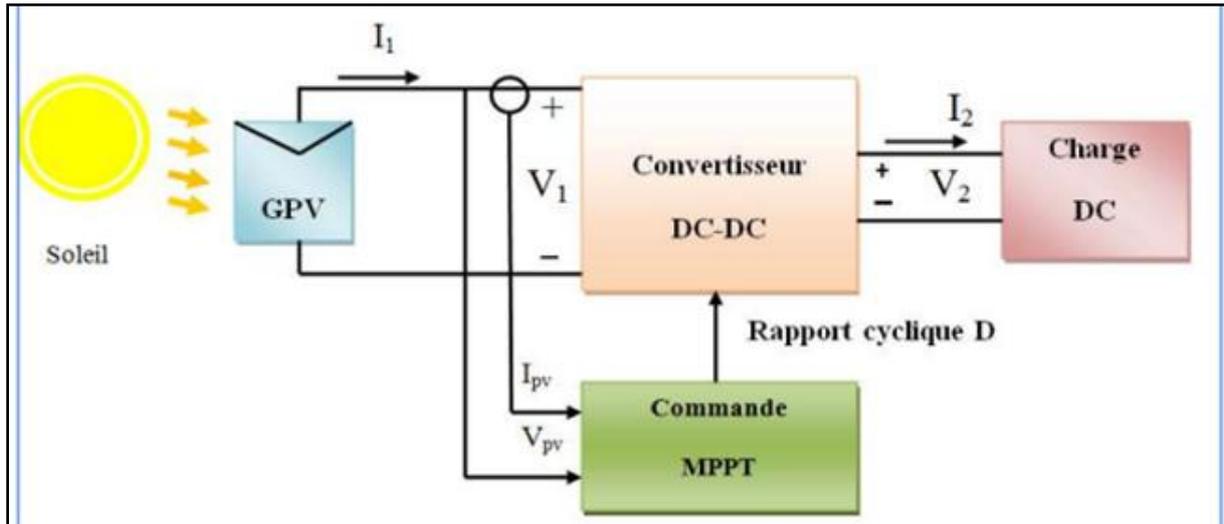


Figure (III.1) : Schéma de principe du convertisseur MPPT.

La technique de contrôle communément utilisée consiste à agir sur le rapport cyclique de manière automatique pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement quelles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir.

III.3 GESTION DE LA MPPT

La (figure III.2) illustre trois cas de perturbations. Suivant le type de perturbation, le point de fonctionnement bascule du point de puissance maximal PPM1 vers un nouveau point P1 de fonctionnement plus ou moins éloigné de l'optimum.

- Pour une variation d'ensoleillement (cas a)
Il suffit de réajuster la valeur du rapport cyclique pour converger vers le nouveau point de puissance maximum PPM2
- . Variations de température de fonctionnement du G PV (cas b)

Bien qu'il faille également agir au niveau de la commande.

- Pour une variation de charge (cas c)
On peut également constater une modification du point de fonctionnement qui peut retrouver une nouvelle position optimale grâce à l'action d'une commande

En résumé, le suivi du PPM

Est réalisé à la moyenne d'une commande spécifique nommée MPPT qui agit essentiellement sur le rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour rechercher et atteindre le PPM du GPV. Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV [16].

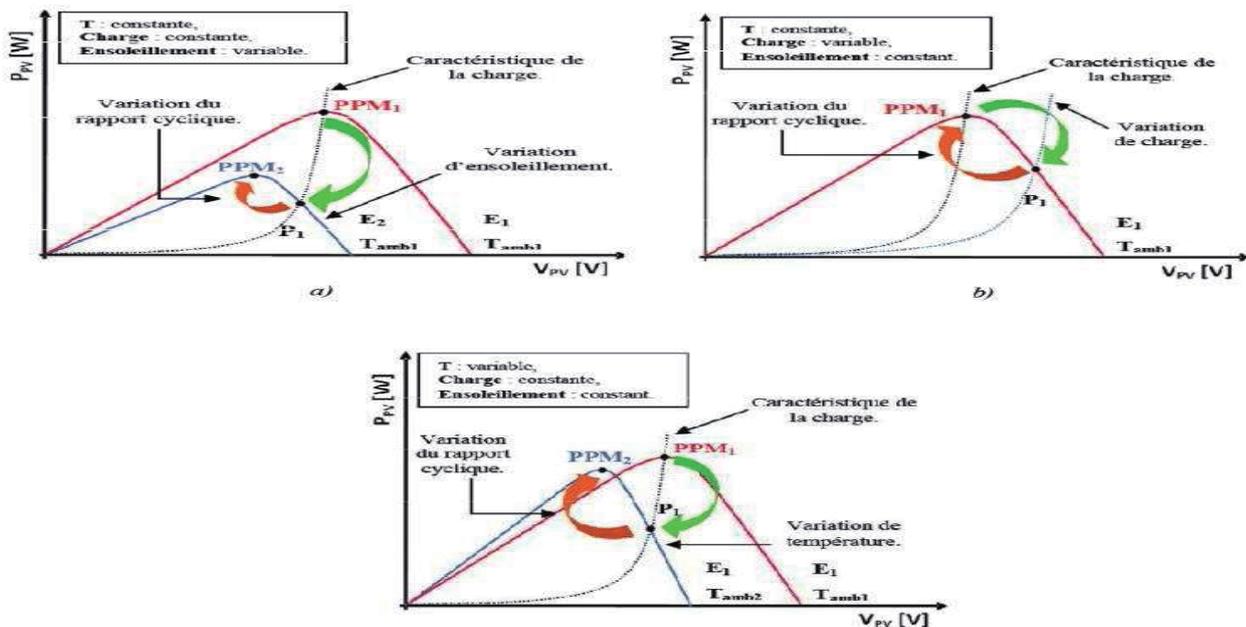


Figure (III.2): recherche et recouvrement du point de puissance maximale.

III .4 Commande MPTT

Dans le but d'avoir une meilleure tension de sortie d'un convertisseur, il est important de commander les interrupteurs du convertisseur. Cela se fait en utilisant une des techniques de commande qui existe. Le choix de cette dernière dépend essentiellement du type d'application auquel l'appareil est désigné. Il existe plusieurs commande pour les convertisseurs : commande analogique généralement à base d'amplificateur opérationnels et la commande numérique généralement en faisant appel à des circuits intégrés programmables de type microcontrôleurs, c'est la commande utilisé pour la commande de notre convertisseur BUCK. Appelé la commande MPTT cette commande Permet la réalisation des signaux de commande d'une manière plus fiable avec des principes de fonctionnement plus ou moins performant basé sur les propriétés du GPV [17].

III.4.1 Principe de La commande MPPT

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un **GPV** de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (**VPPM** et **IPPM**)

(18) qui est présenté sur la courbe puissance (**Figure III .3**) c'est le produit de la tension et du courant qui est la puissance de sortie délivrée par le module. Aux deux extrémités de la courbe I-V, la puissance de sortie est zéro puisque soit le courant ou la tension est nul à ces points. Le point de puissance maximum est le point sur la courbe où le produit du courant et de la tension atteint son maximum.

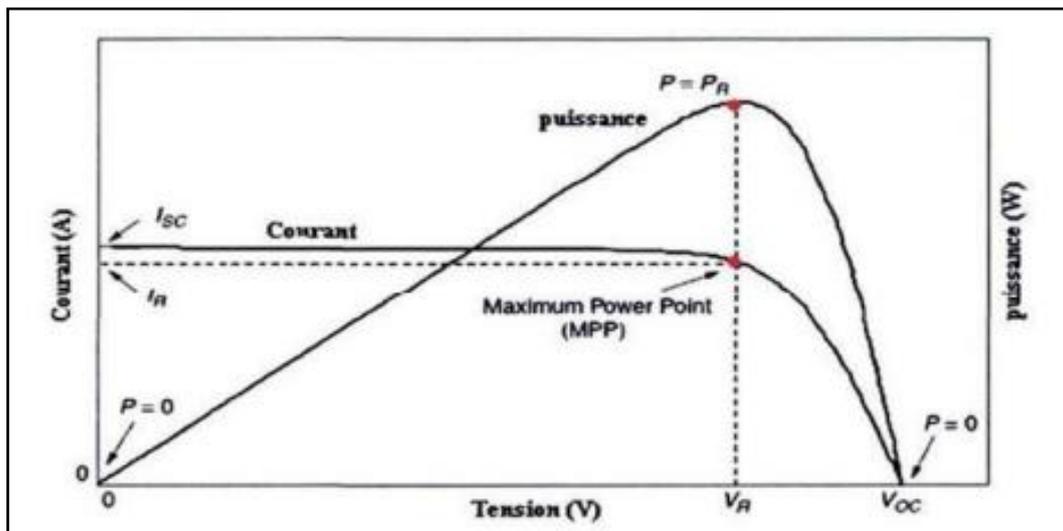


Figure (III .3) : Courbes de I-V et de puissance de sortie pour un module photovoltaïque.

