

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Génie électrique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Présenté par :

AMAMRA MOHAMMED SALAH

DJEDIDI YAHIA

Thème:

**Optimisation de la production d'un générateur
photovoltaïque**

Soutenu publiquement

Le : 09/06/2015

Devant le jury :

Mr Djafour Ahmed	MC (A)	Président	UKM Ouargla
Mr Louazene Mohamed Lakhdar	MA (A)	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mme Benbouza Naima	MA (A)	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

nous voudrions exprimer nos profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'avancement de notre travail de recherche.

Nous tenons à remercier profondément notre directeur de recherche, Mr. LOUAZENE Lakhdar, pour la confiance qu'il a bien voulu nous accorder en acceptant de diriger ce travail et pour nous avoir guidé tout au long du mémoire pour ses conseils, ses critiques et son attitude exemplaire tout au long de la réalisation de ce travail de recherche.

Aussi, nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail et tous les individus de département du génie électrique de l'Université de Kasdi Merbah.

Finalement, nous tenons à remercier tous les membres de nos familles pour leur soutien et leur aide . Nous leur serons reconnaissants toute notre vie.

Yahia & Salah



Dédicaces

*Nous dédions ce travail aux nos familles...
aux âmes de nos amis*

*Ben meklouf Salah
Khanfar Oumaima*

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Energie solaire photovoltaïque	
I.1. Introduction	3
I.2 Le soleil	3
I.3 Aspects énergétiques du rayonnement solaire.....	4
I.4 Les différents types de rayonnement.....	4
I.5 Rayonnement solaire	5
I.5.1 Rayonnement direct	5
I.5.2 Rayonnement diffus	5
I.5.3 Le rayonnement solaire réfléchi.....	5
I.5.4 Rayonnement global.....	5
I.6 Solaire Photovoltaïque.....	6
I.7 Les filières technologiques.....	7
I.7.1 Le silicium	7
I.7.1.1 Le silicium mono-cristallin	7
I.7.1.2 Le silicium multicristallin (Polycristallin).....	7
I.7.2 Les couches minces	8
I.7.3 Cellules organiques et plastiques	10
I.8 Conclusion	11

Chapitre II : Etude du Système photovoltaïque

II.1. Introduction	12
II.2 L'Effet Photovoltaïque.....	12
II.3 La cellule photovoltaïque	14
II.4 Les modules (ou panneaux).....	15
II.5 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV).....	15
II.6 Regroupement des cellules.....	15
II.6.1 Regroupement en série.....	15
II.6.2 Regroupement en parallèle.....	16
II.6.3 Regroupement (série et parallèle).....	17
II.7 Modélisation d'une cellule photovoltaïque	18
II.7.1 Cellule photovoltaïque idéal.....	18
II.7.2 Cellule photovoltaïque réel.....	19
II.8 Module photovoltaïque Simens.....	20
II.9 Influence de la température.....	23
II.10 Influence de l'éclairement.....	25
II.11 Conclusion.....	26

Chapitre III : Les méthodes d'optimisation

III.1. Introduction	27
III.2 Connexion direct entre la source et la charge	27

III.3 Étage d'adaptation entre un Générateur PV et une charge.....	29
III.4 Le convertisseurs DC-DC.....	30
III.4.1 Le convertisseurs BOOST.....	30
III.4.2 Convertisseur Buck	31
III.5 Principe de fonctionnement de MPPT.....	32
III.6 Classification de l'algorithme de suiveur la puissance max.....	34
III.6.1 Les méthodes indirectes.....	34
III.6.1.1 La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur.....	35
III.6.1.2 La méthode de court-circuit.....	35
III.6.2 Les méthodes directes.....	35
III.6.2.1 La méthode Perturbe & Observe (P&O).....	36
III.7 Optimisation par la méthode intelligente Les techniques MPPT de réseaux de neurones artificiels.....	38
III.8 Conclusion	40

CHAPITRE IV : Simulation du système photovoltaïque

IV.1 Introduction	41
IV.2 Simulation d'un système photovoltaïque.....	41
IV.3 Fonctionnement sous des conditions standard.....	43
IV.4 Eclairage variable et température constante.....	45
IV.5 Température variable et éclairage constant.....	47
IV.6 Connexion générateur PV - Charge.....	49
IV.7 Conclusion.....	51

Liste des figures

Chapitre I

- Figure I.1 : Classification des divers rayonnements électromagnétiques
Figure I.2 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal
Figure I.3 : Photos de cellules monocristalline et multicristalline
Figure I.4 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe)
Figure I.5 : Cellule PV organique.

Chapitre II

- Figure II.1 : Coupe transversale d'une cellule PV typique.
Figure II.2: Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque
Figure II.3: Caractéristique courant tension de N_s cellule en série.
Figure II.4 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle
Figure II.5 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal.
Figure II.6 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel .
Figure II.7 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.
Figure II.8 : La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température.
Figure II.9 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.
Figure II.10 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

Chapitre III

- Figure III.1 : Connexion directe entre un GPV et une charge.
Figure III.2: Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.
Figure III.3 : Etage d'adaptation entre une GPV et une charge.
Figure III.4 : Le convertisseur Boost.

Figure III.5: Convertisseur Buck.

Figure III.6 : La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM.

Figure III.7 : La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM.

Figure III.8: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

Figure III.9: Schéma de convergence vers le PPM par P&O.

Figure III.10 : Algorithme de MPPT à base de la méthode P&O.

Figure III.11 : Exemple d'un réseau de neurones.

Chapitre IV

Figure IV.1: Schéma bloc de la simulation d'un système PV avec la commande MPPT.

Figure IV.2 Schéma bloc d'algorithme MPPT

Figure IV.3 La puissance de sortie (rouge) et GPV(Blue).

Figure IV.4 Le courant de sortie (Rouge) et GPV(Blue).

Figure IV.5 La tension de sortie (Rouge) et GPV(Blue).

Figure IV.6 Changement d'éclairement.

Figure IV.7 Courbe de puissance P(t) du GPV.

Figure IV.8 Courbe de courant I(t) du GPV.

Figure IV.9 Courbe de tension V(t) du GPV.

Figure IV.10 Changement de la température.

Figure IV.11 Courbe de puissance P(t) du GPV.

Figure IV.12 Courbe de courant I(t) du GPV.

Figure IV.13 Courbe de tension V(t) du GPV.

Figure IV.14 variation de puissance en fonction de la charge.

Figure IV. 15 variation des puissances en fonction de la température.

Figure IV. 16 variation des puissances en fonction de l'éclairement.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Caractéristique électrique d'un module photovoltaïque SP75 éventuelle.

Tableau IV.1: condition standard.

Tableau IV.2: Variation de l'éclairement.

Tableau IV.3: Variation de la température.

Acronymes

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPP : Point de fonctionnement optimal.

MPPT : Poursuite du Point de Puissance Maximale. 'Maximum Power Point Tracking.'

KWc : Kilowatt Crete.

TSL : Temps standard local.

STC : Conditions de tests standards 'Standard Test Conditions.'

Sia : silicium amorphe.

CdTe: Tellure de Cadmium.

CIS : diséléniure de cuivre et d'indium.

CIGS : diséléniure de cuivre et d'indium et de gallium.

Ns : Nombre de modules en séries.

Np : Nombre de modules en parallèles.

P&O : Perturbation & Observation.

Symboles

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

$I_{CC_{Ns}}$: courant de court-circuit de N_s cellules en série.

$I_{CC_{Np}}$: la somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle.

$V_{CO_{Np}}$: tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

P_{max} : puissance maximal.

V_{opt} : tension optimal.

I_{opt} : courant optimal.

P_{opt} : puissance optimale (W).

R_s : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shunt.

V_d : la tension au borne de diode.

V_t : $=KT/q$ potentielle thermique.

I : Le courant fourni par la cellule.

I_0 : Le courant de saturation de la diode.

I_{ph} : Le photo-courant.

K : constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/Kelvin).

q : charge d'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

n : Le facteur de qualité de diode.

T : La température de cellule en kelvin.

$f'(x)$: Le dérivé de la fonction.

x_n : La présente itération.

x_{n+1} : L'itération suivante.

k_i : le coefficient de variation du courant en fonction de la température.

k_v : le coefficient de variation du tension en fonction de la température.

T_{ref} : la température de référence 298 k(25°C).

G : l'irradiation solaire.

V_{co} : Tension à vide.

I_{sc} : Courant de court-circuit.

V_{mpp} : Tension au point de puissance maximale.

I_{mpp} : Courant au point de puissance maximale.

N_{ss} : Nombre de module connecté en série (dans notre cas =1).

N_{pp} : Nombre de module connecté en parallèle (dans notre cas =1).

P_{pvn} : la nouvelle puissance

P_{pvn-1} : l'enceint puissance dans le temps (t-1).

Introduction

Générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet les besoins énergétiques des pays industrialisés ne cessent d'augmenter, par ailleurs les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières.

Ce constat pousse à rechercher de plus en plus de solutions innovantes palliant le déficit énergétique et limitant l'impact négatif sur l'environnement. En effet, les technologies renouvelables (hydroélectrique, géothermique, la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque) sont des énergies propres et possèdent des atouts majeurs pour développer leur participation à la production d'électricité et pour intervenir sur le marché de l'énergie électrique. Aujourd'hui, les autres sources de génération renouvelables, notamment le solaire, est l'énergie dont le taux de croissance est le plus élevé. Leur développement au niveau résidentiel et industriel est considérable.

D'autre part, de nombreux problèmes techniques, liés notamment au transfert et à la conversion de cette énergie vers la charge, montrant ainsi le manque d'optimisation du traitement de cette énergie ayant des comportements aléatoires. Ces constats ont motivé plusieurs travaux de recherches pour rendre viables des sources photovoltaïques.

Un des problèmes engendrés par l'utilisation d'une chaîne de conversion photovoltaïque est focalisée sur le problème du couplage non parfait entre le générateur photovoltaïque et la charge, c'est le problème du transfert de la puissance maximale du générateur photovoltaïque « GPV » à la charge qui souffre souvent d'une mauvaise adaptation.

Nos travaux de recherches présentés dans ce mémoire traitent particulièrement cette problématique d'optimisation et consiste à améliorer les performances du système photovoltaïque, autrement dit maximiser la puissance délivrée à la charge, en basant sur

Introduction générale

l'utilisation de la technique du MPPT (Poursuite du Point de Puissance Maximale de l'anglais « Maximum Power Point Tracker »

Le présent mémoire est divisé en quatre chapitres :

Nous aborderons dans le premier chapitre les différents types de rayonnement solaire et les filières technologiques des cellules photovoltaïques.

Dans le deuxième chapitre nous présentons le principe de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque, sa construction sa modélisation mathématique et ses caractéristiques.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude des techniques d'extraction de la puissance maximale (PPM) sous différentes conditions climatiques en utilisant la méthode de perturbe & observation comme méthode classique et réseaux de neurones comme intelligence artificielle.

Le dernier chapitre présente les résultats de simulation de système photovoltaïque muni d'un étage d'adaptation commandé par une MPPT, en fin de chapitre une étude comparative entre deux systèmes photovoltaïques (optimisé et non optimisé) est présenté.

Ce mémoire est terminé par une conclusion générale dans laquelle sont valorisées les différentes études effectuées. Des perspectives pour ce modeste travail sont également exposées.

CHAPITRE I
ENERGIE SOLAIRE
PHOTOVOLTAÏQUE

I.1 Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie accessible à tous (industriels, collectivités et particuliers). Grâce à celle-ci, il est possible de produire trois types d'énergies : l'énergie calorifique avec les installations solaires thermiques (chauffe-eau solaire ou climatiseur solaire), l'énergie électrique avec les installations solaires photovoltaïques et le solaire à concentration thermodynamique [1].

L'électricité photovoltaïque a dans un premier temps été développée pour des applications autonomes sans connexion à un réseau électrique pour par exemple des satellites de télécommunication ou pour des habitations isolées. On la trouve maintenant dans des applications de diverses puissances comme les calculatrices, les montres et d'autres objets d'utilisation courante. En effet, cette électricité produite par des cellules photovoltaïques individuelles peut alimenter diverses charges continues sans difficulté. Plus récemment, avec l'émergence d'installations photovoltaïques connectées au réseau de distribution, le photovoltaïque a connu un développement important en tant que moyen de production d'électricité.

Dans ce chapitre nous rappelons les principes de l'énergie solaire. Ensuite nous présentons les différents types de rayonnement et les filières technologiques des cellules photovoltaïques.

I.2 Le soleil

Le Soleil est une étoile, c'est-à-dire un astre qui produit sa propre énergie. Cette étoile est particulièrement importante car elle fournit l'essentiel de l'énergie que les planètes du système solaire reçoivent [2]. Depuis très longtemps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, étoile la plus proche de la terre. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage, autant artisanale qu'industrielle. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité encore importante arrive à la surface du sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m² dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau [1].

I. 3 Aspects énergétiques du rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altération et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère; réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et par les aérosols (la poussière, les gouttelettes...). Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse (c'est-à dire isotrope). L'autre partie dite directe est anisotrope [3].

I.4 Les différents types de rayonnement:

L'homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles ou artificielles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique.

Les rayonnements se déplacent dans le vide à grande vitesse. On peut les considérer comme des ondes ou des particules qui se déplacent en ligne droite.

Les rayonnements électromagnétiques se caractérisent par leur vitesse, leur fréquence et leur longueur d'onde La figure I.1, donne une classification de ces rayonnements en fonction de leur longueur d'onde.

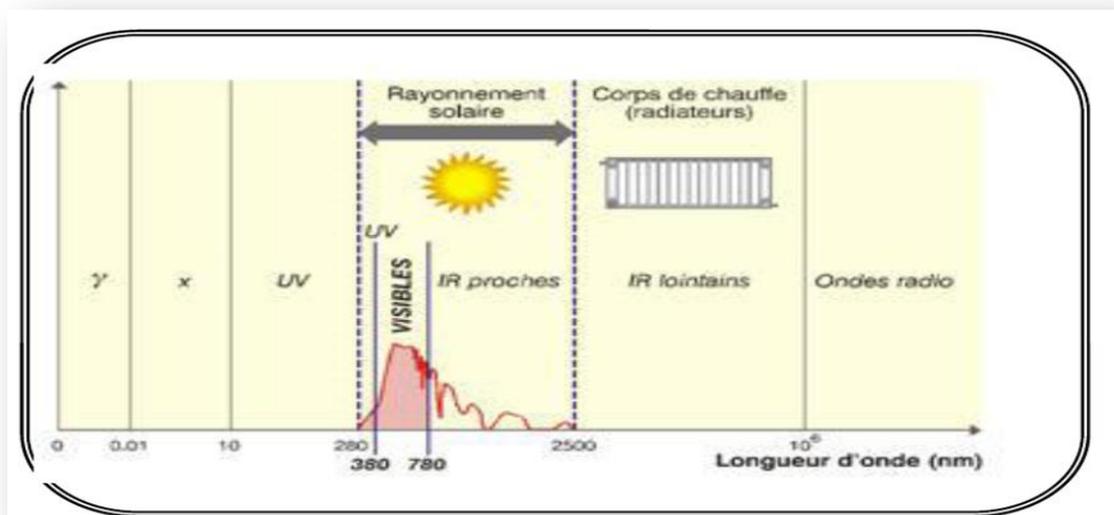


Figure I.1 : Classification des divers rayonnements électromagnétiques.

I.5 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 $4 \cdot 10^{-6}$ m. 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'absorbent.

I.5.1 Le rayonnement direct

Est reçu directement du Soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un pyrhéliomètre.