La commande **MPPT** fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (**CS**), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le **GPV** peut fournir. Cette variation du rapport cyclique du **CS** est en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (**I** et **V** et par conséquent de la puissance du **GPV**) jusqu'à se placer sur le **MPP**(19) .

III.5 classifications d'algorithmes du suiveur de point maximum

La classification des algorithmes du suiveur peut être basée sur la fonction des techniques ou des stratégies de commande utilisées. Ainsi, deux catégories peuvent être présentées : méthodes directes et indirectes.

III.5.1. Les méthodes indirectes

Les méthodes indirectes utilisent des bases de données regroupant les caractéristiques des panneaux photovoltaïques (**PV**) dans différentes conditions climatiques (température, ensoleillement...) mais aussi des équations mathématiques empiriques permettant de déterminer le point de puissance maximum. Ces méthodes sont souvent propres à chaque type de panneau et donc difficile à généraliser : la méthode d'ajustement de courbe, la méthode « look-up table », la méthode de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court-circuit.

III.5.1.1. Méthode de tension de circuit ouvert du générateur PV

Cet algorithme est basé sur la tension du générateur **PV** au point de puissance maximale qui est approximativement proportionnelle à sa tension en circuit ouvert. La constante proportionnelle **K1**, dépend de la technologie des cellules photovoltaïques, du facteur de forme et des conditions météorologiques. La tension de circuit ouvert V_{co} est mesurée par interruption du fonctionnement normale du système, avec une certaine fréquence de mesure, les données sont stockées, après le PPM est calculé selon l'équation suivant :

$$K_1 = \frac{V_{PPM}}{V_{co}} \cong \text{constante} < 1$$

et la tension de fonctionnement est ajustée pour avoir la tension optimale. Ce processus est répété périodiquement Bien que cette méthode soit simple, il est difficile de choisir une valeur optimale de **K1** [20], [21]. L'avantage de cette méthode, c'est qu'on ne tient pas compte de l'influence de l'ensoleillement et de la température et encore moins du vieillissement des panneaux. Cette méthode souffre donc d'inexactitude mais présente l'avantage d'être simple et pas chère [21].

III.5.1.2. La méthode de court-circuit :

Cette méthode est similaire à la précédente et est basée sur la proportionnalité existant entre le courant de court-circuit et le courant au point de puissance maximale équation suivante :

$$K_2 = \frac{I_{MPP}}{I_{SC}} \cong \text{constante} < 1$$

Cette méthode présente les mêmes avantages et inconvénients que ceux de la méthode de la tension de circuit ouvert

III.5.2. Les méthodes directes

Les méthodes directes sont des méthodes qui utilisent les mesures de tension et de courant des panneaux et dont l'algorithme est basé sur la variation de ces mesures. L'avantage de ces algorithmes est qu'ils ne nécessitent pas une connaissance préalable des caractéristiques des panneaux PV. Parmi ces méthodes, nous retrouvons la méthode de différenciation, la méthode perturbation & observation (**P&O**), l'incrément de conductance ...etc [21].

III.5.2.1. La méthode Perturbation & Observation (**P&O**)

La méthode Perturbation & observation (**P&O**) est l'une des méthodes les plus utilisées. C'est une méthode itérative permettant d'obtenir le MPP : on mesure les caractéristiques du panneau PV puis on induit une petite perturbation sur la tension afin d'analyser la variation de puissance qui en résulte. Comme indiqué précédemment, le principe des commandes MPPT de type P&O consiste à perturber la tension V_{pv} d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance P_{pv} qui en résulte. Ainsi, comme l'illustre la Figure (III.4) on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension V_{pv} engendre un accroissement de la puissance P_{pv} , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du **MPP**. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a déjà dépassé le **MPP**. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique P_{pv} (V_{pv}), il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au **MPP**, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. En résumé, suite à une perturbation de tension, la puissance **PV** augmente, la direction de perturbation est maintenue. Dans le cas contraire, elle est inversée pour reprendre la convergence vers le nouveau MPP [21].

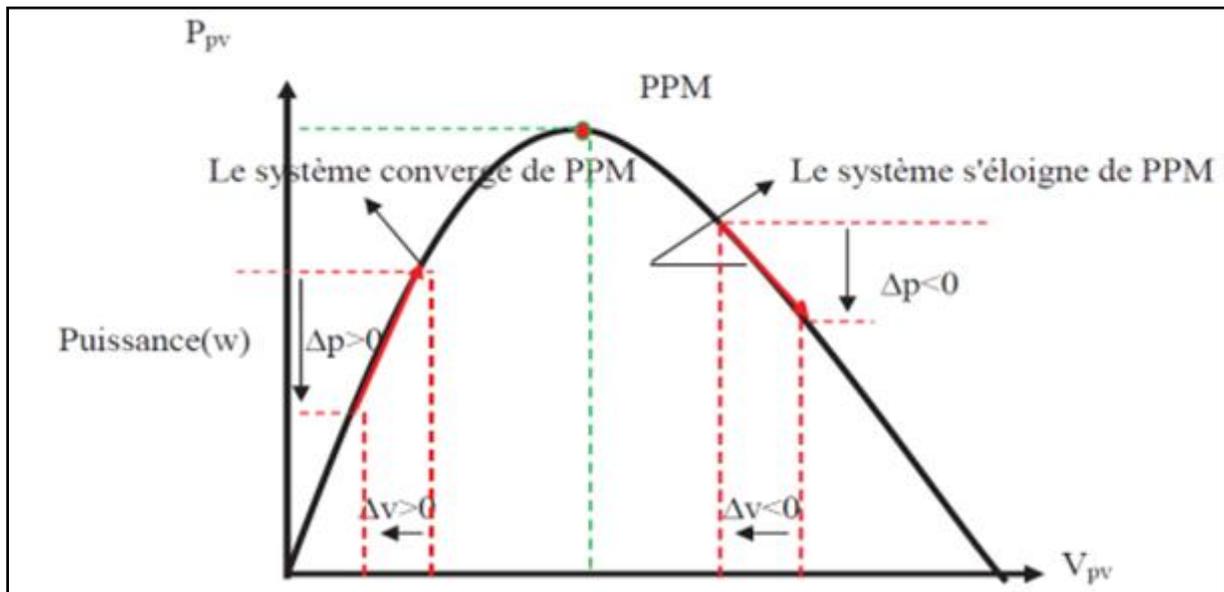


Figure (III.4):Schéma de converge vers le PPM par P&O.

La Figure (III.5) représente l'algorithme classique associé à une commande **MPPT** de type **P&O**, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension. Pour ce type de commande, deux capteurs (mesurant le courant et la tension des panneaux **PV**) sont nécessaires pour déterminer la puissance du **PV** à chaque instant. La méthode P&O est aujourd'hui largement utilisée de par sa facilité d'implémentation. Cependant, elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du **MPPT** qu'elle engendre en régime établi, car la procédure de recherche du **MPP** doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du **MPP**. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du **MPP**, il faut donc trouver un compromis entre précision et rapidité, ce qui rend cette commande difficile à optimiser. Il est connu que ce type de commande permet d'obtenir un rendement plus important durant une journée relativement ensoleillée, où la **MPP** évolue lentement et proportionnellement avec le soleil. Par contre, pour une journée avec de forts et fréquents changements d'irradiations, cette commande présente beaucoup plus de pertes, en raison du temps de réponse de la commande pour atteindre le nouveau **MPP** [21].

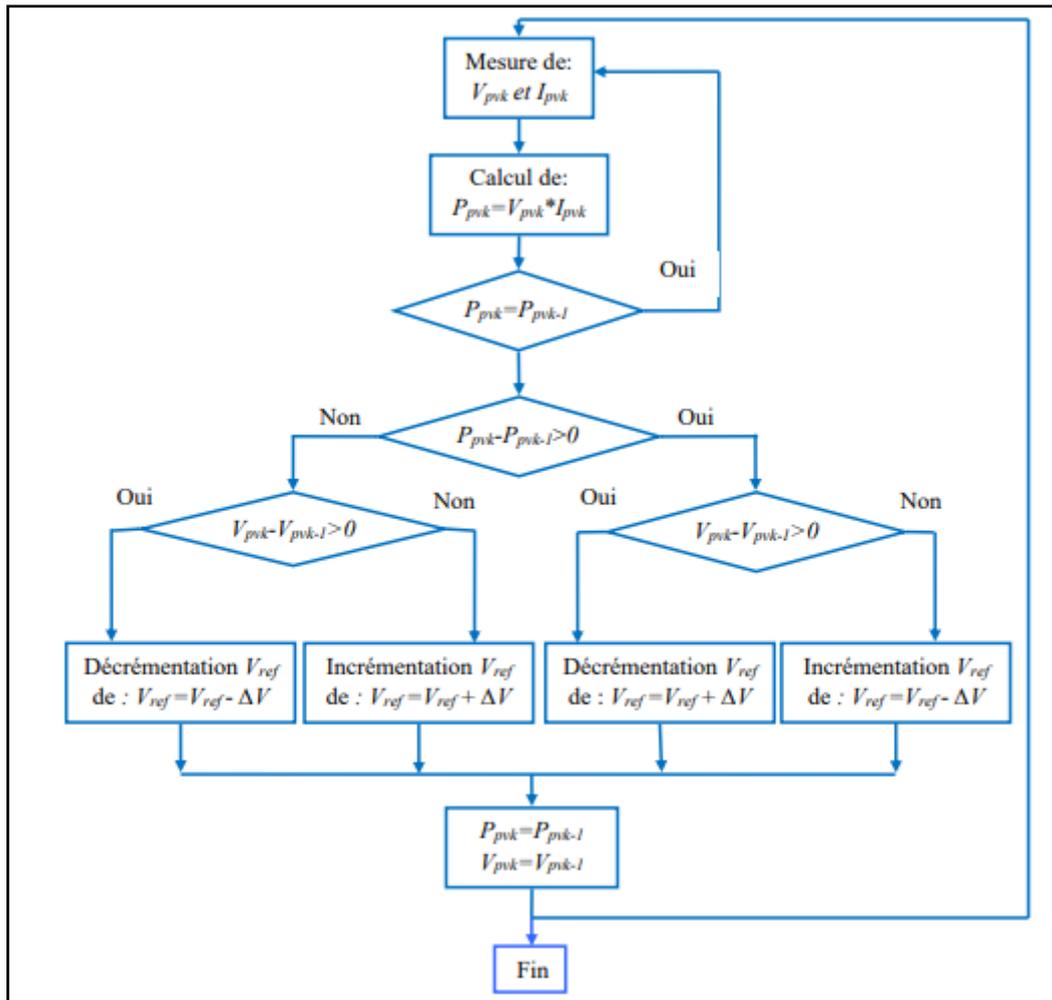


Figure (III.5) : Algorithme type de la méthode P&O.

III.5.2.2. Méthode de conductance incrémentielle

Cette méthode s'intéresse directement aux variations de la puissance en fonction de la tension. La puissance produite par le générateur PV peut être exprimée par :

$$P_{PV} = V_{PV} \cdot I_{PV}$$

La conductance et l'incrémentement de la conductance peuvent être identifiées en dérivant l'équation par rapport à la tension V_{pv} :

$$\frac{1}{V_{PV}} \cdot \frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} = \frac{I_{PV}}{V_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dv_{pv}}$$

Cette relation est égale à zéro au point de puissance maximale. Ceci mène à l'ensemble d'équations suivantes :

$$\frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} = 0 \rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$$

Le point de fonctionnement est sur PPM.

$$\frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} > 0 \rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$$

Le point de fonctionnement est a gauche du PPM.

$$\frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} < 0 \rightarrow \frac{dI_{pv}}{dv_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}}$$

Le point de fonctionnement est à droit du PPM

Son principe consiste à comparer entre la conductance $G = I_{pv} / V_{pv}$ et sa dérivée

$\Delta G = dI_{pv} / dV_{pv}$ et décider ensuite quant augmenter ou diminuer la tension photovoltaïque afin d'attendre le point de puissance maximale (PPM) où $dP_{pv} / dV_{pv} = 0$ la méthode de conductance incrémentielle est souvent jugée efficace de point de vu efficacité de recherche du point de puissance maximale. Cependant l'algorithme à implémenter souvent complexe de calcul, ce qui réduit la période de contrôle du système [20], [22], [23]

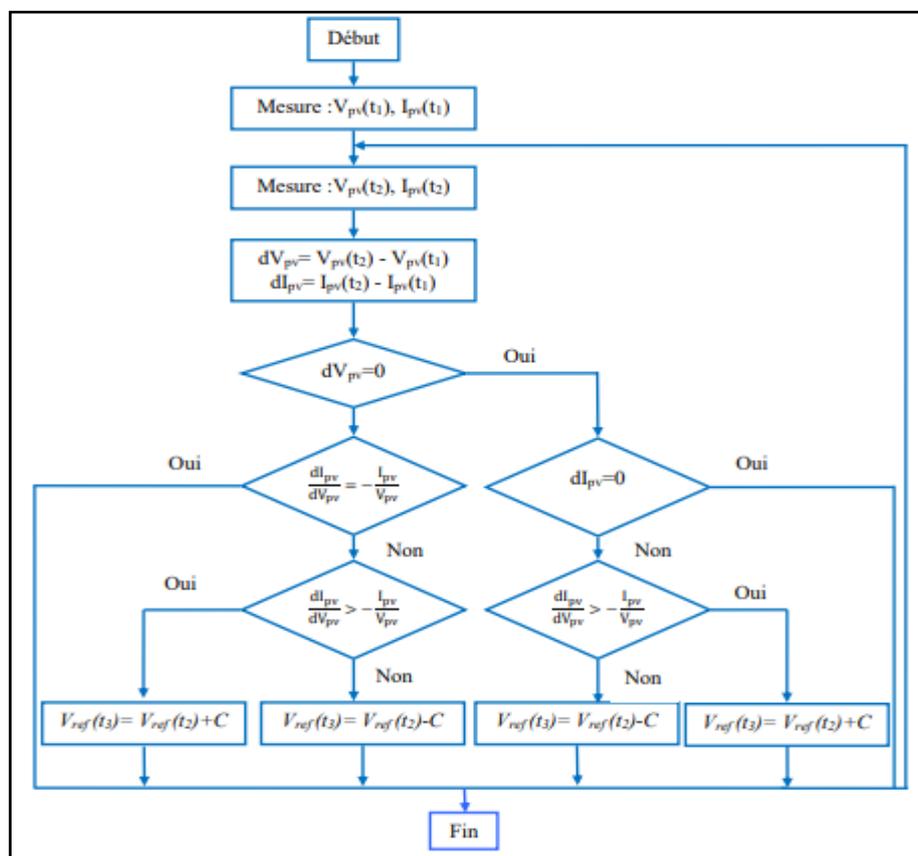


Figure (III.6) : Organigramme de la méthode conductance incrémentielle.

III. 5.2.3. Commande MPPT classique

Lors de notre recherche bibliographique, une méthode simple a retenu notre attention. Le point de puissance maximale est obtenu lorsque la pente dP_{pv} / dV_{pv} par rapport à la valeur recherchée (c'est-à-dire 0) est atteinte.

Le contrôle qui fournit une extraction continue du point de puissance maximale est donné par l'équation suivante :

$$V_{opt} = k \cdot \int \frac{dp_{pv}}{dv_{pv}} \cdot dt = k \cdot \int \frac{\Delta p_{pv}}{\Delta v_{pv}} \cdot$$

Ou :

- V_{OPT} : Tension optimale qui donne une puissance maximale.
- K : Gain proportionnel.
- $dppv/ dVpv$: Variation de la puissance en fonction de la tension.
- ΔPpv : Variation de puissance entre deux points de fonctionnement.
- ΔVpv : Variation de tension entre deux points de fonctionnement.

Le schéma fonctionnel de commande est montré sur la figure suivante :

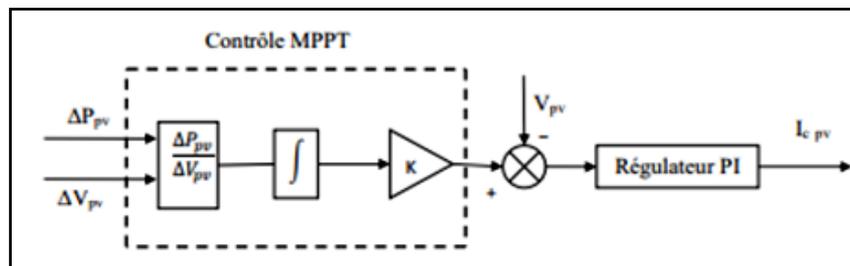


Figure (III.7) : Schéma fonctionnel de la commande MPPT classique.