I.5.2 Le rayonnement diffus

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

I.5.3 Le rayonnement solaire réfléchi

Ou 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).

I.5.4 Le rayonnement global

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyranomètre ou un solarimètre sans écran.

Les stations météorologiques généralement mesurent le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis [4,5].

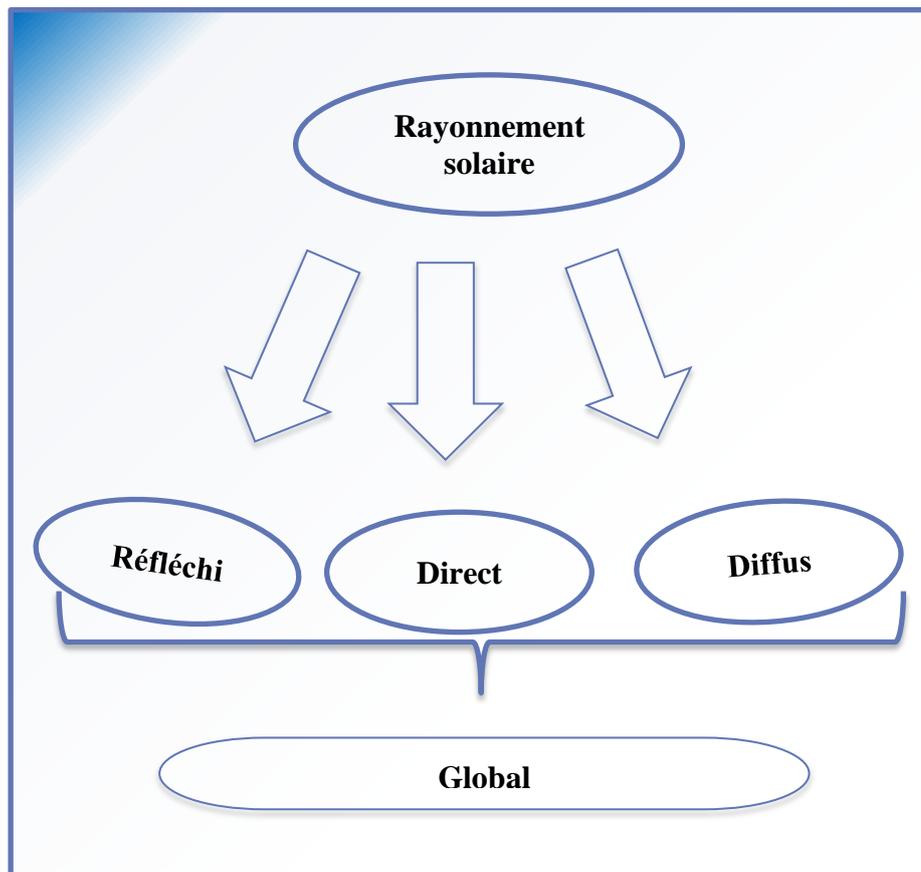


Figure I.2 : Composante du rayonnement global sur un plan horizontal.

I.6 Solaire Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme source de lumière en transformant en électricité l'énergie des photons arrivant à la surface de la Terre. La lumière solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque). Cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible. L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839. Le mot « photovoltaïque » vient du mot « photo » (du grec « phos » qui signifie « lumière ») et du mot « Volt » (patronyme du physicien Alessandro Volta qui a contribué de manière très importante à la recherche en électricité) [6]. C'est dans la filière photovoltaïque.

I.7 Les filières technologiques

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques. Ces filières se partagent inégalement le marché.

I.7.1 Le silicium

La filière silicium représente aujourd'hui l'essentiel de la production mondiale des panneaux photovoltaïques. Cette filière comporte deux technologies : le silicium monocristallin et le silicium multi cristallin.

I.7.1.1 Le silicium mono-cristallin

Le silicium mono cristallin est difficile à s'obtenir. En effet, il nécessite un taux de pureté très élevé et donc plusieurs étapes de purification. Ces étapes sont délicates et donc coûteuses. Le rendement du silicium monocristallin est le plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multi cristallin [7,8].

I.7.1.2 Le silicium multicristallin (Polycristallin)

Le silicium multicristallin (Polycristallin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. A elle seule elle représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par coulage de cristaux de silicium, ce qui rend sa structure hétérogène. Son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin il est compris entre 10 et 14% selon les fabricants. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, les coûts de production sont donc plus faibles.

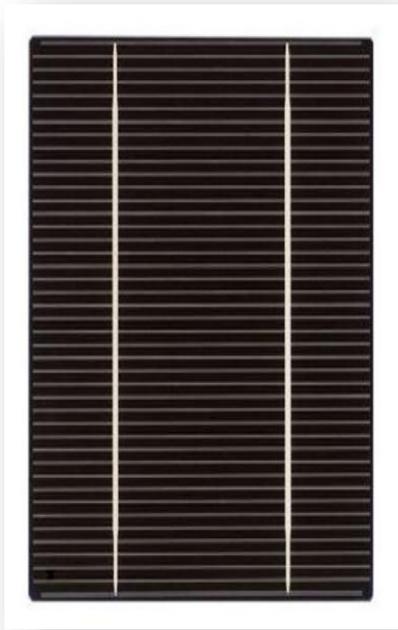
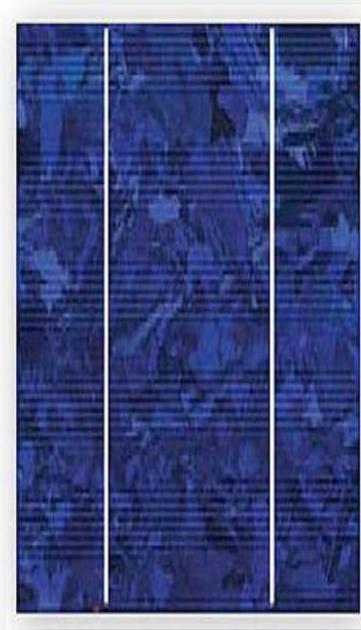
***Monocristallin******Multicristallin***

Figure I.3 : Photos de cellules monocristalline et multicristalline [7,8].

I.7.2 Les couches minces

Le principal frein au développement du photovoltaïque à très grande échelle reste encore aujourd'hui, malgré la baisse de ces dernières années, le prix trop élevé du kWc. Le kilo watt crête (kWc) est l'unité qui définit la puissance d'un générateur PV aux Conditions de Test Standard (STC) ($1000\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ et 25°C). La majorité du prix d'un générateur photovoltaïque provient du silicium et du procédé de purification. Plusieurs types de cellules photovoltaïques visant à diminuer la quantité de matière nécessaire à leur fabrication sont aujourd'hui développés et commencent à être industrialisés. Ces technologies appelées couches minces font appel à des procédés de fabrication (dépôt sur ruban) visant la diminution de l'épaisseur des cellules.



Module rigide Sharp (115Wc, 1,42 m²).

Module souple Unisolar (68Wc, 1,12 m²).

Figure I.4 : Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe) [7,8].

La technologie à couche mince dont la plus mûre est le silicium amorphe (Sia) représentait en 2008 plus de 7% du marché mondial. L'avantage de cette technique est l'utilisation de substrats à bas coût.

Le silicium est déposé à basse température sur un substrat en verre. De plus, il est possible de déposer ces cellules sur des substrats souples figure I.4, et ainsi de fabriquer des cellules souples. Son prix est plus faible que les cellules cristallines; en revanche, le rendement d'une cellule en Sia est inférieur à celui des cellules cristallines, il est d'environ 7%. L'utilisation de ce type de cellules nécessite l'utilisation d'une isolation galvanique entre les modules et le réseau. Sans cette isolation galvanique les cellules amorphes se dégradent très rapidement. La raison physique de ce phénomène reste encore obscure.

Les cellules amorphes captent très bien le rayonnement diffus et sont donc moins sensibles aux variations de rayonnement direct. Ces cellules sont donc une très bonne alternative aux cellules cristallines sur des sites soumis à des ombrages sévères.

D'autres matériaux sont également utilisés dans les filières à couches minces comme le Tellure de Cadmium (CdTe), le diséléniure de cuivre et d'indium (CIS) et de gallium (CIGS). Ces technologies possèdent de bons rendements, pouvant aller jusqu'à 19%. Malgré les potentialités de ces trois technologies, les problèmes de toxicité sur l'environnement et d'approvisionnement en matières premières qu'elles soulèvent les cloisonneront au laboratoire ou à des applications très spécifiques.

I.7.3 Cellules organiques et plastiques

Observé depuis 30 ans dans les matériaux semi-conducteurs organiques, l'effet photovoltaïque a connu cette dernière décennie un grand essor.

Initialement donnant des valeurs très faibles de rendement de conversion, cette application particulière des semi-conducteurs organiques commence à attirer l'attention en 1986 lorsque l'équipe de Tang [7] montre que les rendements proches du pourcent sont atteignables, conformément aux prédictions de Merritt en 1978. La cellule, composée alors d'une bicouche de molécules évaporées sous vide, atteint 0,95% de rendement de conversion. Ces cellules comprennent deux voies : la voie des cellules « humides » et la voie des cellules polymères organiques dites aussi cellules « plastiques ». Les progrès de ces technologies sont très rapides, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Le principal frein à ces technologies est actuellement la stabilité de leurs performances ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures) [7,8].

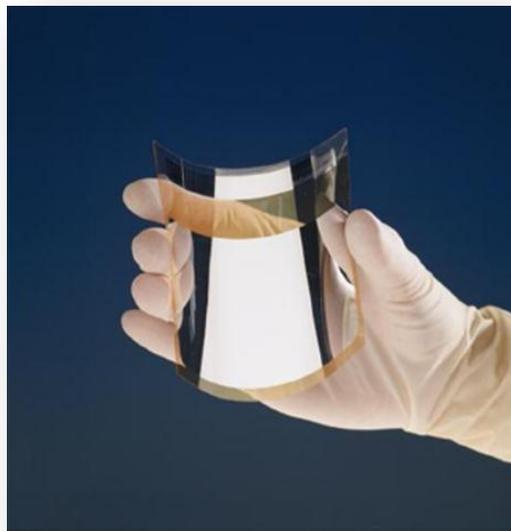


Figure I.5 : Cellule PV organique [7,8].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait des descriptions générales sur l'énergie photovoltaïque (le rayonnement solaire, le principe de la conversion PV) et les filières technologiques des cellules photovoltaïques.

Notre étude a conduit que le meilleur rendement est porté par les cellules de matériaux silicium monocristallin, il est compris entre 12 et 20 % pour les cellules industrielles.

Mais pour des raisons économiques et le coût faible du silicium multicristallin (Polycristallin) cette technologie est devenue actuellement la plus utilisée. Ce dernier garde une grande longueur d'avance sur les autres technologies. (Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années).

CHAPITRE II
Etude du Système
photovoltaïque

II.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, comprise dans le rayonnement solaire, en énergie électrique par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (nommée cellule PV). L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant tension I-V non linéaire et présente un point de puissance maximale (PPM).

Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la tension de la cellule. Le point de fonctionnement du GPV peut donc varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit I_{CC} et la tension en circuit ouvert V_{OC} .

La détermination du point de fonctionnement du GPV dépend directement de la charge à laquelle il est connecté, il est plus ou moins éloigné du PPM caractérisé par le courant et la tension optimaux, notées (I_{mp} ; V_{mp}) [9].

Dans ce chapitre, nous commencerons par un rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque et nous détaillerons les principales caractéristiques de la source PV. On présentera une étude de modélisation d'une cellule PV avec son circuit électrique équivalent. Les modèles sont mis en application en utilisant MATLAB.

II.2 L'Effet Photovoltaïque

C'est la conversion de l'énergie que transportent les photons de la lumière lorsqu'ils rentrent en collision avec des matériaux semi-conducteurs convenablement traités en énergie électrique capable de créer un courant d'électrons à travers un circuit extérieur en réalisant un travail utile.

La clé pour produire un courant électrique utile est d'arriver à extraire les électrons libérés. Un procédé pour faire cela est d'introduire dans le matériau semi-conducteur des éléments chimiques qui contribuent à produire un excès d'électrons et de trous. Ces éléments, qui altèrent notablement les propriétés intrinsèques du semi-conducteur, s'appellent les dopants et le matériau est dit dopé lorsque le processus d'incorporation au semi-conducteur est achevé.

Un dopant approprié pour le silicium est le bore. La structure créée s'appelle un semi-conducteur de type P (positif).

Un autre dopant possible pour le silicium est le phosphore. Le semi-conducteur est dit de type N (négatif).

Si les photons de la lumière incidente communiquent de l'énergie aux électrons du semi-conducteur, quelques électrons peuvent traverser la barrière de potentiel, en étant expulsés hors du semi-conducteur dans un circuit extérieur. Ceci génère un courant électrique. Les électrons, après avoir parcouru le circuit externe, retournent dans le semi-conducteur par la face opposée. Le matériau semi-conducteur ne stocke donc pas d'énergie électrique mais la génère en transformant l'énergie incidente. La physique quantique prédit un rendement théorique pour la cellule de silicium de 26 % mais les cellules commerciales obtenues de manière industrielle ne montent pas au-dessus de 17%. Ces valeurs, impliquant une limitation sur la puissance électrique pouvant être obtenue, montrent que seulement une petite partie de l'énergie solaire peut générer de l'électricité [10,11].

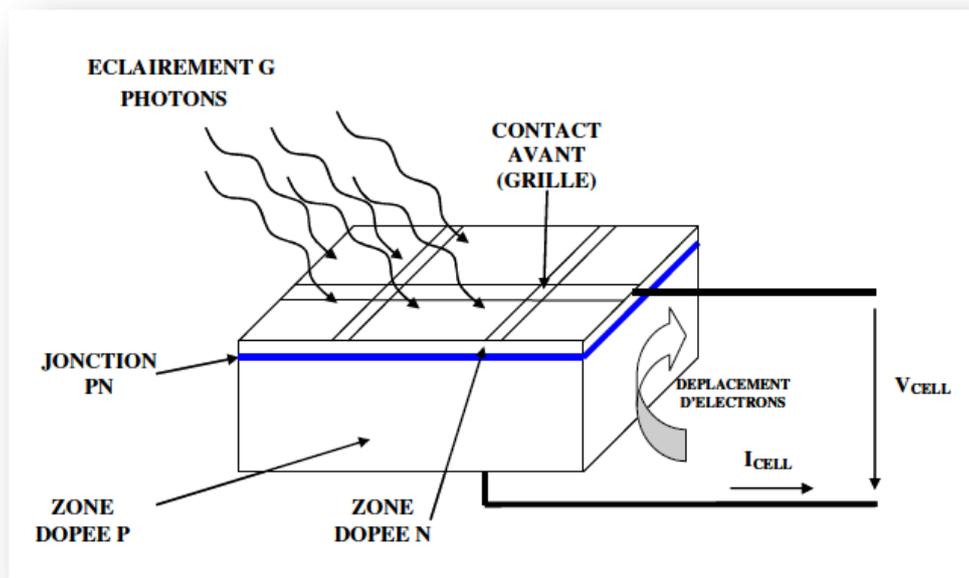


Figure II.1 : Coupe transversale d'une cellule PV typique [11].

II.3 La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques ou les plaques solaires sont des composants qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque », a été découverte par E. Becquerel en 1839 [11,12].

Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est à dire ayant des propriétés intermédiaires entre les conducteurs et les isolants.

La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu' à 100 cm² ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries.

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et 24 V. la figure suivante représente le schéma électrique d'un cellule photovoltaïque [11,12].