III.6 Convertisseur continu- continu (Hacheur)

Pour convertir l'énergie solaire avec un meilleur rendement, il est indispensable de travailler avec un point de fonctionnement à puissance maximale. Le générateur photovoltaïque fournit sa pleine puissance en un point de fonctionnement bien déterminé dans la caractéristique $I=f(V)$. En effet, il serait judicieux de se positionner en ce point précis, mais malheureusement il fluctue dans de larges proportions à cause des variations de la température et de l'éclairement. Pour pallier à ce problème et augmenter le rendement énergétique du système, un dispositif électronique basé sur un convertisseur **DC-DC**, est intercalé entre le générateur photovoltaïque et la charge. Le maintien de ce point de fonctionnement au point de puissance maximale est assuré par le contrôle continu du rapport cyclique de ce convertisseur de puissance. Néanmoins, ce dispositif nécessite beaucoup d'attention que ce soit sur l'aspect dimensionnement, contrôle ou asservissement afin d'éviter l'instabilité du système [24]

III.6.1 Types de convertisseurs

On distingue trois types de convertisseur statique :

III.6.1.1 Hacheur dévolteur ou abaisseur (Buck)

On appelle hacheur dévolteur lorsque l'interrupteur est placé en série avec la charge, il est employé pour les faibles tensions il convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Dans les applications **PV**, Ce type de Convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est éloigné du **MPP** le convertisseur Buck est habituellement employé comme chargeur de batteries Son schéma de base est donné par la figure suivante [25]

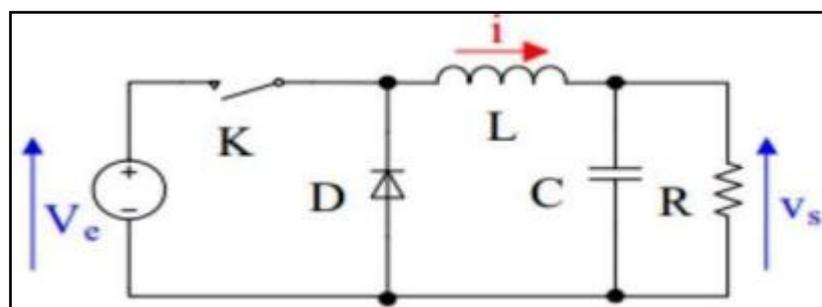


Figure (III.8) : Hacheur dévolteur ou abaisseur.

III.6.1.2 Hacheur survolteur ou élévateur (booste)

On appelle hacheur survolteur lorsque l'interrupteur est placé en parallèle avec la charge, il a le rôle de convertir une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce type de convertisseur peut être utilisé pour alimenter le réseau via un onduleur. Son schéma de base est donné par la figure suivante [25]

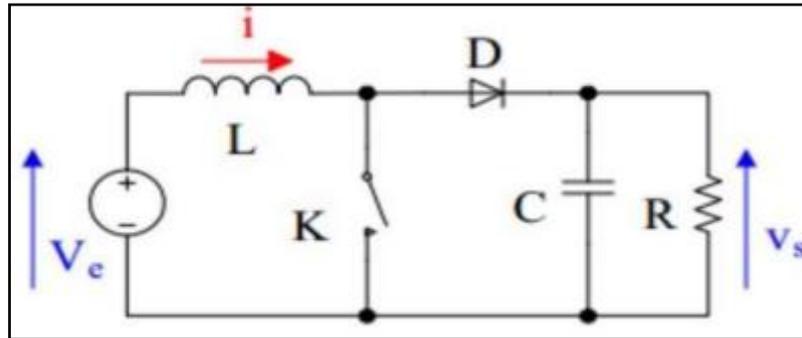


Figure (III.9) : Hacheur survolteur ou élévateur.

III.6.1.3 Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-Booste)

Le hacheur abaisseur –élévateur combine les propriétés des deux convertisseurs précédents son schéma de base est donné par la figure suivante : [25]

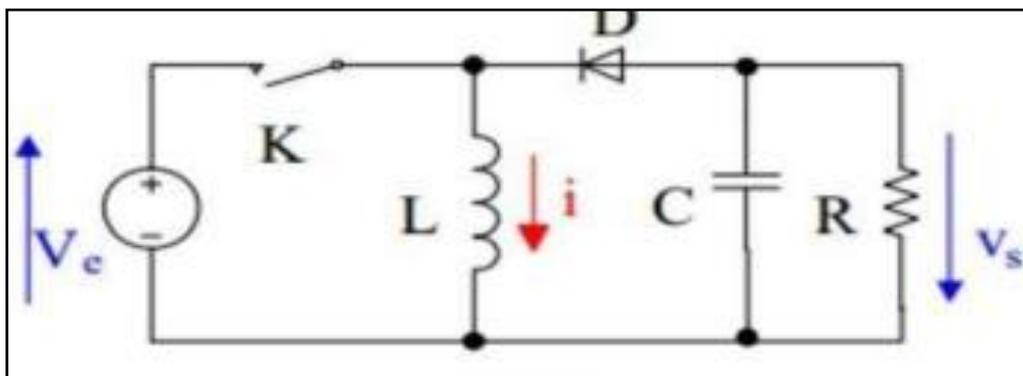


Figure (III.10) : Hacheur abaisseur-élévateur.

III.7 Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la Figure (III.12), présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c-à-d entre $[0, \alpha.TS]$ [26].

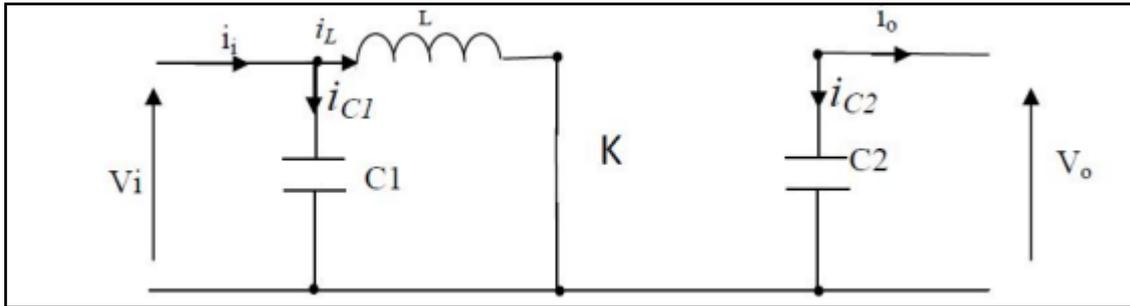


Figure (III.12): Schéma équivalent du hacheur survolteur quand $t \in [0, \alpha.TS]$.

Comme pour le circuit Buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

$$i_{C1} = C_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_L(t)$$

$$i_{C2} = C_2 \frac{dv_o(t)}{dt} = -i_o(t)$$

$$v_L(t) = l \frac{di_L(t)}{dt} = v_i(t)$$

a l'état ouvert de l'interrupteur **K**, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant :

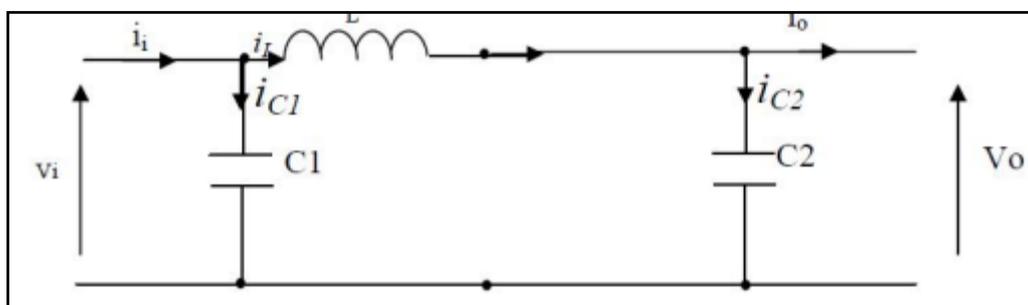


Figure (III.13) : équivalent d'un hacheur survolteur lorsque $t \in [\alpha. TS, TS]$.

$$i_{c1}(t) = c_1 \frac{dv_i(t)}{dt} = i_i(t) - i_l(t)$$

$$i_{c2}(t) = c_2 \frac{dv_0(t)}{dt} = i_l(t) - i_0(t)$$

$$v_l(t) = l \frac{di_l}{dt} = v_i(t) - v_0(t)$$

L inductance L2 à l'entrée est choisie suffisamment élevée pour lisser le courant d'entrée i_2

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre l'étude du principe de la recherche du point de puissance maximum **MPP** pour différents algorithmes a été envisagée. Un rappel sur différents types de convertisseurs **DC/DC** comme étage d'adaptation ont été étudiés. Nous avons aussi rappelé le fonctionnement de MPPT et cité quelques algorithmes qui existent.

Chapitre IV

Simulation et résultat

IV .1 Introduction

Dan se but de pouvoir visualiser les caractéristiques (I-V) et (P-V) sous l'effet de l'ombrage il faudra faire la schématisation électrique de ce phénomène, en modélisant le GPV, la diode et la variation de l'insolation Pour cela l'environnement Matlab/simulink est convenable à faire cette simulation.

Notre étude a été divisée en deux parties : pratique /simulation

IV.2 Partie pratique

L'ombrage partiel des panneaux photovoltaïques est en effet un problème important, car il réduit l'efficacité des installations solaires et peut causer plusieurs pics dans les caractéristiques courant-tension (I-V), puissance-tension (P-V). Dans une étude expérimentale menée dans la région Annaba au centre d'innovation à ELBOUNI, un profil d'ombrage a été testé sur des panneaux photovoltaïques, et l'impact de l'ombrage a été mesuré.

L'étude a évalué l'influence de la caractéristique inverse de la cellule ombragée sur le système photovoltaïque, en mettant en lumière les effets sur le rendement lorsque l'ombrage est causé par une feuille blanche. Dans ce scénario, l'ombrage a été provoqué en plaçant une feuille au-dessous du panneau. L'objectif était probablement de comprendre comment l'ombrage affectent la performance des panneaux solaires et, par extension, l'efficacité globale du système photovoltaïque.

IV.2.1. Description de l'installation

En plus de l'équipement de mesure, notre installation comprend deux panneaux monocristallins connectés en série qui délivrent un maximum de 80 watts dans des conditions de tests standards La charge est une résistance réglable.

Notre installation ne comporte pas de suiveur solaire. Nous avons fait l'expérience le 02/05/2024 qui a duré une journée où chaque heure nous avons mesuré les valeurs (courant, tension).

Le modèle inclut les spécifications électriques, telles que la puissance optimale, la tension de circuit ouvert, le courant de court-circuit :

Nombre de cellules connecte en série	36
Tension au point de puissance maximale	17.86V
Courant au point de puissance maximale	4.50A
Tension de circuit ouvert	21.96V
Courant de court-circuit	5.06A

Tableaux(IV.1) : caractéristique des panneaux.

- Dans le tableau ci-dessous, on trouve les résultats obtenues :

U	0.2	5	9	9	9	10	11	14	16	19.25	20
I	5	4.6	4.4	4	3.5	3.25	3.25	3.25	3.25	2.75	1.5

1) Les résultats:

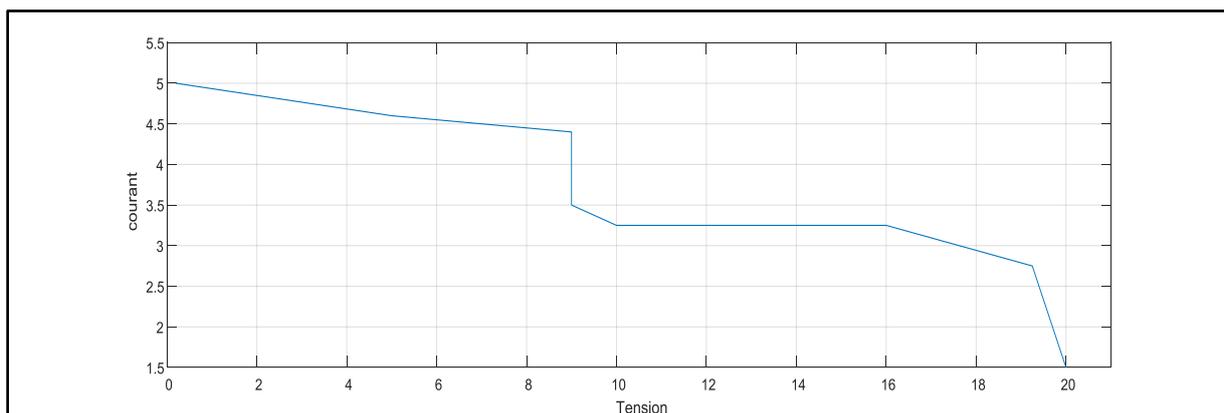


Figure (IV .1):Caractéristiques (I-V) sous l'influence de l'ombre partielle.

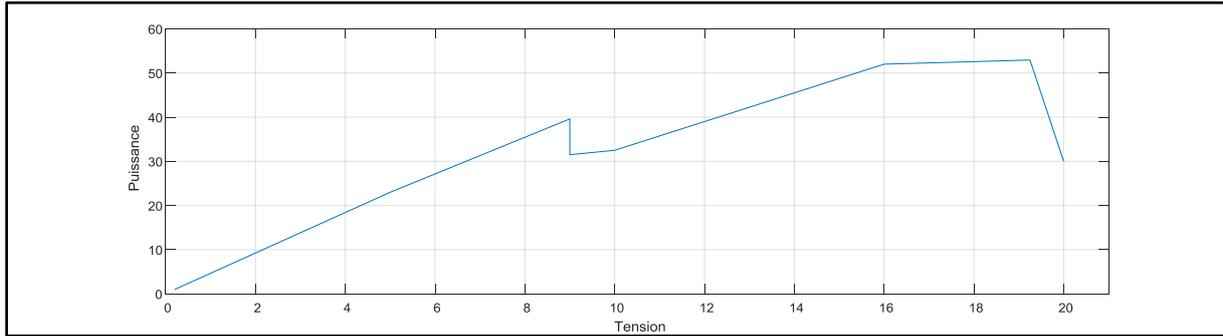


Figure (IV.2) : caractéristiques (p-V) sous l'influence de l'ombre partielle.

Les figures (IV.2) et (IV.3) représentent les caractéristiques (I-V), (P-V) sous l'influence de l'ombre partielle.

IV.3 Partie simulation

IV.3.1 Etude de notre système sans effet ombrage

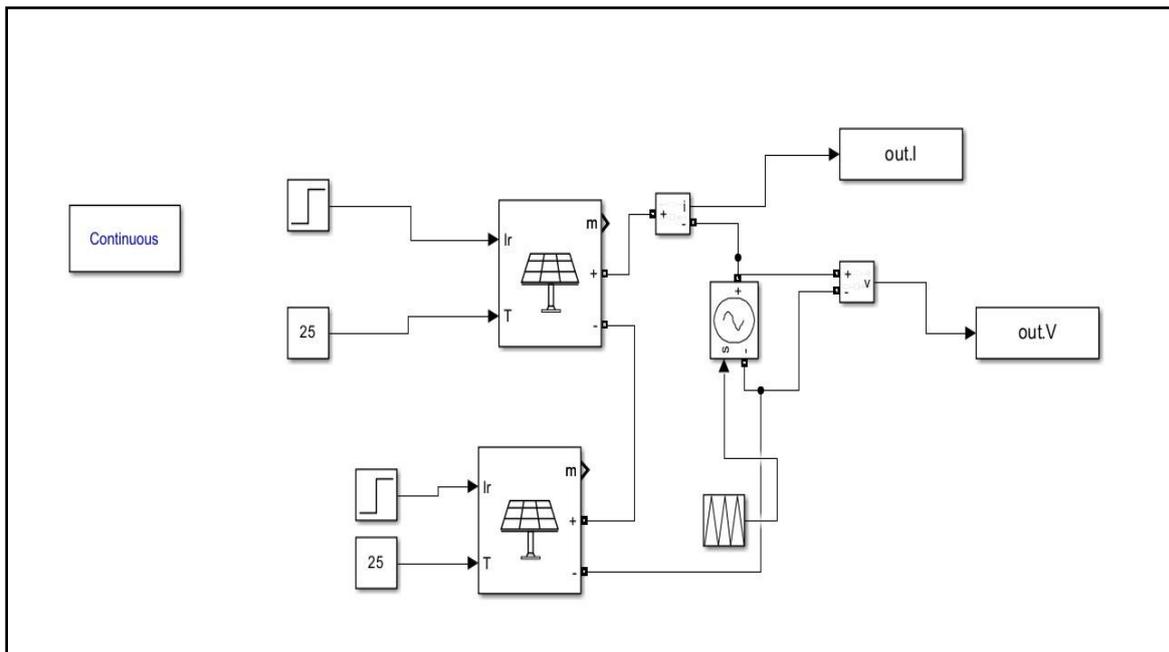


Figure (IV.3) : Schéma bloc de GPV sans effet ombrage.