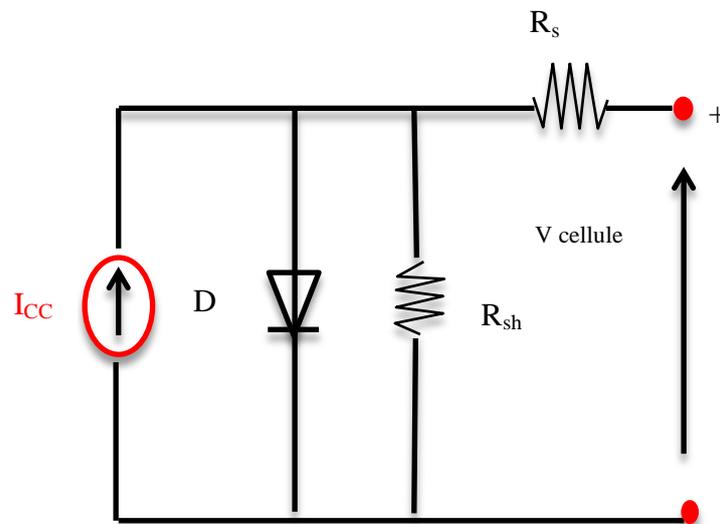


Figure II.2: Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication. R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus à la diode et aux effets de bord de la jonction [12].

II.4 Les modules (ou panneaux)

La cellule individuelle, unité de base d'un system photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt.

Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La puissance crête, obtenue sous un éclairage maximal sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide offerte par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble sa durabilité [13].

II.5 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera. [14].

II.6 Regroupement des cellules

II.6.1 Regroupement en série

Une association de (N_s) cellule en série figure (II.3) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (N_s) cellules [15].

$$V_{CO_{N_s}} = N_s * V_{CO} \dots\dots\dots (II.1).$$

$$I_{CC} = I \dots\dots\dots (II.2).$$

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

$I_{CC_{N_s}}$: courant de court-circuit de N_s cellules en série.

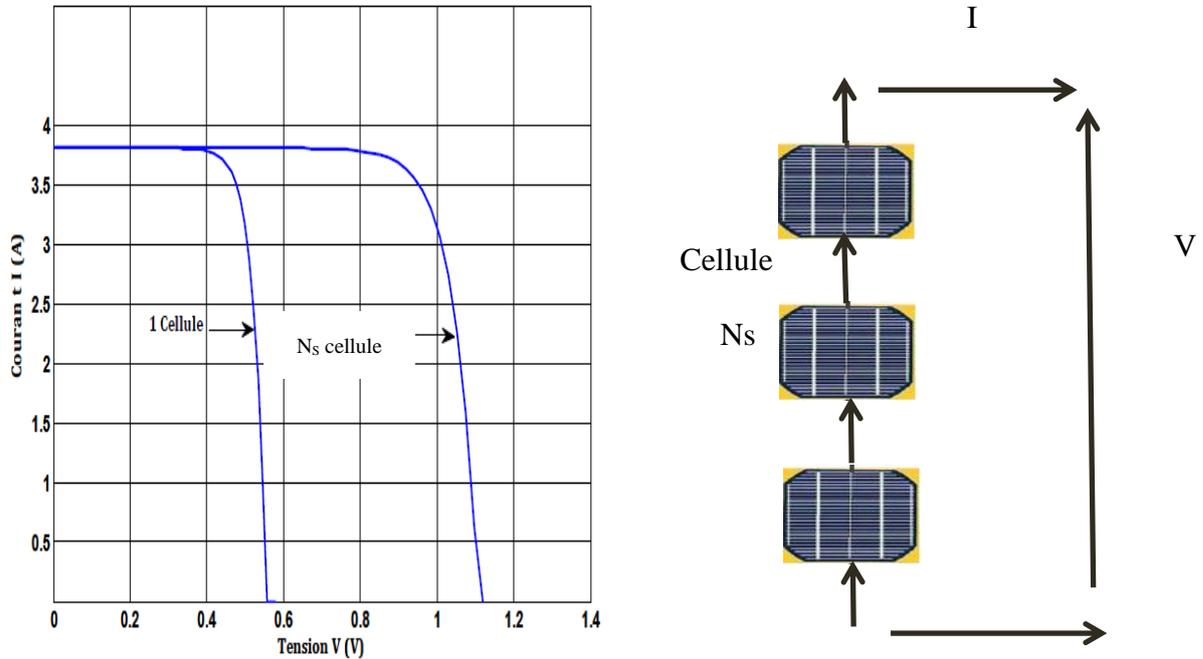


Figure II.3: Caractéristique courant tension de Ns cellule en série.

II.6.2 Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (Np) cellule figure (II.4) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants [16].

Avec:

$$I_{cc\ Np} = Np * I_{sc} \dots\dots\dots (II.3).$$

$$V_{co} = V_{coNp} \dots\dots\dots (II.4).$$

I_{ccNp}: la somme des courants de court circuit de (Np) cellule en parallèle.

V_{coNp}: tension du circuit ouvert de (Np) cellules en parallèle.

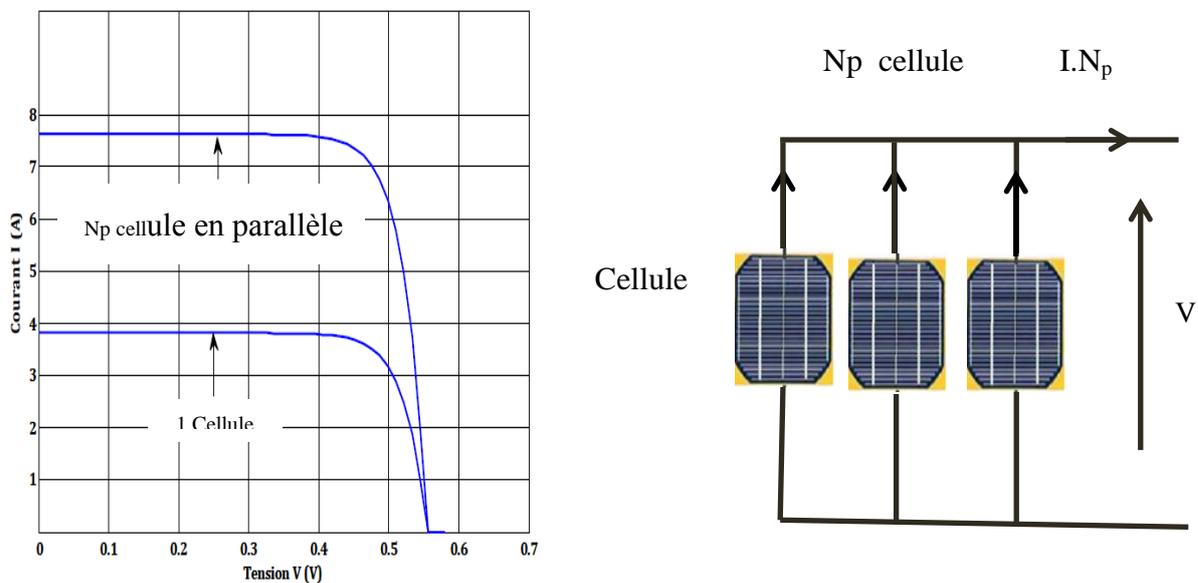


Figure II.4 : Caractéristique courant tension de (N_p) cellule en parallèle.

II.6.3 Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque [12].

II.7 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

II.7.1 Cellule photovoltaïque idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure II.2 qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV.

D'après la loi de nœuds:

$$I = I_{ph} - I_d \dots \dots \dots (II.5).$$

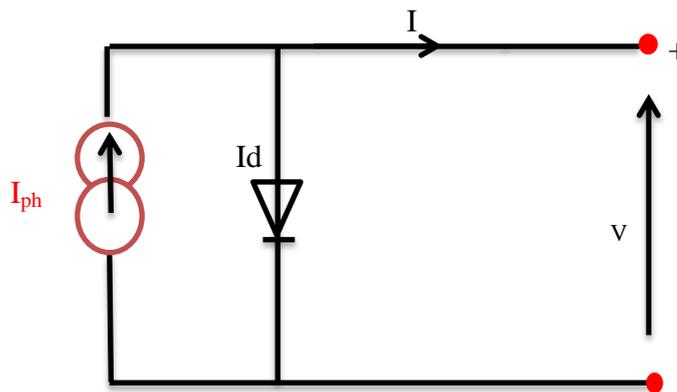


Figure II.5 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal.

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode :

$$V = V_d \dots \dots \dots (II.6).$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_o \cdot \left(\exp \left(\frac{V_d}{V_t} \right) - 1 \right) \dots \dots \dots (II.7).$$

Avec:

I_0 : Le courant de saturation inverse de la diode.

V_d : la tension au borne de diode.

$V_t = kT/q$ potentielle thermique.

Donc la relation (II.1) sera :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right) \dots \dots \dots (II.8).$$

II.7.2 Cellule photovoltaïque réel

Le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite. On modélise donc cette perte de tension par une résistance en série R_s et les courants de fuite par une résistance en parallèle R_p [12].

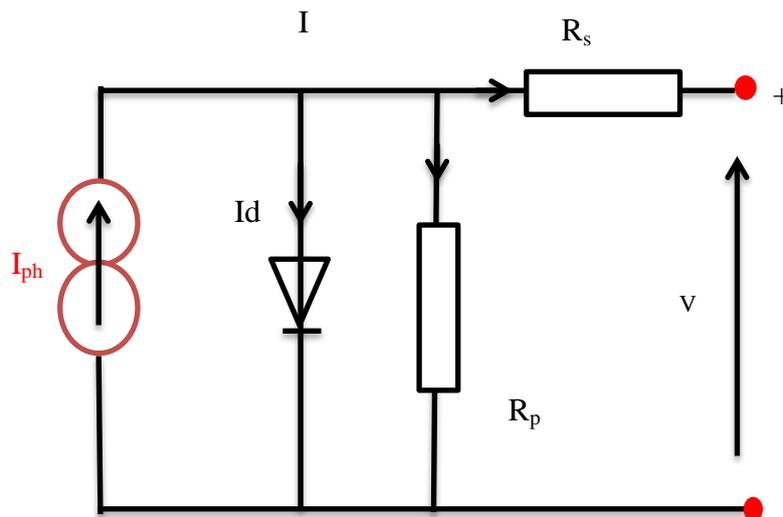


Figure II.6 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel.

Donc on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \dots \dots \dots (II.9).$$

$$I_p = \left(\frac{V + R_s I}{R_p} \right) \dots \dots \dots (II.10).$$

$$I_d = I_o \cdot \left(\exp \left(\frac{V_d + R_s I}{V_t} \right) - 1 \right) \dots \dots \dots (II.11).$$

Avec:

I : Le courant fourni par la cellule

I_{ph} = $I_{cc} \cdot \left(\frac{G}{1000} \right)$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

I₀: Le courant de saturation de la diode.

K : constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ joule/Kelvin).

q : charge d'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

n : Le facteur de qualité de diode.

T : La température de cellule en kelvin.

Donc (II.9) sera:

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp \left(\frac{V + I R_s}{V_t} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V + R_s I}{R_p} \right) \dots \dots \dots (II.12).$$

• Caractéristique du Module photovoltaïque Simens utilisé

Nous avons choisi une module Simens SP75 composé de 32 cellules en silicium monocristallin connectées en série ayant une puissance maximal de 75w est considéré dans les conditions standards $G=1000w/m^2$, $T=25^\circ C$. Pour réaliser la modélisation de ce module, nous avons utilisé MATLAB comme outil de tests et de simulation.

Puissance maximale	$P_{max} : 75 \text{ wc}$
Tension à vide	$V_{co} : 21.7 \text{ V}$
Courant de court-circuit	$I_{sc} : 4.8\text{A}$
Tension au point de puissance maximale	$V_{mpp} : 17 \text{ V}$
Courant au point de puissance maximale	$I_{mpp} : 4.4\text{A}$
Noct	$45 \pm 2^\circ \text{ C}$
Coefficient de température :	
Tension à vide	$\beta : -0.77\text{v}/^\circ \text{ C}$
Courant court-circuit	$\alpha : 2.6 \text{ ma} / ^\circ \text{ C}$

Tableau II.1 : Caractéristique électrique d'un module photovoltaïque SP75 éventuelle.

II.8 Modélisation du module PV

Le courant de saturation de la diode est donné par la suite:

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T}\right)} - 1 \dots\dots\dots (II.13).$$

Pour calculer I on considère $R_p = \text{inf}$ donc $I_p = 0$ dans ce cas, l'équation (II.9) devient.

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left(\exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{V_t}\right) - 1 \right) \dots\dots\dots (II.14).$$

Avec R_s dans le point V_{oc} :

$$dI = 0 - I_o \cdot \left(\frac{V + R_s \cdot I}{V_t} \right) \cdot \exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{V_t}\right) \dots\dots\dots (II.15).$$

Donc :

$$R_s = - \frac{dI}{dV} - \frac{n \cdot V_t}{I_o \cdot \exp\left(\frac{V + I_s \cdot R_s}{n \cdot V_t}\right)} \dots\dots\dots (II.16).$$

Telle que :

$$R_s = - \left. \frac{dI}{dV} \right|_{v=v_{CO}} - \frac{n \cdot V_t}{I_0 \cdot \exp\left(\frac{V+I_s \cdot R_s}{n \cdot V_t}\right)} \dots\dots\dots (II.17).$$

Toutes les constantes dans les équations ci-dessus peuvent être déterminées en utilisant les données de fabricants de panneaux photovoltaïques.

La méthode choisie pour la simulation de ce modèle est la méthode de Newton Raphson qui est décrit comme suit :

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \dots\dots\dots (II.18).$$

$$V = V_{CO} \dots\dots\dots (II.19).$$

Avec :

f'(x) : Le dérivé de la fonction.

x_n : La présente itération.

x_{n+1} : L'itération suivante.

$$f(I) = I_{sc} - I - I_0 \cdot \left[\exp\left(q \cdot \frac{V+R_s \cdot I}{n \cdot V_t}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots (II.20).$$

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{sc} - I_n - I_0 \cdot \left(\frac{V+I_n \cdot R_s}{n \cdot V_t}\right) - 1}{-1 - I_0 \cdot \left(\frac{R_s}{n \cdot V_t}\right) \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I_n \cdot R_s}{n \cdot V_t}\right)\right]} \dots\dots\dots (II.21).$$

$$I_{sc}(T) = I_{sc}(T_{ref}) \cdot [1 + K_i \cdot (T - T_{ref})] \dots\dots\dots (II.22).$$

k_i : le coefficient de variation du courant en fonction de la température.

k_v : le coefficient de variation du tension en fonction de la température.

T_{ref} : la température de référence 298 k(25°C).

G : l'irradiation solaire.

$$I_{ph} = I_{phn} + K_i \cdot (T - T_{ref}) \cdot \left(\frac{G}{1000}\right) \dots\dots\dots (II.23).$$

Le courant de saturation du T(ref) écrire :

$$I_0 = I_0(T_{ref}) \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^{\frac{3}{n}} \cdot \left[\exp\left(-\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right) \right] \dots\dots\dots (II.24).$$

On peut écrire l'équation (II.23) :

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_i \cdot (T - T_{ref})}{\exp\left(\frac{V_{co} + K_v \cdot (T - T_{ref})}{n \cdot V_t}\right) - 1} \dots\dots\dots (II.25).$$

Pour la modélisation ou schéma block on donne :

$$I_m = I_{pv} \cdot N_{pp} - I_0 \cdot N_{pp} \cdot \exp\left[\frac{q \cdot T \cdot N_{ss}}{n \cdot K N_s} \cdot \left(V + \frac{I \cdot R_s}{N_{pp}} \cdot N_{ss}\right) - 1\right] \dots\dots\dots (II.26).$$

Telle que :

N_{ss} : Nombre de module connecté en série (dans notre cas =1)

N_{pp} : Nombre de module connecté en parallèle (dans notre cas =1)

N_s : Nombre de cellule connecté en série.