2) Les résultats:

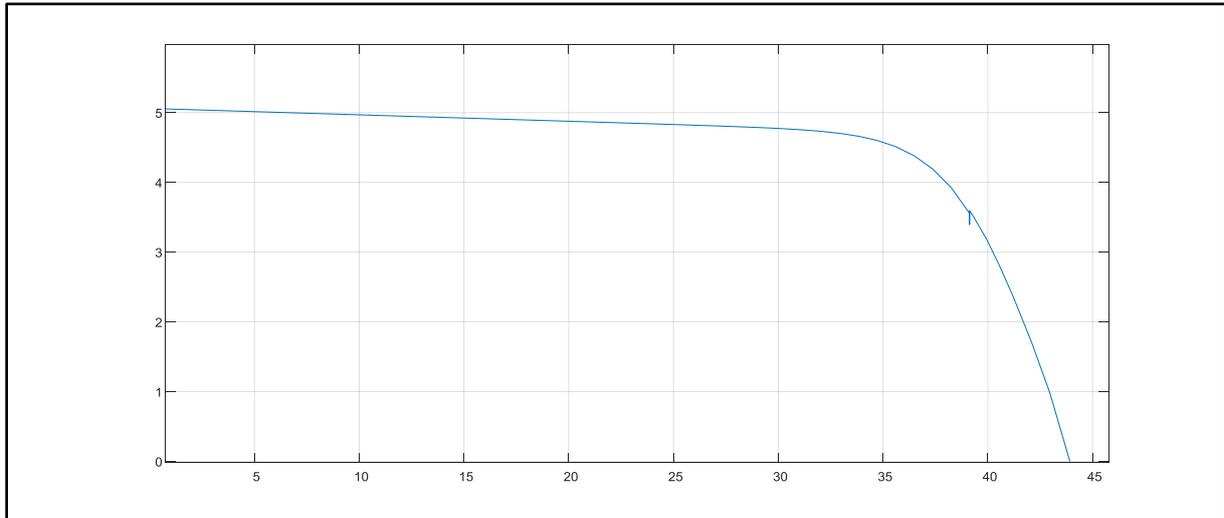
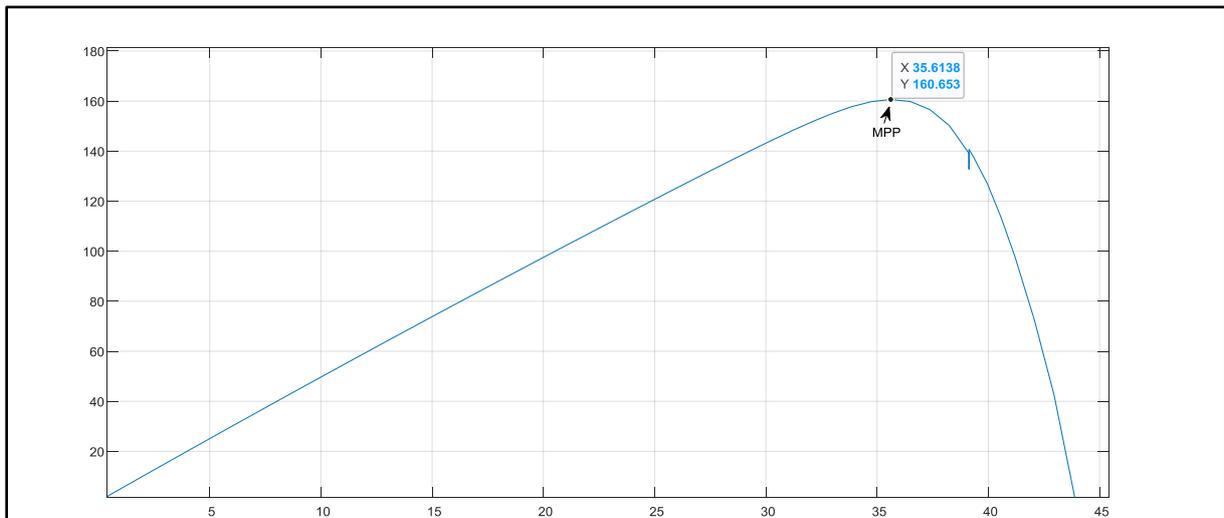


Figure (IV.4) : Caractéristiques (I-V) Sans effet ombrage.



Figure(IV.5) : Caractéristiques (p-V) Sans effet ombrage.

✓ Nous remarquons que la puissance optimale produite par notre système est :
MPP=160.653W

IV.3 .2 étude sous effet ombrage

Dans le but de pouvoir visualiser les caractéristiques (I-V), (P-V), sous l'effet de l'ombrage une simulation a été faite sous environnement Matlab Simulink

Tout d'abord il faudra la schématisation électrique de ce phénomène, en modélisant le module PV, la diode et la variation de l'insolation.

Deux modules photovoltaïques sont connectés en série, la borne négative est reliée à la borne positive du deuxième module. Les deux modules sont connectés en parallèle avec deux diodes by-pass, celle-ci protègent les modules photovoltaïques des tensions inverses. Pour mesurer la tension aux bornes du module PV on introduisant un voltmètre aux bornes de ce dernier. Le courant produit par les deux modules photovoltaïques sera mesuré par un ampèremètre introduit en série avec les deux modules. Ceux-ci nous permettront de calculer la puissance produite par l'ensemble. La source de voltage contrôlée par une rampe sert à faire varier la tension d'entrée. Les deux modules sont soumis à des conditions météorologiques différentes ($E=1000W/m^2$ et $E=600W/m^2$) et une température constante $T=25^\circ$.

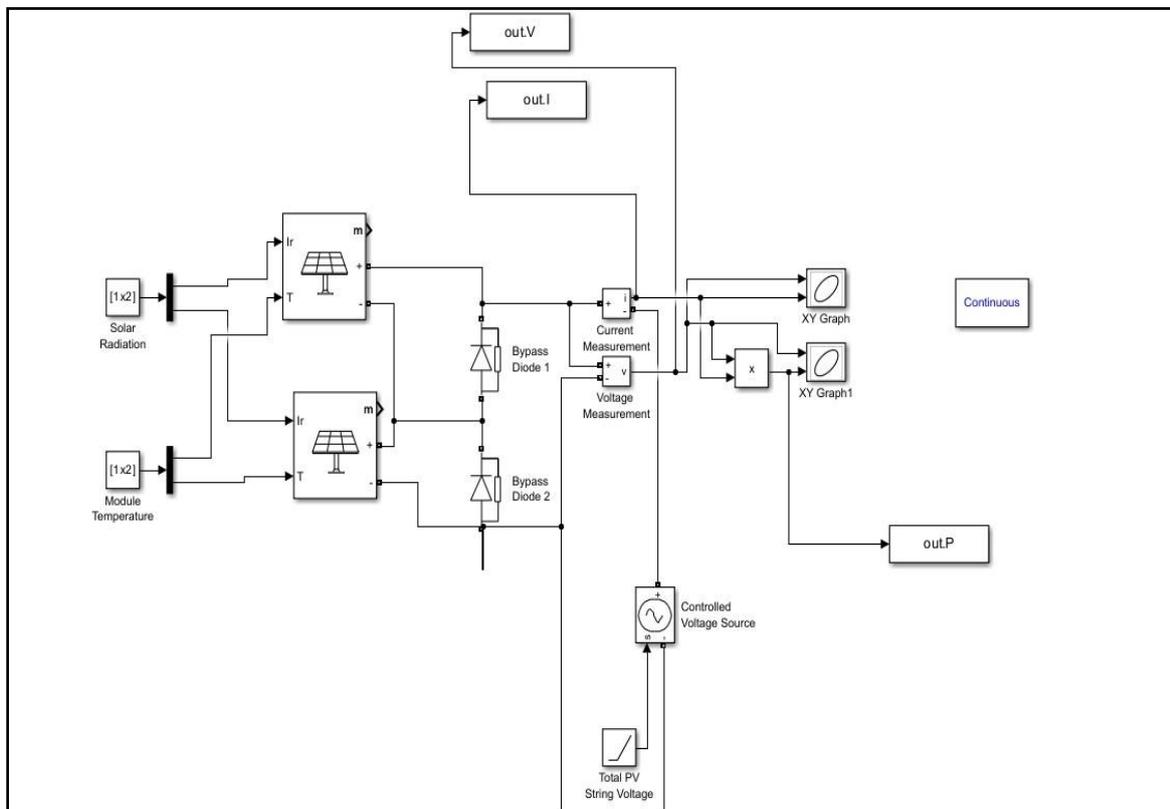


Figure (IV.6) : Schéma bloc de deux modules en série sous l'effet d'ombrage.

3) Les résultats :