II.9 Influence de la température

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V (figure II.7 et II.8) d'un module photovoltaïque SP75 pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures :

D'après la figure (II.7) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à avec l'augmentation de température, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (II.8).

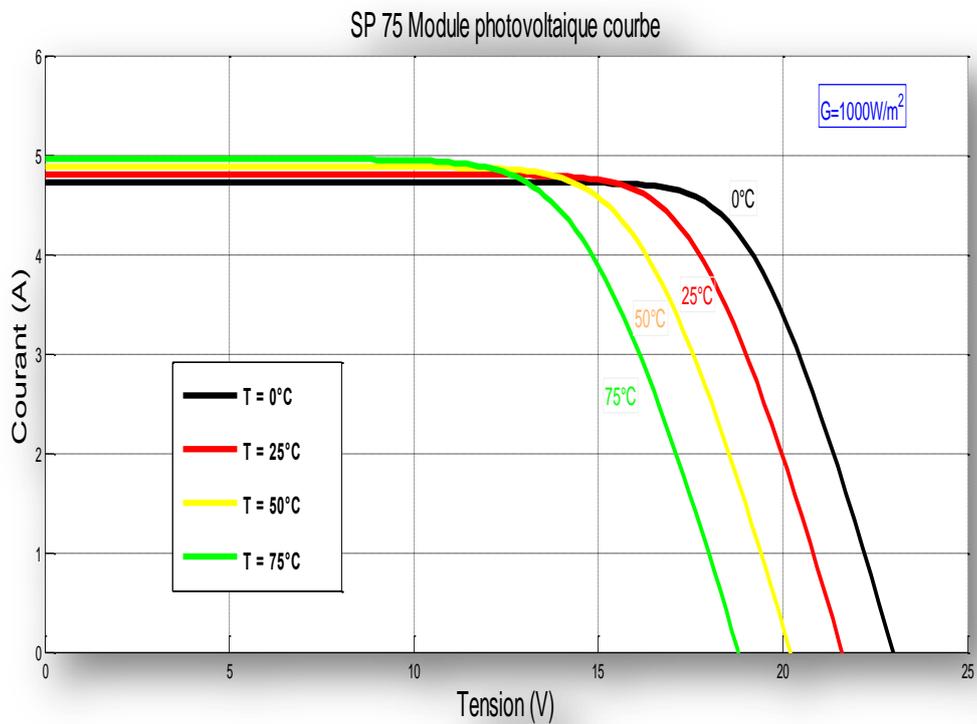


Figure II.7 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.

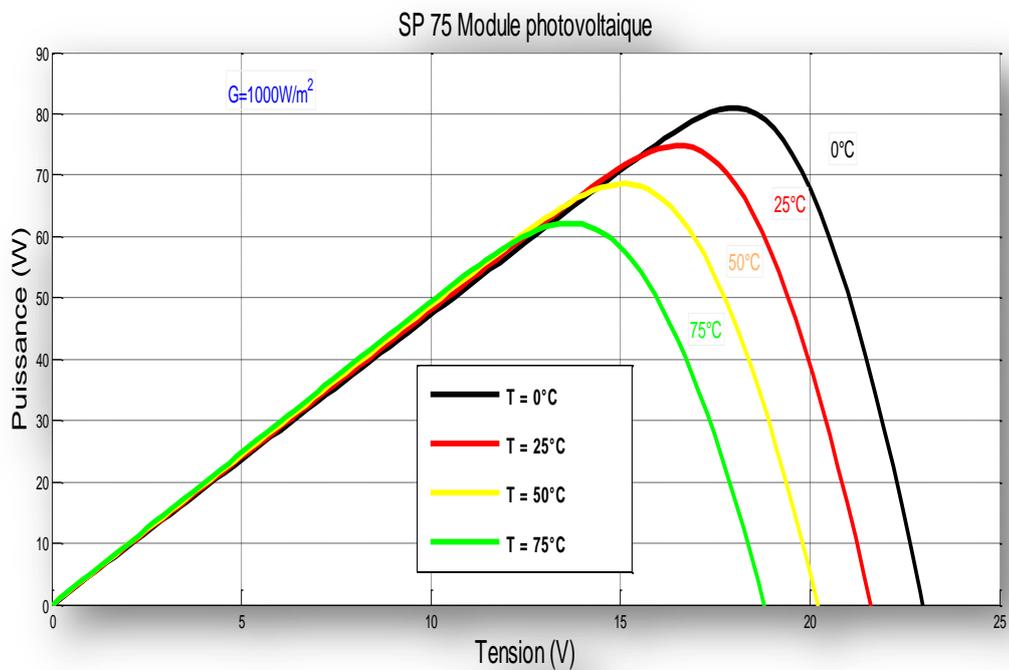


Figure II.8 : La caractéristique de $P=f(V)$ en fonction de température.

II.10 Influence de l'éclairement

Le même travail comme précédente, nous avons fixé la température pour différents éclairements figure (II.9 et II.10).

Pour la figure (II.9) on remarque que pour l'éclairement $G=1000 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{cc}=4.8\text{A}$ et pour $G=800\text{w/m}^2$ le courant $I_{cc}=3.84\text{A}$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement .Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance, lorsque l'éclairement est augmenté figure (II.8).

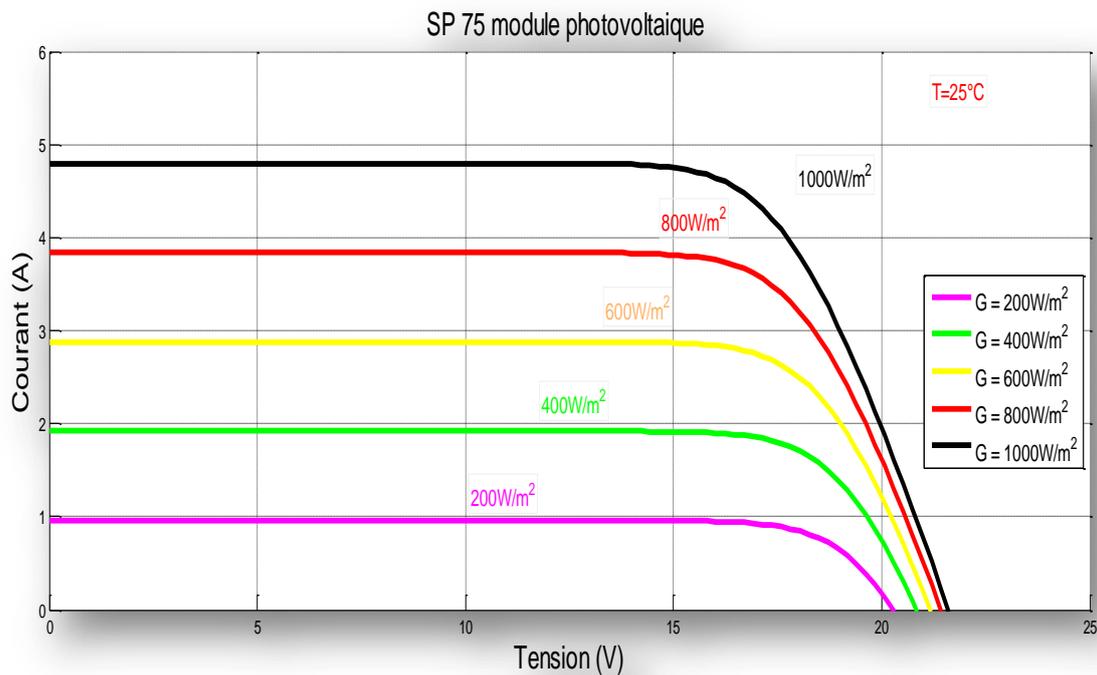


Figure II.9 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

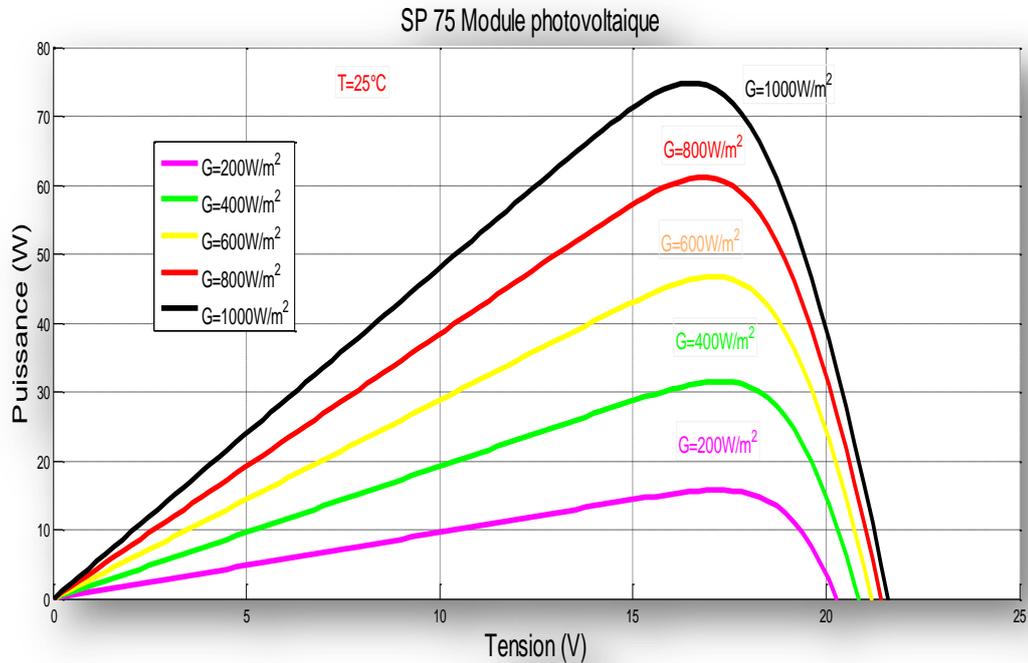


Figure II.10 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

II.11 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté la caractéristique électrique et l'effet photovoltaïque d'une cellule solaire.

Ensuite nous avons montré comment augmenter la puissance d'un générateur photovoltaïque par l'assemblage de plusieurs panneaux PV séries et / ou parallèle.

Afin d'avoir le comportement de la cellule nous avons modélisé et simulé ce dernier dans l'environnement MATLAB pour voir l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule. Les résultats obtenus montrent que l'éclairement agit sur le courant et la température influ sur la tension, on conclue que la puissance du générateur PV dépend directement de ces deux facteurs (l'éclairement, la température).

CHAPITRE III

Les méthodes d'optimisation

III.1 Introduction

Le coût élevé des générateurs photovoltaïques peut justifier l'ajoute d'un appareillage annexe, même sophistiqué, permettant de gérer au mieux l'énergie disponible. En particulier, sur la caractéristique courant-tension du générateur (qui dépend des conditions d'éclairement, de température, de vieillissement) il existe un point de fonctionnement où la puissance débitée est maximale.

L'optimisation consiste à suivre ce point en permanence en agissant de façon automatique sur la charge vue par le générateur (par l'ajustement du rapport cyclique de convertisseur). Cette adaptation de charge, dont le principe est maintenant classique, s'effectue en général à l'aide d'un convertisseur statique dont les pertes doivent être aussi faibles que possible et qui peut, par ailleurs, assurer une fonction de mise en forme d'une grandeur de sortie (conversion continu-continu avec modification de tension par exemple).

Dans ce chapitre on va étudier les différentes méthodes de suivre du point de puissance maximale d'un générateur photovoltaïque, nous commençons par la problématique engendrée de la connexion directe entre le GPV et la charge.

III.2 Connexion direct entre la source et la charge

Dans le cas d'une connexion directe qui est finalement aujourd'hui l'utilisation terrestre la plus répandue de l'énergie solaire, le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté [12]. Ce choix est principalement lié à la simplicité, la fiabilité et le faible coût figure III.1.

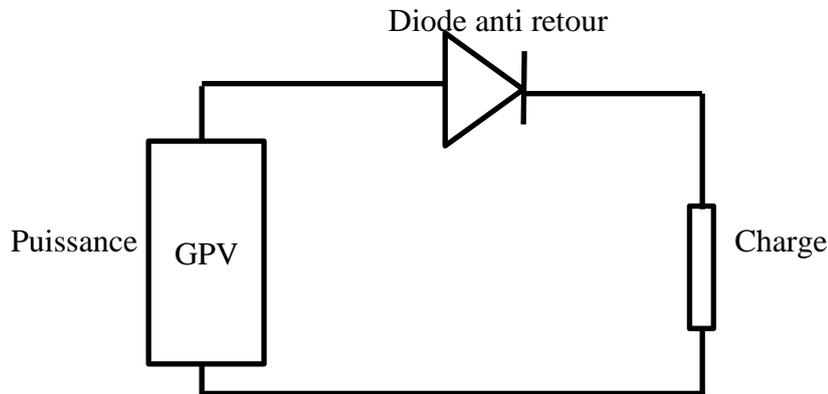


Figure III.1 : Connexion directe entre un GPV et une charge.

L'inconvénient de ce type, la puissance extraite d'un GPV connectée directement à une application est souvent très éloignée du maximum de puissance que peut délivrer le GPV comme l'illustre la figure III.2.

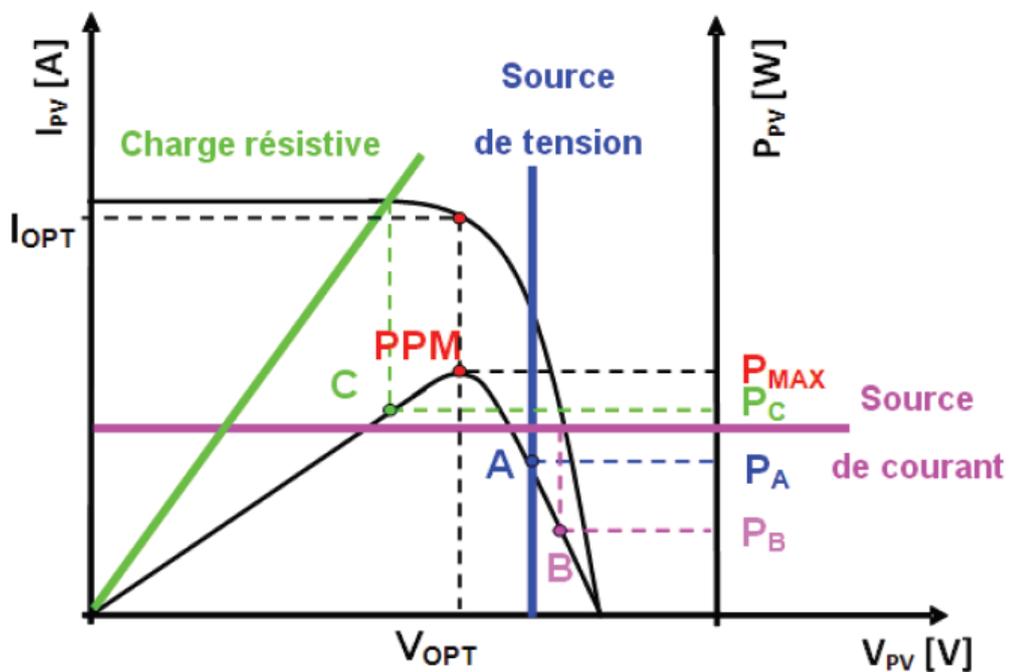


Figure III.2.: Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.

Comme le montre dans la figure III.2. Un GPV peut être connecté directement à trois types de charges:

- une charge de type source de tension continue.
- une charge de type source de courant continue.
- une charge purement résistive.

Comme illustrer précédemment il y a trois points de fonctionnement A, B, C respectifs peuvent être identifiés fournissant une puissance P_A , P_B et P_C . Ces cas de figures montrent que le GPV est mal exploité et ne fournit pas la puissance maximale [12].

III.3 Étage d'adaptation entre un Générateur PV et une charge

Un générateur photovoltaïque présente des caractéristiques I-V non linéaires avec de point de puissance maximum PPM. Ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du générateur photovoltaïque et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge comme décrit dans la figure (III.3). Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle, le transfert du maximum de puissance fournie par le générateur pour qu'elle soit la plus proche possible de puissance maximale disponible [17].

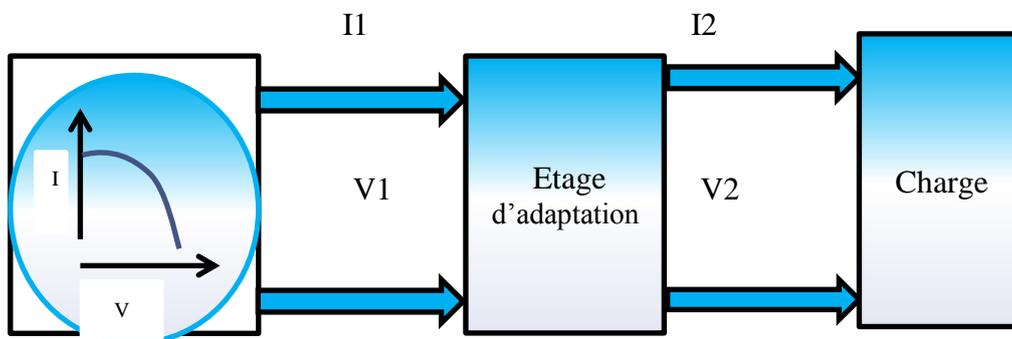


Figure III.3 Etage d'adaptation entre une GPV et une charge.

Ce dernier par le biais d'une commande spécifique est alors susceptible de permettre au générateur de délivrer sa puissance maximale notée ; P_{max} ($P_{max} = V_{opt} \times I_{opt}$ où V_{opt} et I_{opt} représentent respectivement les tensions et les courants optimaux du générateur photovoltaïque, pour une courbe I-V donnée), tout en assurant que la tension ou bien le courant de la charge correspond bien aux caractéristiques de cette dernière.

Pour que le générateur PV fonctionne le plus souvent possible dans son régime optimal, la solution communément adoptée est alors d'introduire un convertisseur statique qui joue le rôle d'adaptateur source-charge [17].

Rôle du convertisseur DC-DC fait fonctionner les modules à leur point de puissance optimale, quel que soit l'éclairement et la charge pour délivrer cette puissance à l'utilisation.

III.4 Le convertisseurs DC-DC

Le hacheur est un convertisseur continu/continu permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue le schéma équivalent du hacheur se représente selon la figure ci-dessous : Deux topologies de basse de circuit de conversion (DC/DC) seront décrits dans le paragraphe suivant.

III.4.1 Le convertisseurs BOOST

Le convertisseur Boost est connu par le nom d'élévateur de tension peut être représenté par le circuit de la figure (III.4). C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type source de courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de la sortie est de type source de tension continu (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K1 peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

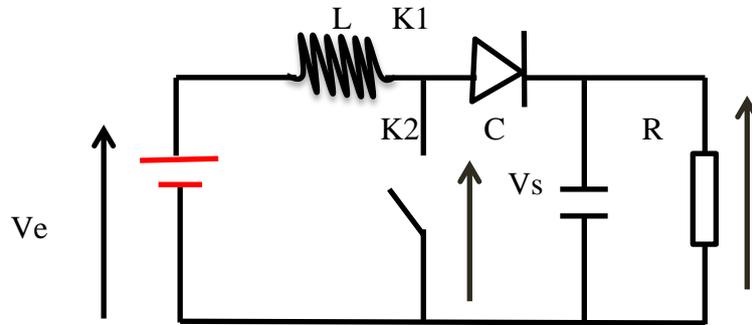


Figure III.4 : Circuit du convertisseur Boost.

$$\hat{V}_s = \frac{v_e}{(1-\alpha)} \dots\dots\dots(III.1).$$

III.4.2 Convertisseur Buck

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est un appareil qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur.

Hacheur de type BUCK, buck chopper.

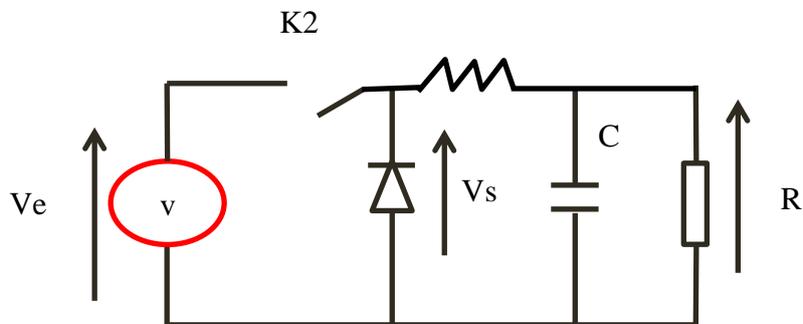


Figure III.5: Circuit du convertisseur Buck.

Le hacheur série est un convertisseur direct DC-DC, La source d'entrée est de type tension continue et la charge de la sortie continue de type source de courant. L'interrupteur K1 peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage).

III.5 Principe de fonctionnement de MPPT

Un MPPT, de l'anglais « Maximum Power Point Tracking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant. Les figures (III.6, III.7) représente la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur.

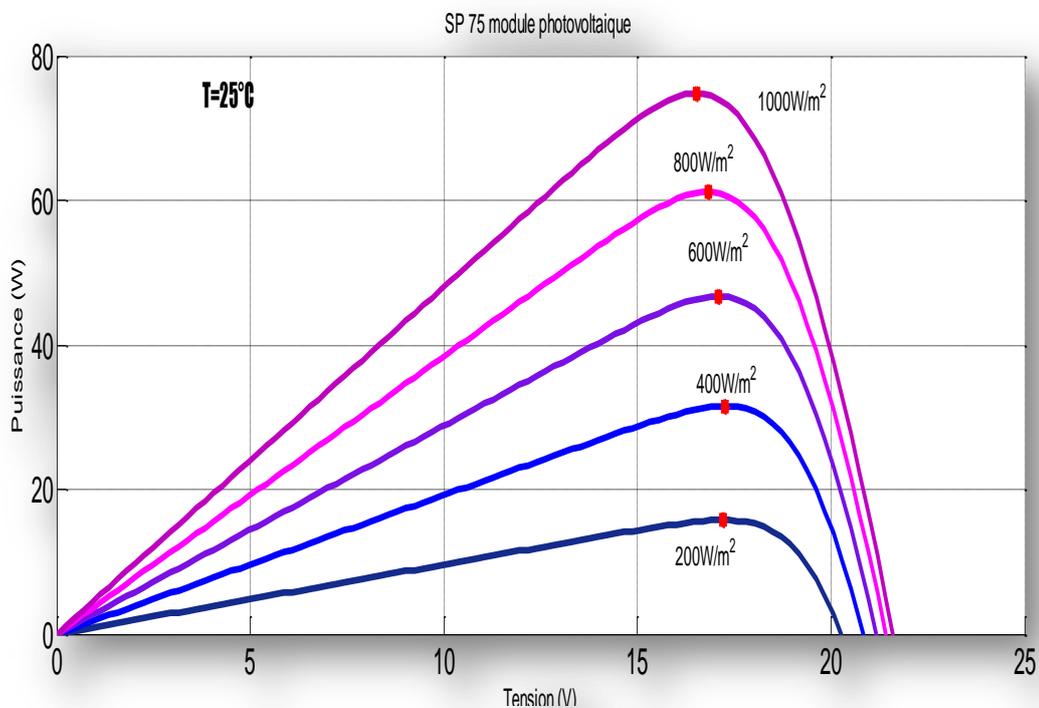


Figure III.6 : La caractéristique P-V et la trajectoire de PPM.

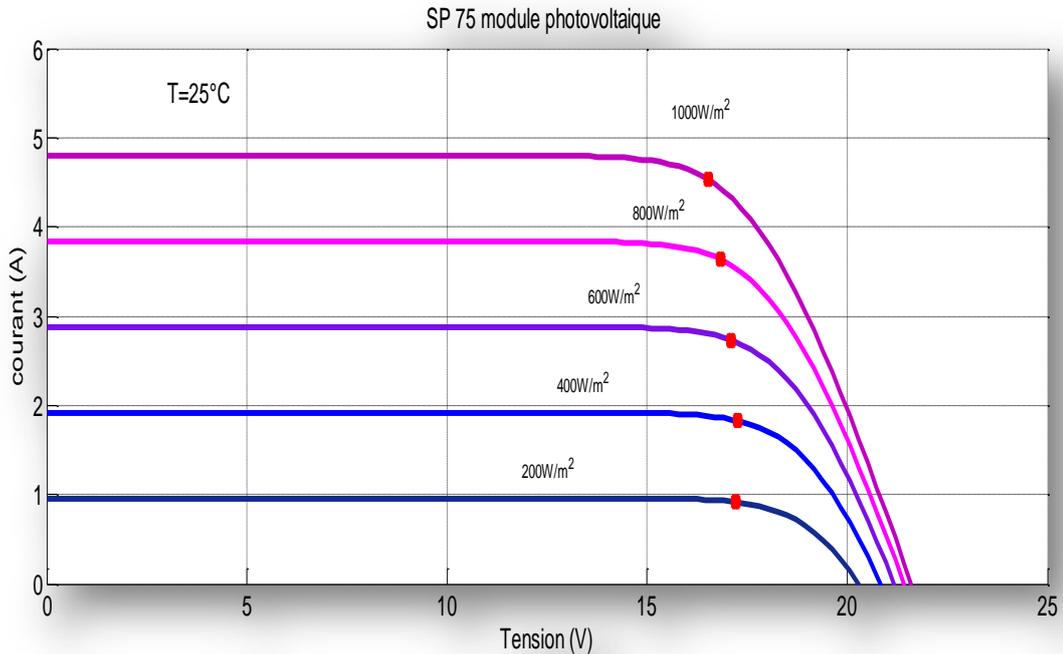


Figure III.7 : La caractéristique I-V et la trajectoire de PPM.

La figure III.8 présente le schéma de principe d'un module photovoltaïque doté d'un étage d'adaptation DC-DC entre le GPV et la charge de sortie. Cette structure correspond à un système plus communément appelé système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant à stocker l'énergie pour une charge qui ne supporte pas les fluctuations de tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui lui permet de rechercher le PPM que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisi et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé.

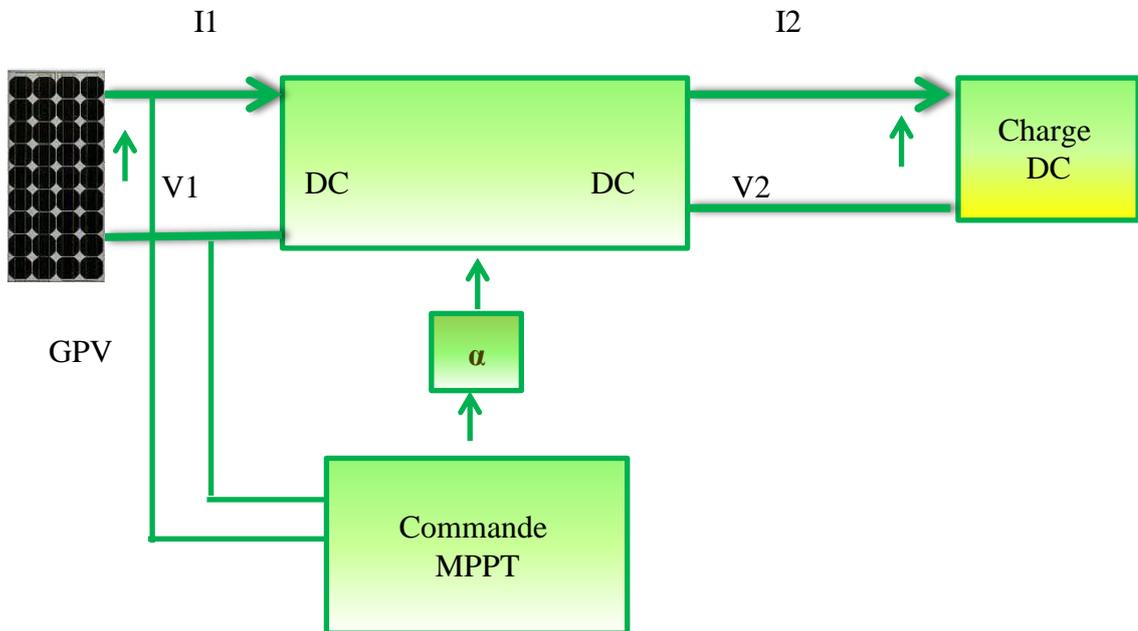


Figure III.8: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

III.6 Classification de l'algorithme de suiveur la puissance max

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.6.1 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 de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court-circuit.

III.6.1.1 La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur

Cette méthode, est basée sur la tension du générateur PV au point de puissance maximale qui est approximativement proportionnelle à sa tension à circuit ouvert V_{oc} . La constante proportionnelle k_1 , dépend de la technologie de cellules photovoltaïques, du facteur de forme et des conditions météorologiques.

$$K_1 = \frac{V_{MPP}}{V_{oc}} \text{ Cst} < 1 \dots\dots\dots(III.2).$$

La tension de circuit ouvert du générateur PV est mesurée et stockée en arrêtant le système, cette opération s'effectuant à une certaine fréquence. Le MPP est calculé suivant l'équation (III.1), et la tension de fonctionnement est ajustée sur le point de puissance maximale. Bien que cette méthode soit apparemment simple, il est difficile de choisir une valeur optimale de k_1 . Cette méthode souffre donc d'inexactitude mais présente l'avantage d'être simple et à bas prix. Aussi, l'interruption de service à la limite des systèmes avec stockage où la déconnexion des panneaux est « transparente » pour l'utilisateur.

III.6.1.2 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 III.3) :

$$K_2 = \frac{I_{MPP}}{I_{sc}} \cong \text{Cst} < 1 \dots\dots\dots(III.3).$$

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

III.6.2 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, on retrouve la méthode Perturbe & Observe (P&O).

III.6.2.1 La méthode Perturbe & Observe (P&O)

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.8, 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 PPM.

Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. 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 PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande.