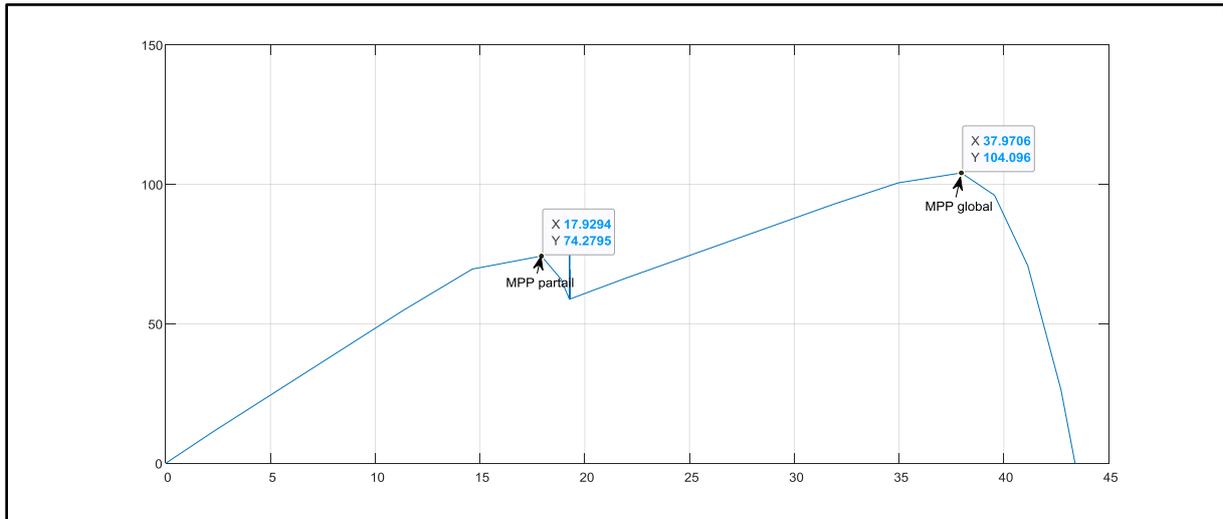
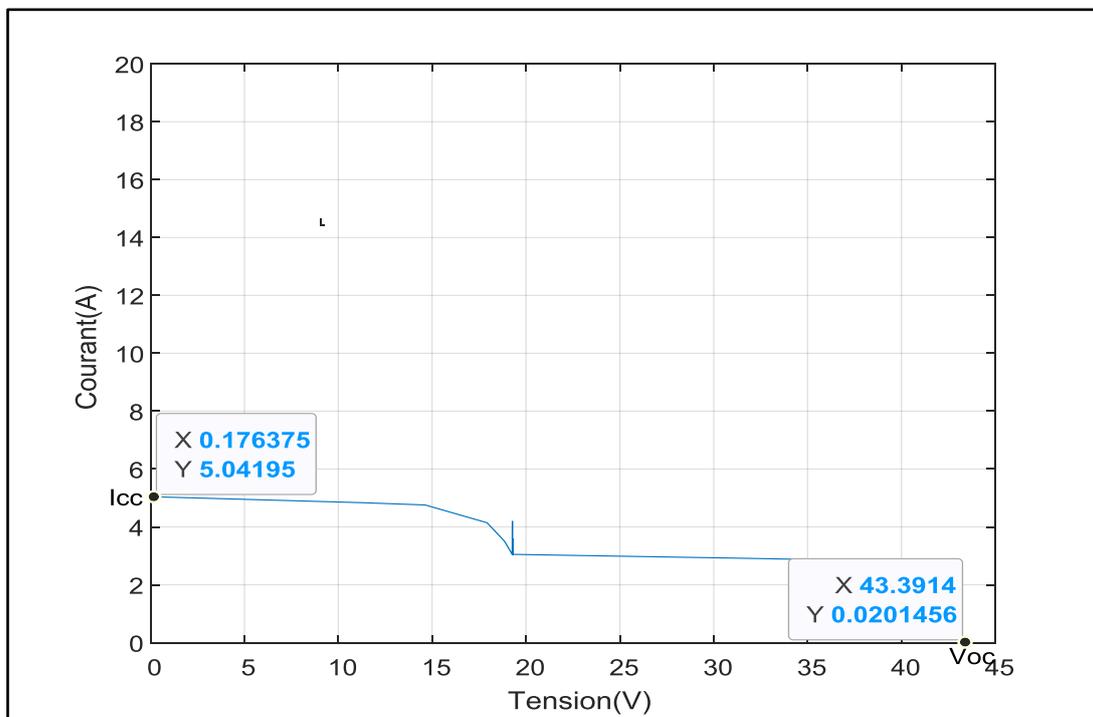


Figure (IV.7) : caractéristique (P.V) d un générateur photovoltaïque sous l’effet d’ombrage.

Dans cette figure on remarque l’apparence de deux points de maximum de puissance respectivement aux insolationes $E= 1000W/m^2$ et $E=600W/m^2$, cela est dû à l’effet de l’ombrage.

Les mêmes remarques sont valables pour les caractéristiques ci-dessous.



Figure(IV.8): caractéristique (I.V) d un générateur photovoltaïque sous l’effet d’ombrage.

IV.3 .3 Implémentation de la commande MPPT

Pour faire fonctionner le panneau PV au MPP, le convertisseur DC-DC de type BOOST contrôlé par la commande MPPT est inséré entre le panneau et la charge. Il existe plusieurs algorithmes MPPT pour localiser le MPP, le plus utilisé dans la littérature concerne la méthode Perturb and Observe (P&O) .

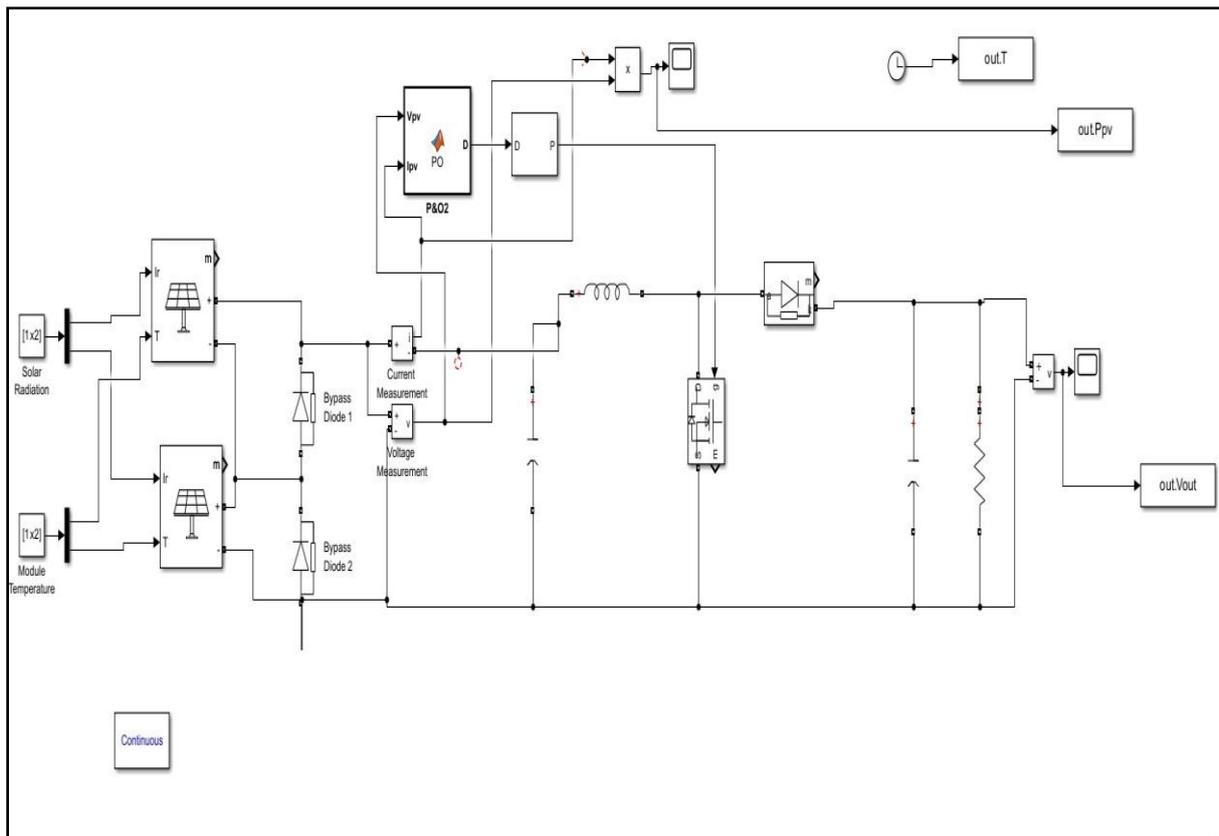
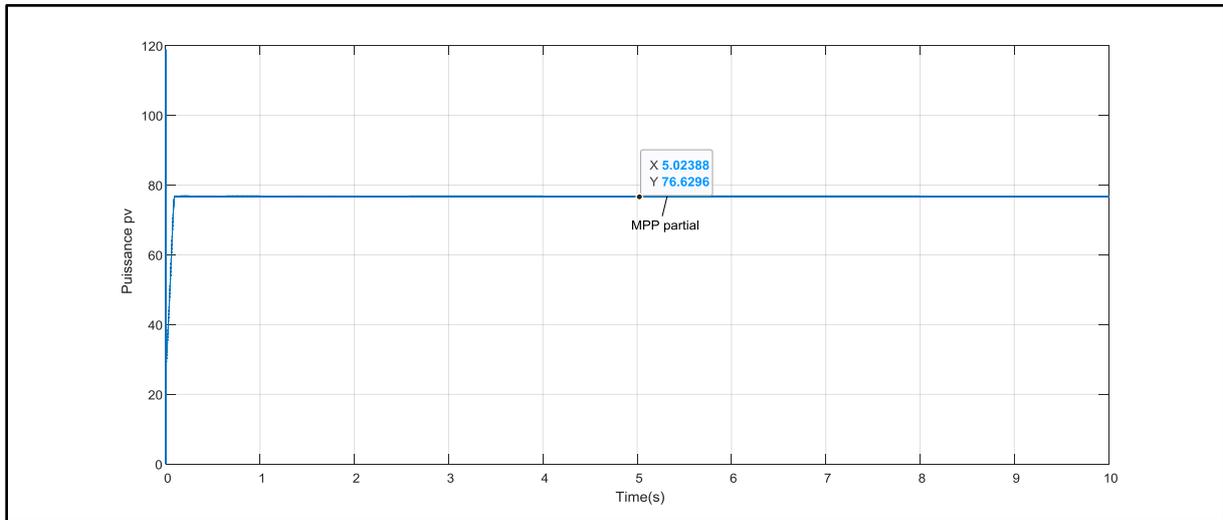


Figure (IV.9): Schéma bloc du système PV adapté par la commande Mppt (perturbation et observation).