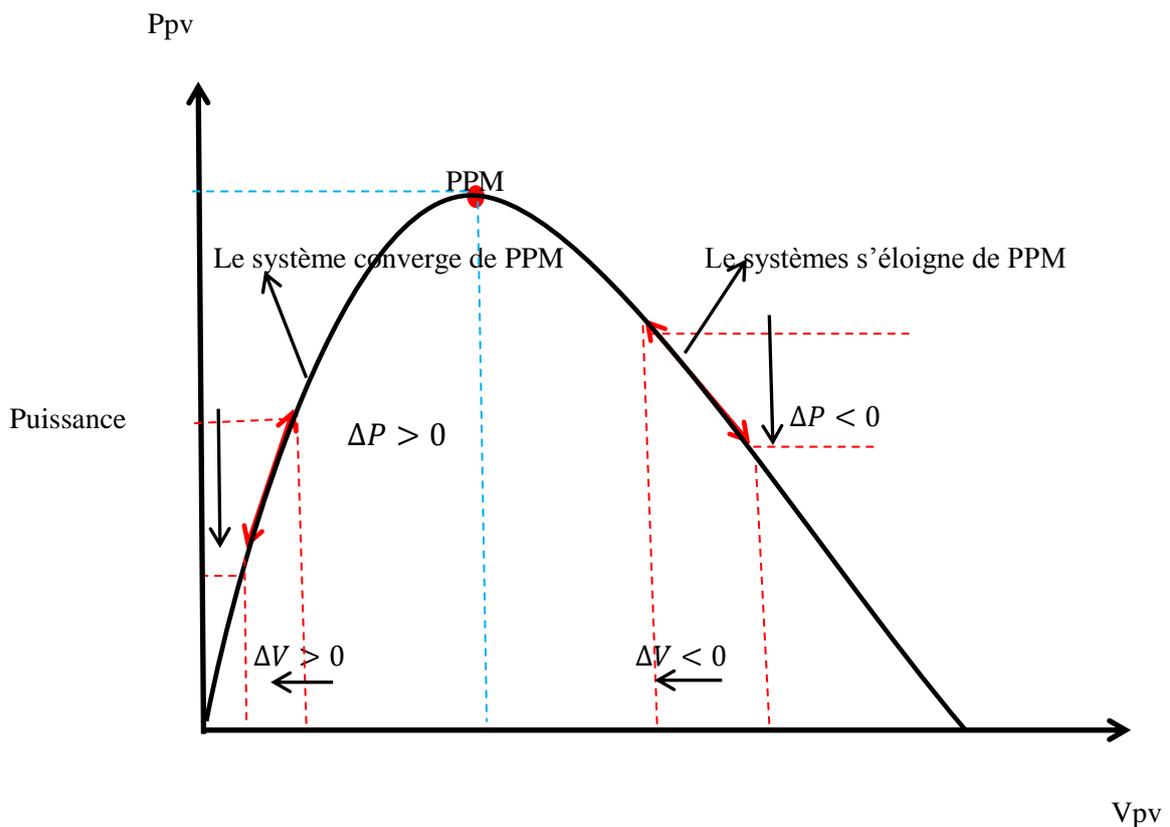


Figure III.9: Schéma de convergence vers le PPM par P&O.

La figure III.10 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 (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du PV à chaque instant.

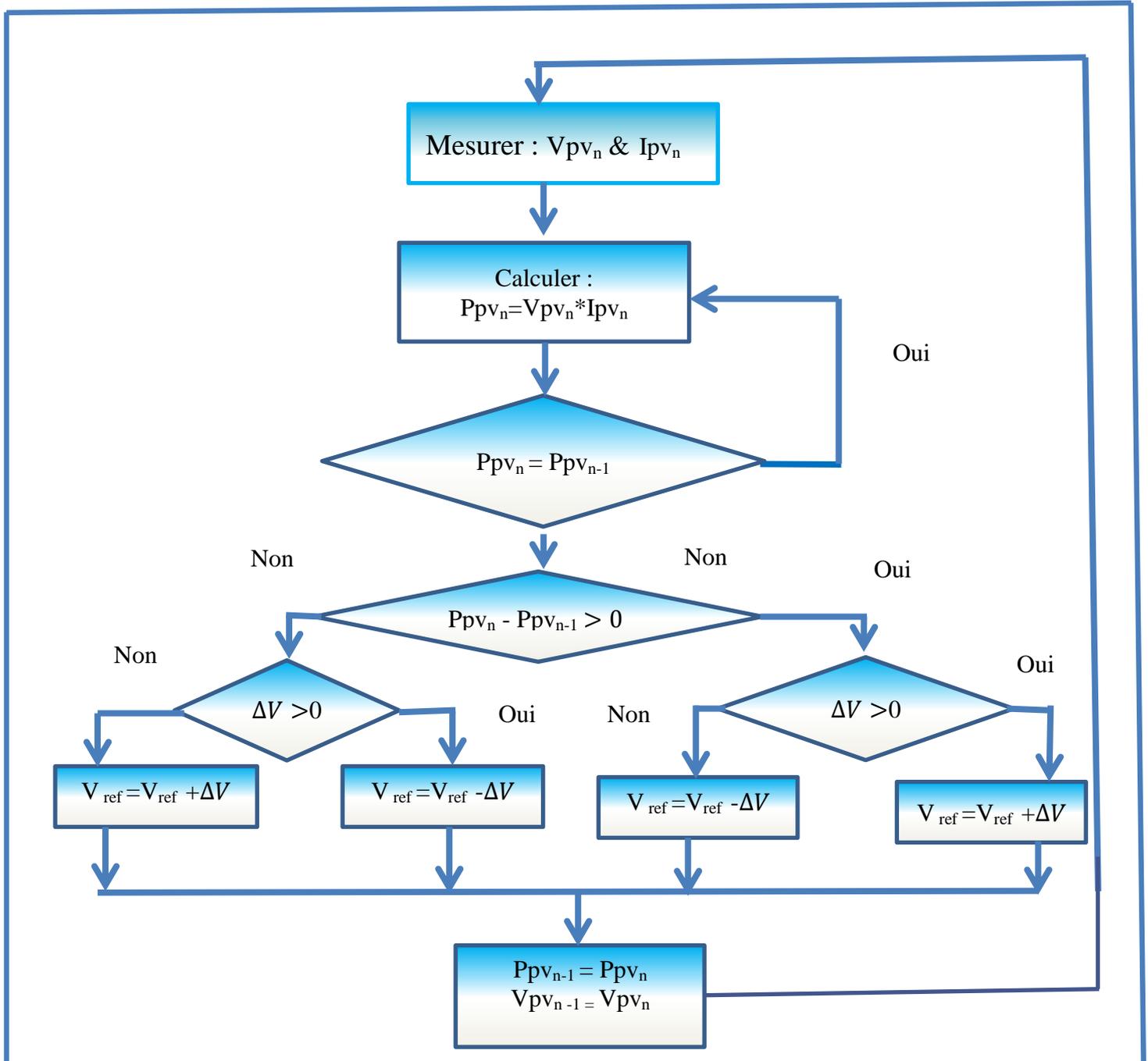


Figure III.10 : Algorithme de MPPT a base de la méthode P&O.

Telle que:

P_{pv_n}: la nouvelle puissance

P_{pv_{n-1}}: l'ancienne puissance dans le temps (t-1).

$$\Delta V = V_{P_{pv_n}} - V_{P_{pv_{n-1}}} \dots \dots \dots (III.4).$$

$$\Delta p = P_{P_{pv_n}} - P_{P_{pv_{n-1}}} \dots \dots \dots (III.5).$$

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 PPM qu'elle engendre en régime établi car la procédure de recherche du PPM doit être répétée périodiquement, obligeant le système à osciller en permanence autour du PPM, une fois ce dernier atteint. Ces oscillations peuvent être minimisées en réduisant la valeur de la variable de perturbation. Cependant, une faible valeur d'incrément ralentit la recherche du PPM, il faut donc trouver un compromis entre la précision et la rapidité. Ce qui rend cette commande difficile à optimiser.

III.7 Optimisation par la méthode intelligente Les techniques MPPT de réseaux de neurones artificiels

La technique de réseaux de neurones est, elle aussi, de plus en plus utilisée, car elle offre une grande alternative pour résoudre des problèmes complexes. Ces dernières années, l'utilisation de cette méthode dans divers domaines d'application ne cesse d'augmenter car elle fonctionne à partir d'une boîte noire qui n'exige pas d'informations détaillées sur le fonctionnement du système. Elle établit des relations entre les variables d'entrée et de sortie en analysant les précédentes données mémorisées. Un autre avantage est qu'elle peut traiter des problèmes d'une grande complexité grâce à des paramètres interdépendants [18].

Les réseaux de neurones sont composés généralement de trois couches différenciées, nommées:

- Couche d'entrée (Input layer)
- Couche cachée (Hidden layer)
- Couche de sortie (Output layer)

Comme le montre la (figure III.11).

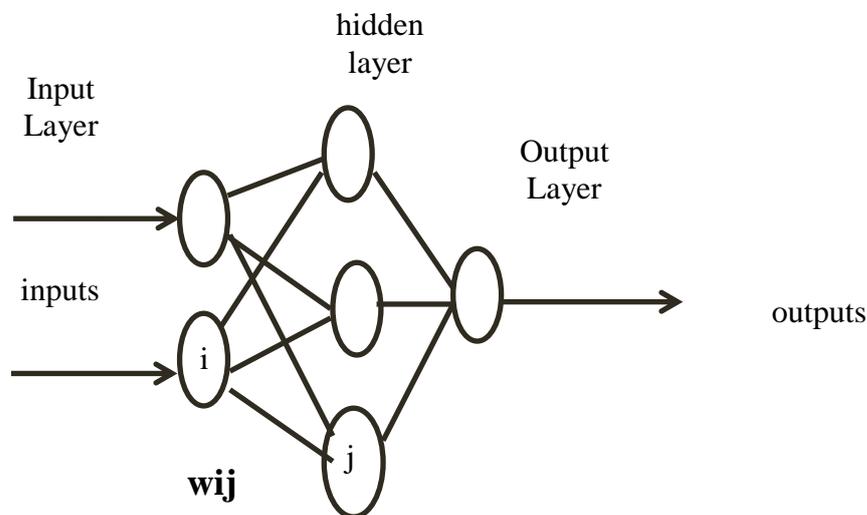


Figure III.11. Exemple d'un réseau de neurones

Le nombre de nœuds au niveau des différentes couches est variable en fonction du degré d'apprentissage souhaité et de la précision de la commande souhaitée. Pour une commande MPPT, les variables d'entrées peuvent donc être les paramètres caractéristiques d'un GPV (VOC, ICC) associées ou non à des données atmosphériques comme la température. Ou plusieurs signaux de référence comprenant au moins le rapport cyclique permettant de commander le CS pour fonctionner le plus souvent possible au PPM. La qualité de la recherche du PPM dépend essentiellement de l'algorithme utilisé dans la couche cachée et de la construction proprement dite du réseau. Ainsi, L'importance entre deux nœuds de la valeur du poids choisi W_{ij} est à prendre en compte. Pour identifier avec précision les différents PPM. Éventuels, les poids W_{ij} doivent être initialement déterminés avec le plus de soin possible à travers des procédures d'apprentissage laborieuses et spécifiques à chaque GPV, chaque site D'implantation et chaque type de charge. De plus, cet apprentissage doit être révisé régulièrement (typiquement chaque mois) pour mettre à jour les relations entre les entrées et les sorties du réseau. Ce qui rend cette commande fastidieuse en entretien et en maintenance. Bien qu'il existe une grande quantité de ces commandes MPPT dans la littérature, nous ne connaissons pas d'application industrielle les utilisant [18].

III.8 Conclusion

Le point faible d'un générateur PV et le faible rendement de conversion, parmi les causes provoque ce problème focalise sur le couplage non parfait entre la source et la charge.

Dans ce chapitre nous avons cité et expliqué plusieurs méthodes de poursuite du point de puissance maximale et nous détaillent dans la méthode dite 'perturbation et observation' qui utilisé par la suit dans la simulation de notre système.

Ces techniques force le générateur PV de faire fonctionner en permanence pour produire le maximum de sa puissance, et ça obtenu par l'insertion d'un convertisseur DC-DC contrôlé par un algorithme traqueur du point de puissance maximale (MPPT).

CHAPITRE IV
Simulation du système
photovoltaïque

Iv.1 Introduction

Afin de valider l'étude abordé dans le chapitre précédent concernant l'optimisation de générateur PV et d'améliorer leur rendement autrement dit maximiser la puissance délivrée à la charge.

Dans ce chapitre, notre travail consiste à modéliser et simulé un système PV de moyenne puissance (100 W) fonctionnant en régime continu dans les conditions optimales indépendamment des conditions météorologiques (ensoleillement, température).

Dans ce sens nous avons fait une étude comparative entre deux système PV (connexion directe - à travers un étage d'adaptation commande par une carte MPPT.

Pour cet effet nous avons utilisée logicielle MATLAB pour la simulation.

IV.2 Simulation d'un système photovoltaïque

Pour réaliser cette simulation, nous avons utilisé les équipements suivants :

- Générateur PV SP75
- Convertisseur d'énergie DC-DC (élevateur avec $C_S = 200F$, $C_E = 2200F$, $L=300H$, $f= 10kHz$).
- Carte MPPT fonctionne par l'algorithme perturbe et observent P&O.
- Charge résistive $R_S = 50 \Omega$.

Les figures ci-après présentent le schéma bloc de la simulation d'un système PV et schéma bloc d'algorithme MPPT.

❖ simulation d'un système PV avec la commande MPPT

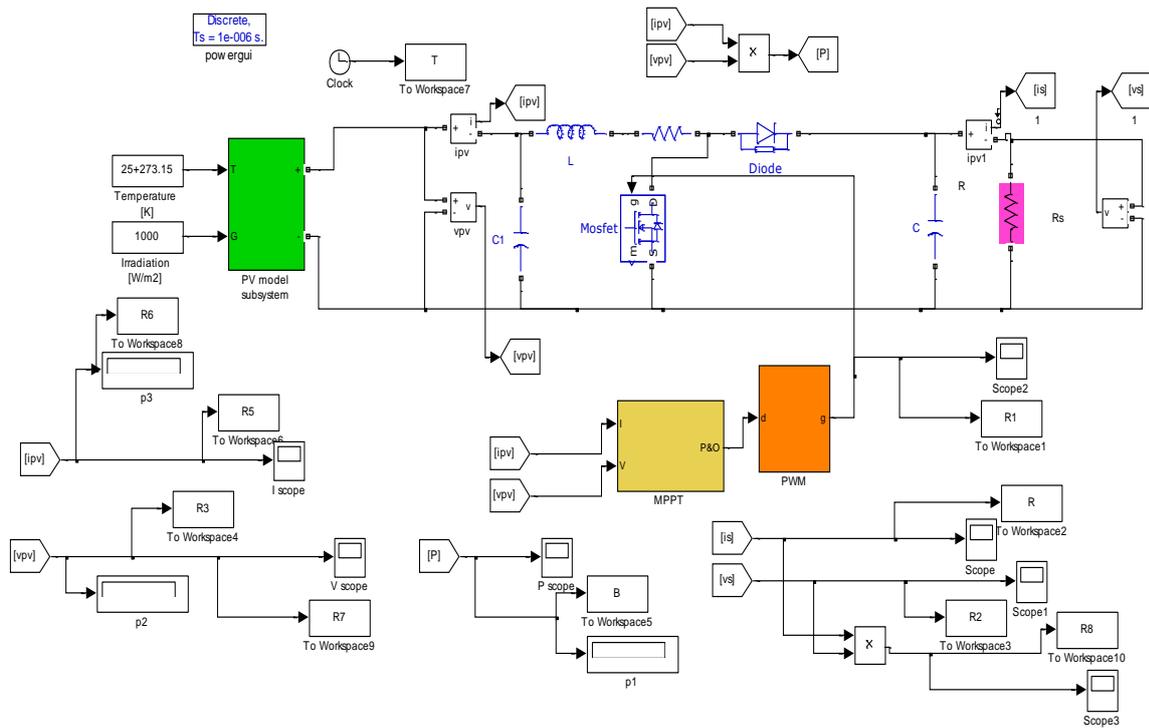


Figure IV.1: Schéma bloc de la simulation d'un système PV avec la commande MPPT.

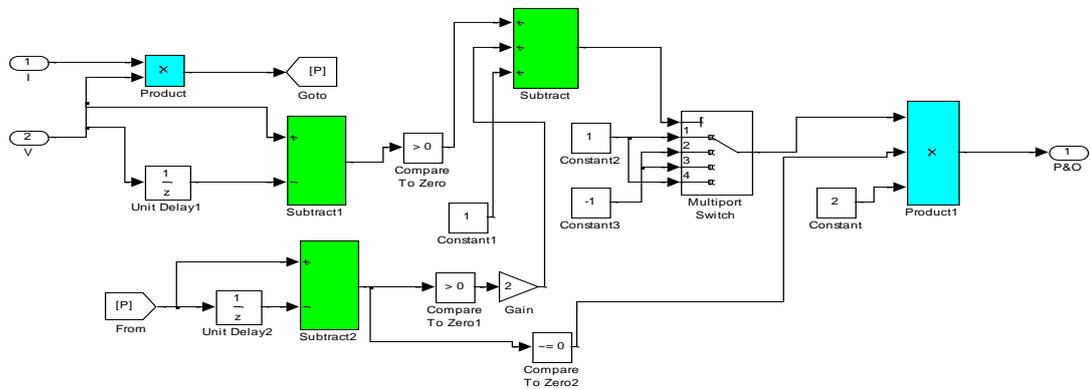


Figure IV.2 : Schéma bloc d'algorithme MPPT.

IV.3 Fonctionnement sous des conditions standard

Dans les figures (IV.3 et IV.4 et IV.5), est pour un éclairement constant de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

➤ **Résultats de simulation**

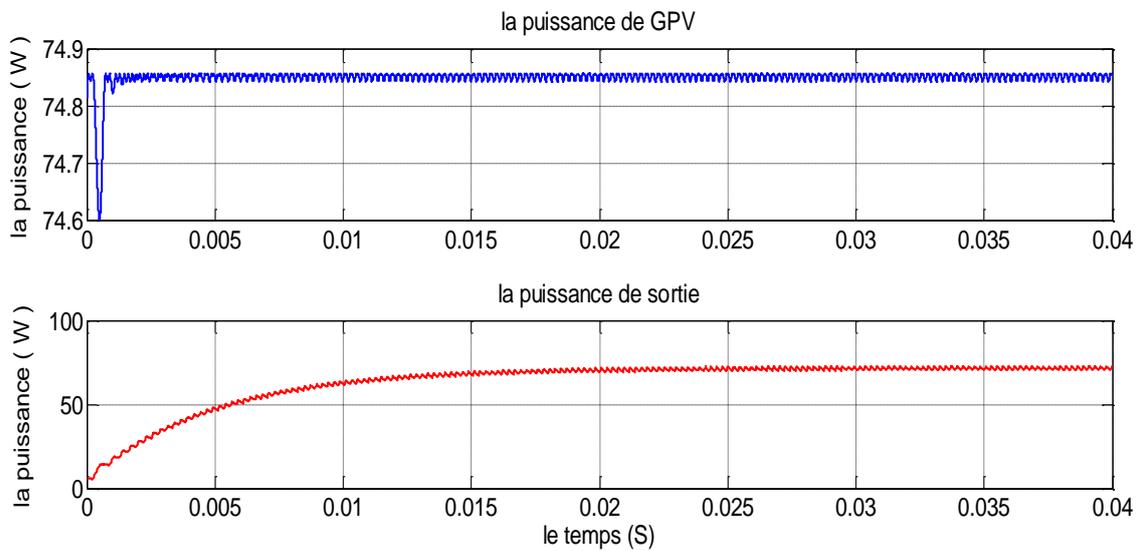


Figure IV.3: La puissance de sortie et GPV.

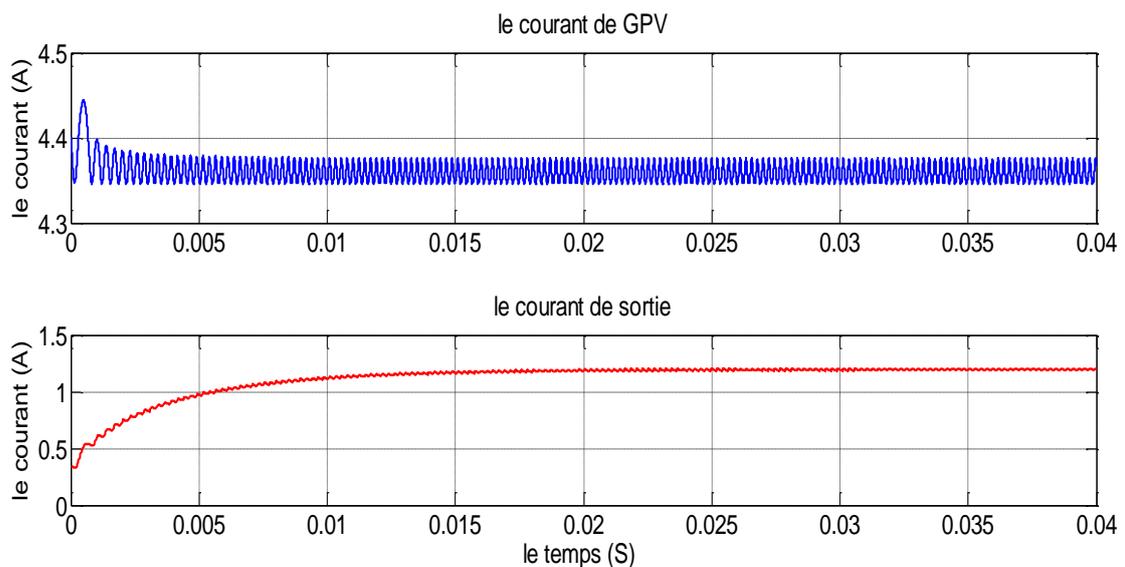


Figure IV.4: Le courant de sortie et GPV.

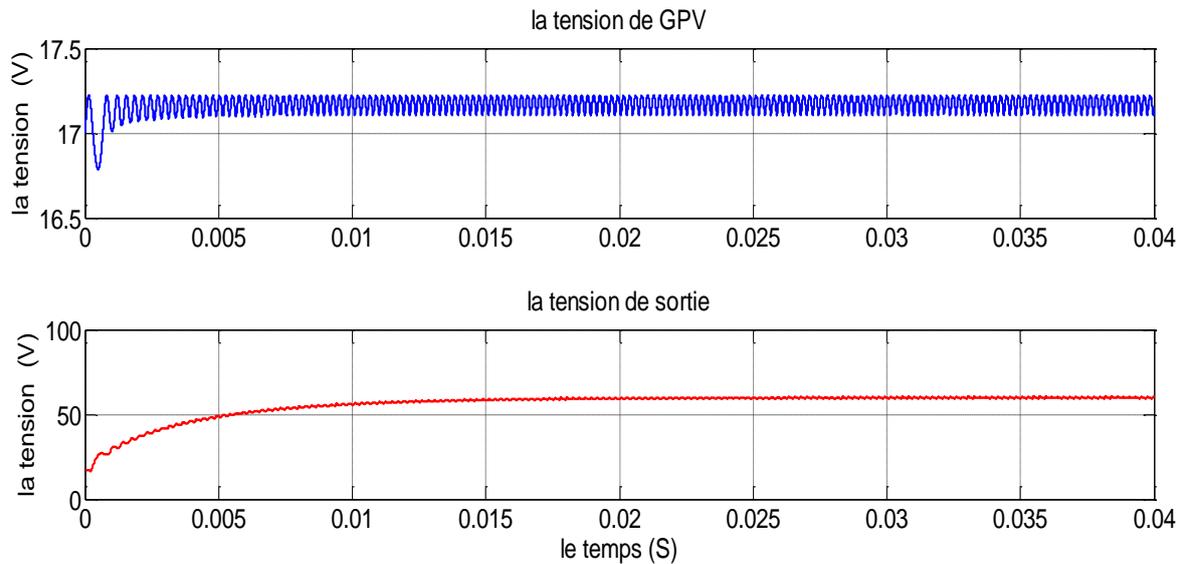


Figure IV.5: La tension de sortie et GPV.

Les résultats typiques de simulation des caractéristiques électriques à la sortie du panneau et à la sortie du hacheur de type élévateur contrôlé par la commande MPPT il apparaît que:

Les différentes grandeurs électriques (puissances, tensions et courants) se stabilisent autour des valeurs fixées par notre cahier de charge:

Après un régime transitoire de durée 2 ms, la commande MPPT fait osciller le point de fonctionnement autour du point du PPM.

La puissance fournie par le générateur PV se stabilise autour de 75 W et celle fournie à la charge autour de 70 W, à la sortie du panneau, la tension et le courant se stabilisent respectivement autour de 17.2 V et 4.38A.

Au niveau de la charge, la tension et le courant se stabilisent respectivement autour de 60 V et 1.19 A.

Notons que la différence entre la puissance à la sortie du panneau et celle fournie à la charge reste dans la limite de 5 W. Ces pertes sont attribuées aux pertes par commutation et par conduction dans le transistor Mosfet, dans la diode et dans les différents composants de la commande MPPT.

IV.4 Eclairage variable et température constante

Pour présenter l'effet de l'éclairage E sur la puissance, on maintient la température à une valeur constante $T=25^{\circ}\text{C}$ et on fait varier l'éclairage de (1000, 600 et 900) W/m^2 .

➤ **Résultats de simulation**

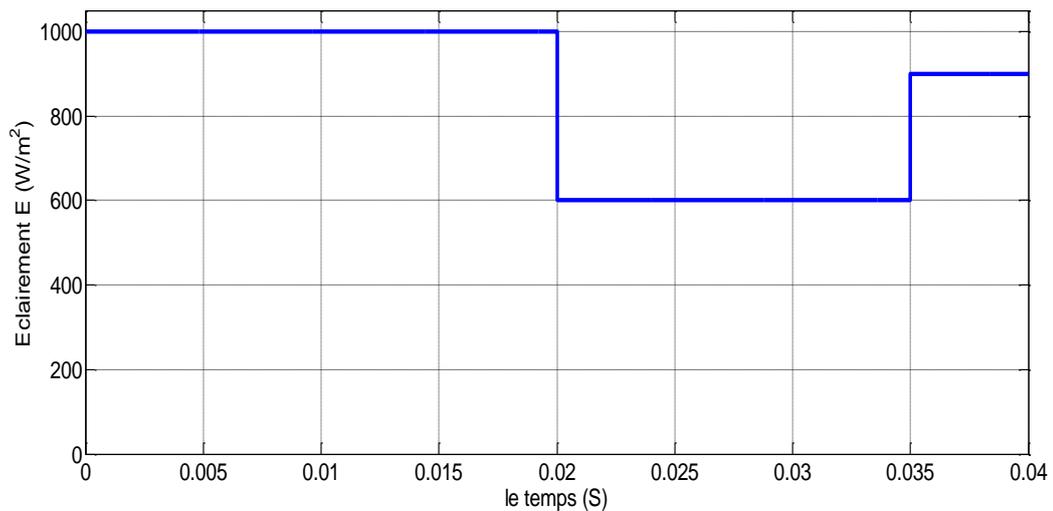


Figure IV.6 Changement d'éclairage.

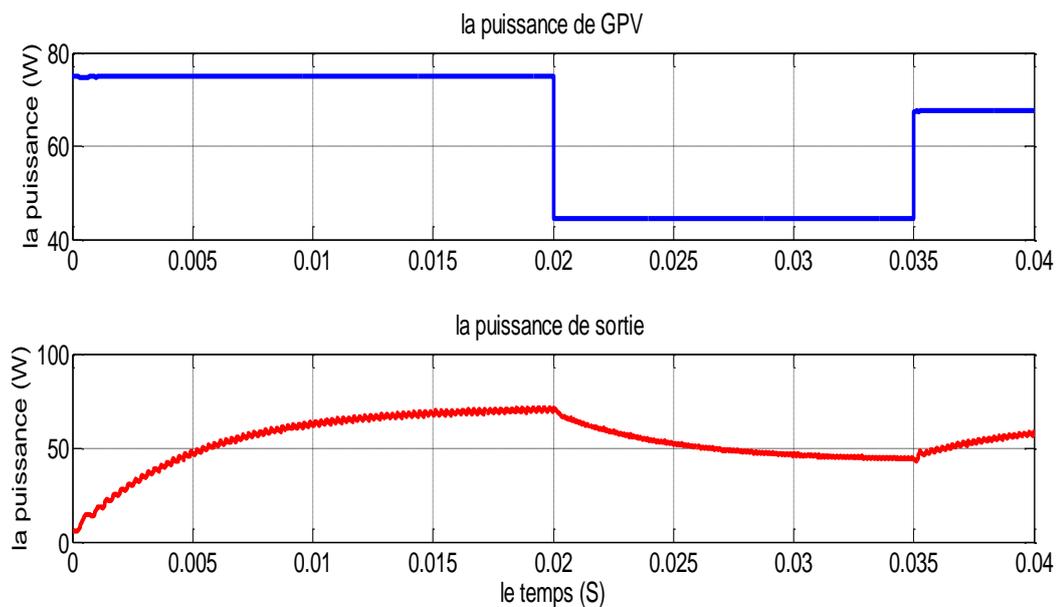


Figure IV.7 : La puissance $P(t)$ de sortie et GPV.

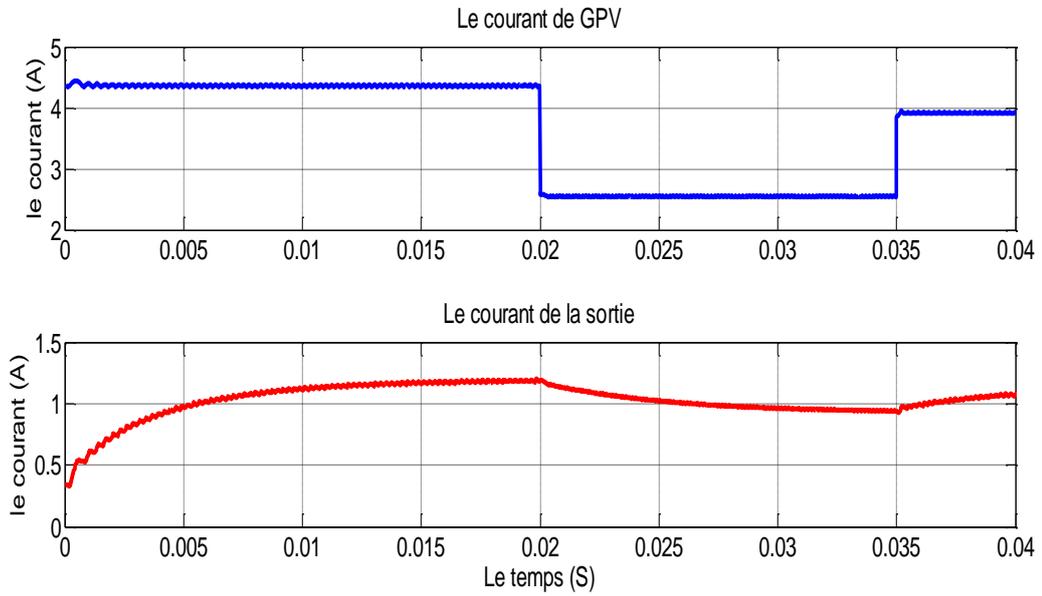


Figure IV.8 : Le courant $I(t)$ de sortie et GPV.