4) Les résultats :



Figure(IV.10): la puissance délivrée par le PV commande par P&O.

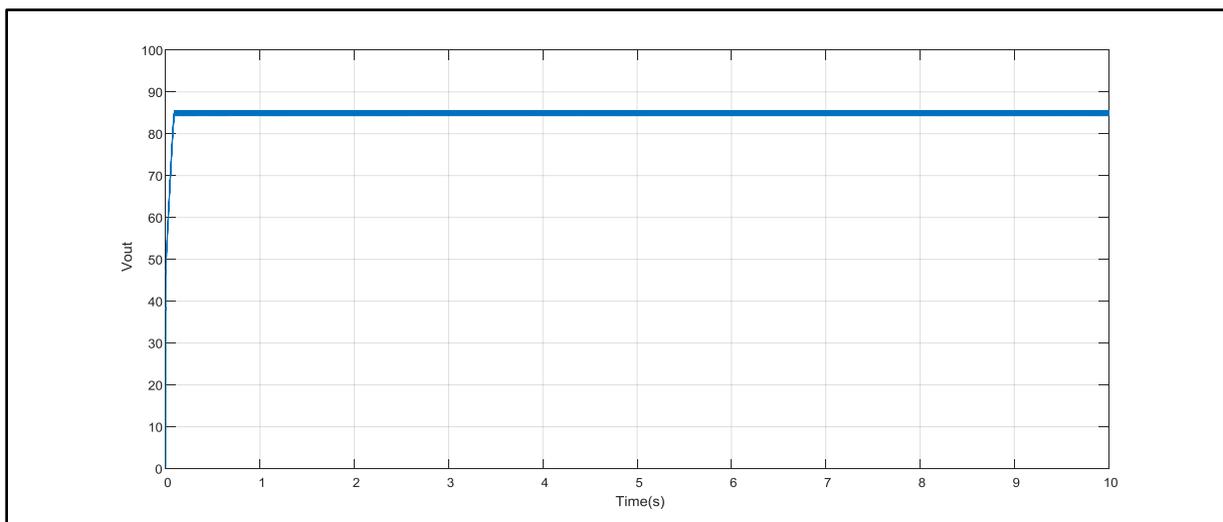


Figure (IV.12): la tension de sortie commandée par P&O.

Comme le montre ;la figure (IV.11), que l’algorithme (P&O) mène le système photovoltaïque au MPP local.

IV.4 conclusion

Bien que l'algorithme Perturb and Observe soit largement utilisé dans les systèmes photovoltaïques, il peut rencontrer des limitations dans les systèmes sous effet d'ombrage en raison des variations rapides de l'irradiance solaire. Dans de telles situations, d'autres algorithmes plus avancés ou des stratégies de gestion de l'ombrage peuvent être préférables pour maximiser l'efficacité et la production d'énergie du système.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, cette étude met en évidence l'importance critique de comprendre et de gérer les effets de l'ombrage sur les performances des systèmes photovoltaïques (PV). L'ombrage, qu'il soit dû à des obstacles naturels tels que les arbres ou les bâtiments environnants, ou à des conditions météorologiques changeantes comme les nuages, peut avoir un impact significatif sur la production d'énergie solaire.

Nos résultats ont démontré que même une petite quantité d'ombrage peut entraîner une diminution notable de l'efficacité du système PV.

Cependant, des solutions existent pour atténuer ces effets néfastes de l'ombrage. Des techniques telles que l'utilisation de micro-onduleurs, de modules à contour de cellules, ou encore une optimisation minutieuse de l'orientation et de l'agencement des panneaux solaires peuvent contribuer à maximiser la production d'énergie même dans des conditions ombragées.

En définitive, cette étude souligne l'importance de considérer l'ombrage comme un facteur clé lors de la conception, de l'installation et de l'exploitation des systèmes photovoltaïques. En adoptant des stratégies appropriées pour gérer l'ombrage, il est possible d'améliorer de manière significative la performance et la fiabilité des installations solaires, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace et durable de l'énergie solaire.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Ben Ali Mohammed elhabib ,Krobba Ahmed Houssem Eddine,(Étude de L'asservissement d'un panneaux photovoltaïques avec un régulateur intelligent),
Mémoire de Master 2, Université Amar TELIDJI LAGHOUAT ,2022/2023

[2] ZAÏRI Soufiane ,BOUBIADA Slimane ,(Étude et Dimensionnement d'un centrale Photovoltaïque), mémoire de Master 2, Université de Biskra,13/09/2020

[3] TALBI NABIL, CHERGUI Aghiles ,(Intégration de l'énergie solaire dans la gestion énergétique optimisée pour un bâtiment), Université de Béjaïa ,2019/2020(Mode de fonctionnement...pv)

[4] <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11514/3/chapitre%2001.pdf>

[5] DJAIOU Salem ,AICHOUCHE Oussama,(UTILISATION DES ENERGIES PHOTOVOLTAÏQUE DANS UN LABORATOIRE D'ANALYSE MEDICALE (Ghardaïa)) mémoire de Master 2, Université Saâd Dahleb –Blida1 ,2021/2022

[6]•(<https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/panneau-solaire-photovoltaïque/types-cellules-solaires.html>) Publié le 14/12/2021, mis à jour le 22/02/2023

[7] Julien Reynaud ,(Les cellules photovoltaïques :source inépuisable d'innovations),
publié le 26/02/2021 | mis à jour le 17/06/2023 |

[8] M BOUKAIS ,(Modélisation de la cellules photovoltaïque) ,université de Tiaret ,2017

[09]"Ombrage"<https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ombrage.html>,
(ombrage)

[10] Benblidia Houssam,Kerkar Amar,(Etude de l'effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque),mémoire de master2, saad dahlab blida,2015

Références bibliographiques

- [11] <https://www.electron-solaire.fr/post/l-ombre-sur-les-panneaux-photovolta%C3%AFques>, (L'ombre sur les panneaux photovoltaïque), 8/01/2023
- [12] A. B. learreta réalisation de commandes MPPT numériques ”, Projet fin d'études université rovira/virgili.
- [13] C. Cédric “optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédiée à la conversion photovoltaïque ”, Thèse de doctorat université de Toulouse 2008.
- [14] K. Kassmi, M. Hamlaoui et F. Olivier Conception et modélisation Dun système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique ”, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 (2007) 451 – 462.
- [15] T. Mrabti, M. El Ouariachi, K. Kassmi, F. Olivié et F. Bagui Conception, modélisation et réalisation dun système photovoltaïque de moyenne puissance”, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°4 (2008) 567 – 575
- [16] BELKAID Abdelhakim : « Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome » thèse doctorat de L'Université FERHAT ABBAS - SETIF 1 (2015).
- [17] A. Hania, “MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE Option : Maîtrise des Energies destiné aux fortes puissances PV,” 2014
- [18] Minwon Park, In-Keun Yu, Member IEEE, « A Study on the Optimal Voltage for MPPT obtained by Surface Temperature of Solar Cell >>, Changwon National University, Corée du Sud, 2000
- [19] S. Lalouni, « Etude, commande et simulation d'une chaine hybride (photovoltaïque-éolienne) de production d'énergie électrique », Thèse de Doctorat de l'Université de Bejaia, Algérie, 2009.

Références bibliographiques

[20] A.T. Singo, « Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome », Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1, France, 2010.

[21] S. Belakehal, « Conception & commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables », Thèse de Doctorat de l'Université de Constantine, Algérie, 2010

[22] Z. Laid, « Etude technique d'un système d'énergie hybride photovoltaïque –éolien hors réseau », Thèse de Doctorat de l'Université de Constantine, Algérie, 2010

[23] F. Belhachat “ Commande neuro-floue d d'un hacheur MPPT ”, MAGISTER ENP, juin 2007

[24] D.Djazira “Réalisation d un chargeur de batterie base sur la commande MPPT photovoltaïque “; Master Académie . juin 20022.

[25] M.N.Mchalikh et CH.Hmada’’Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau ’’ Mémoire de Master Université Kasdi