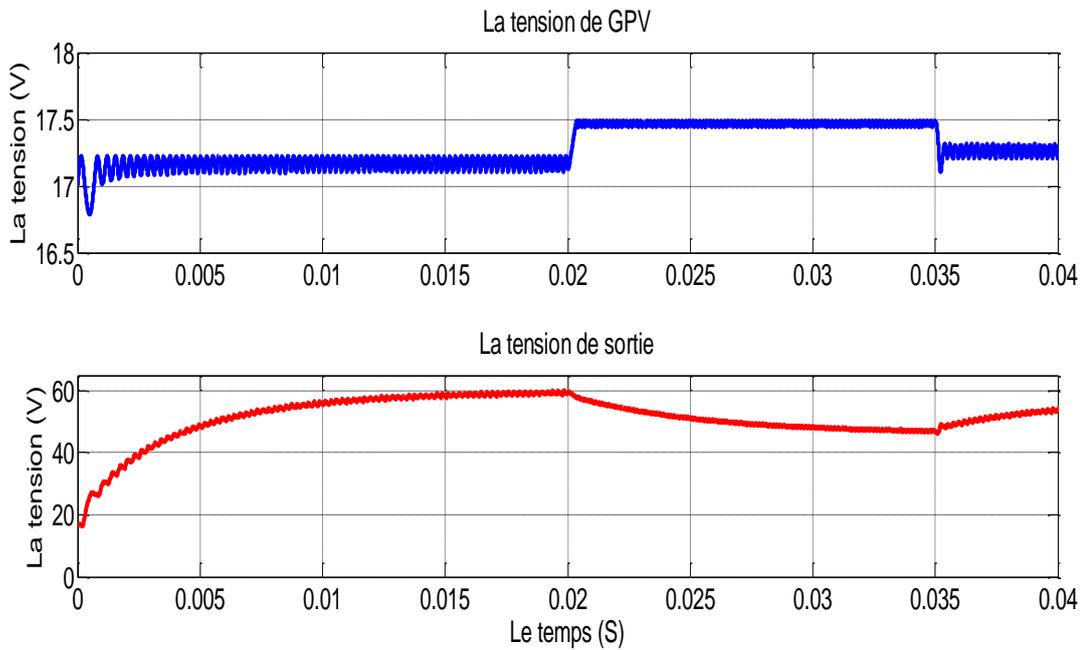


Figure IV.9 La tension $V(t)$ de sortie et GPV.

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque qu'il existe une relation de proportionnalité entre la puissance et l'éclairement. Ainsi que le temps de réponse est très rapide. Mais on constate que les courbes de la puissance, de la tension et du courant présentent des oscillations dans le régime permanent.

IV.5 Température variable et éclairement constant

Pour présenter l'effet de la température T sur la tension, on fait maintenir l'éclairement à une valeur constante $E= 1000 \text{ w/m}^2$ et on fait varier la température de (25, 35 et 45) °C.

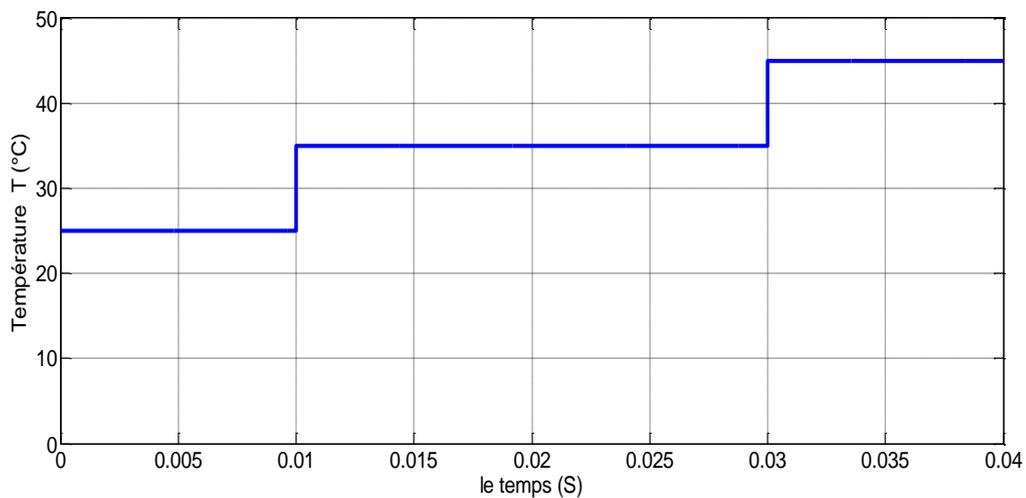


Figure IV.10 : Changement de la température.

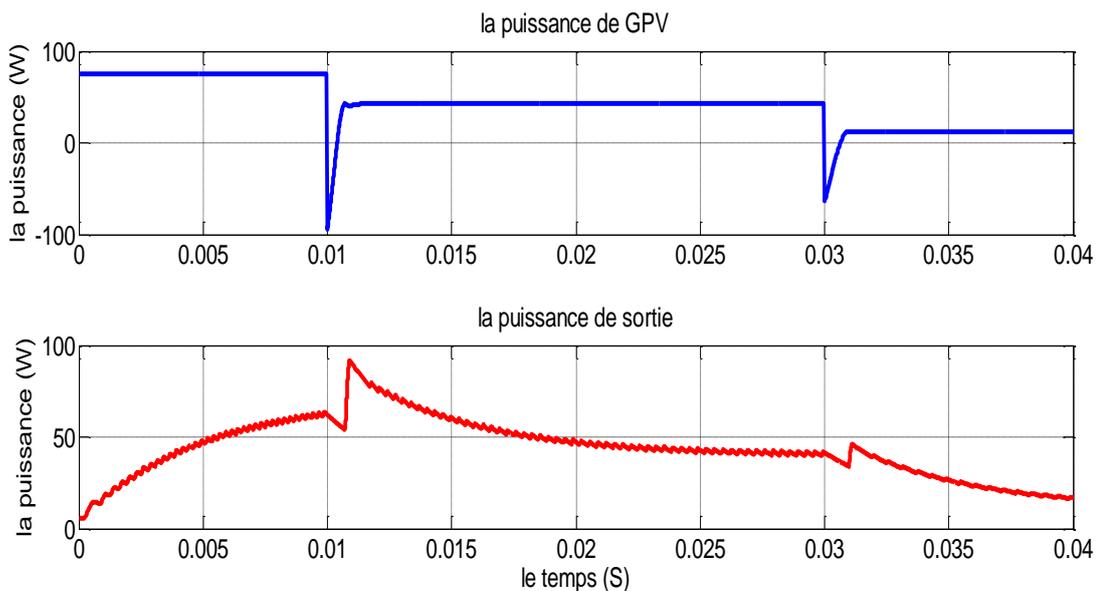


Figure IV.11 : La puissance de sortie et GPV.

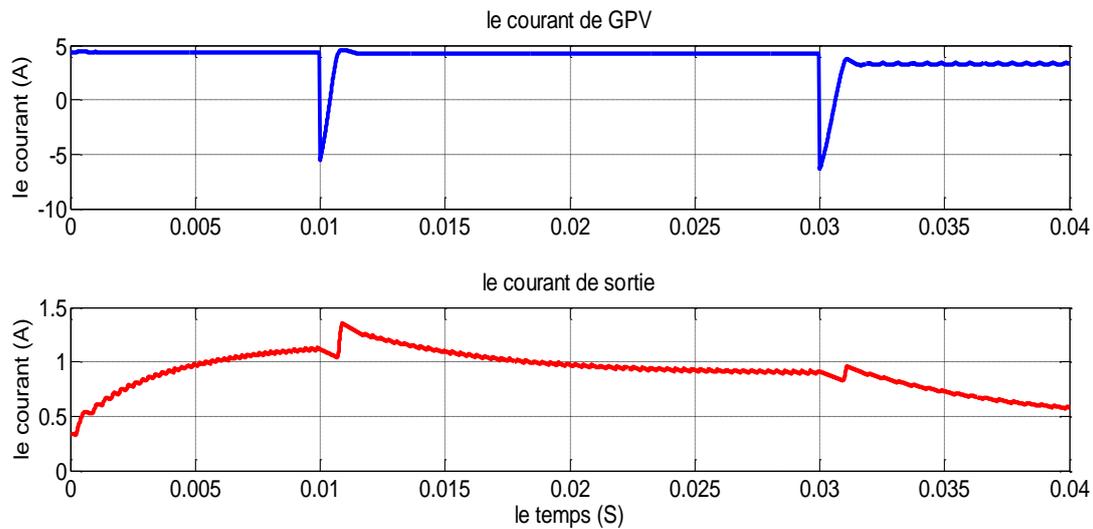


Figure IV.12 : Le courant de sortie et GPV.

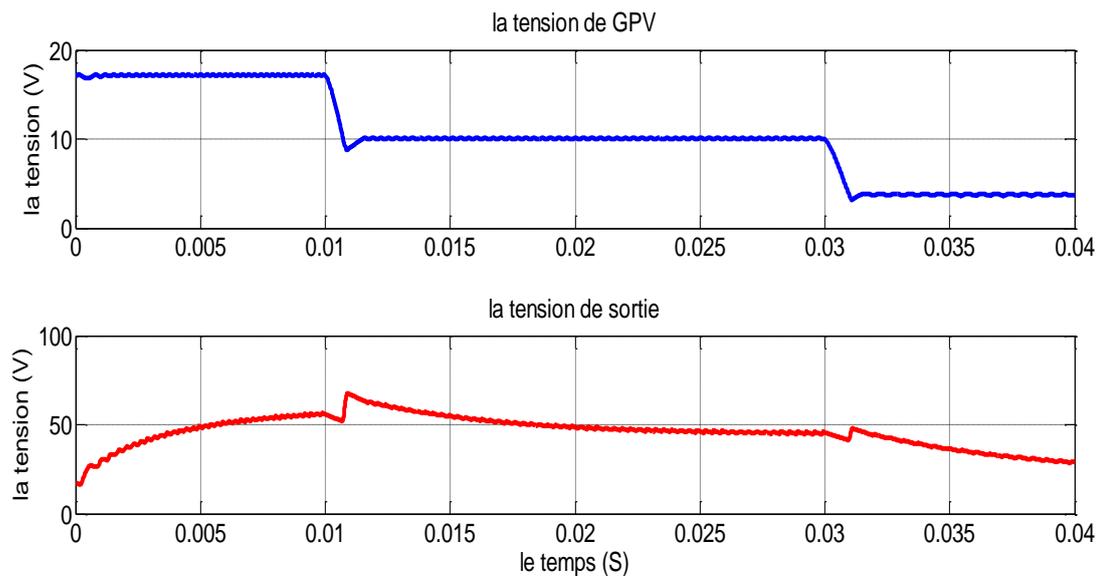


Figure IV.13 : La tension de sortie et GPV.

D'après les résultats de simulation obtenus, on remarque qu'il existe une relation d'inversement proportionnel entre la puissance et température, on remarque également qu'une variation de la température provoque une variation considérable de la tension (V_{pv}), par contre le courant I_{pv} dans ce cas varie légèrement. Ainsi on constate que les courbes de puissance, de tension et du courant présentent des oscillations dans le régime permanent.

IV.6 Connexion générateur PV - Charge

Le système photovoltaïque peut être connecter avec la charge selon deux principales modes :

- Connexion directe source PV-charge
- Connexion à travers un étage d'adaptation

$$G=1000\text{W/m}^2, T=25\text{ }^\circ\text{C}$$

R (Ω)	P (W)	U(V)
3	65.08	13.97
3.86	74.59	16.97
6	61.1	19.15

Tableau IV.1 : condition standard

$$T=25\text{ }^\circ\text{C}$$

E (W/m^2)	R (Ω)	P (W)	P _{Opt} (W)
1000	3.86	74.59	74.59
800	3.86	52.72	59.8
600	3.86	29.8	44.48
400	3.86	13.24	28.76

Tableau IV.2 : Variation l'éclairement

$$G=1000\text{ W/m}^2$$

T ($^\circ\text{C}$)	R (Ω)	P (W)	P _{Opt} (W)
25	3.86	74.59	74.59
30	3.86	55.05	58.27
40	3.86	18.88	26.24
45	3.86	7.38	12.08

Tableau IV.3 : Variation la température

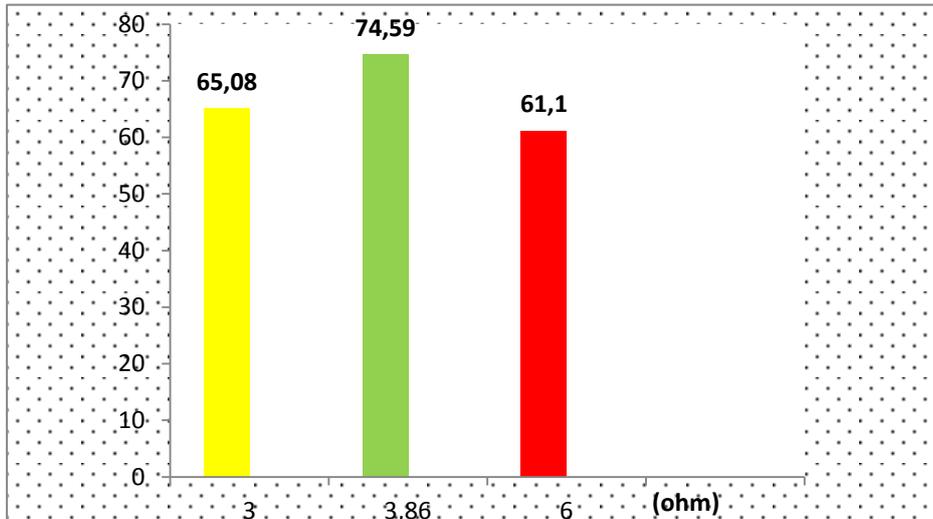


Figure IV.14 variation de puissance on fonction de la charge.

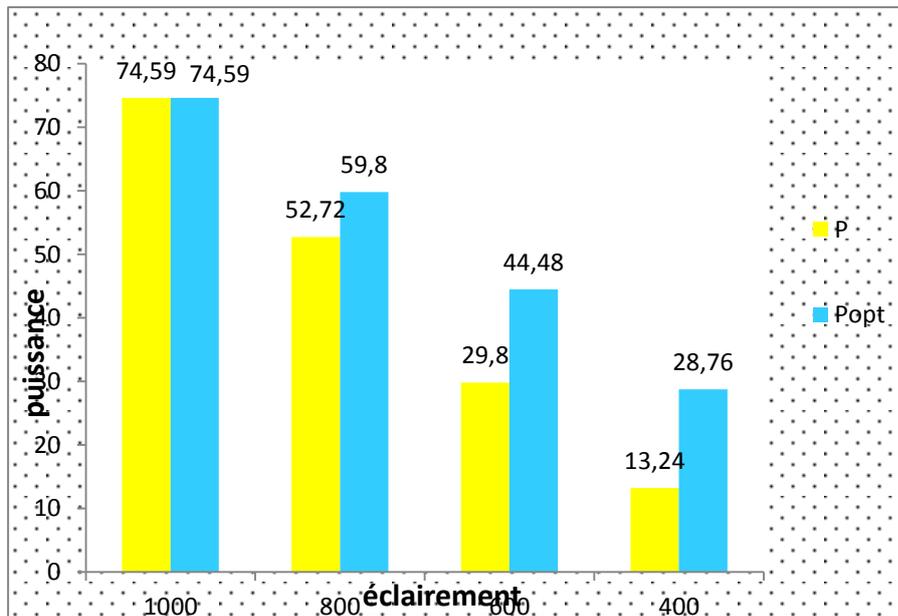


Figure IV. 15 variation des puissances on fonction de la température.

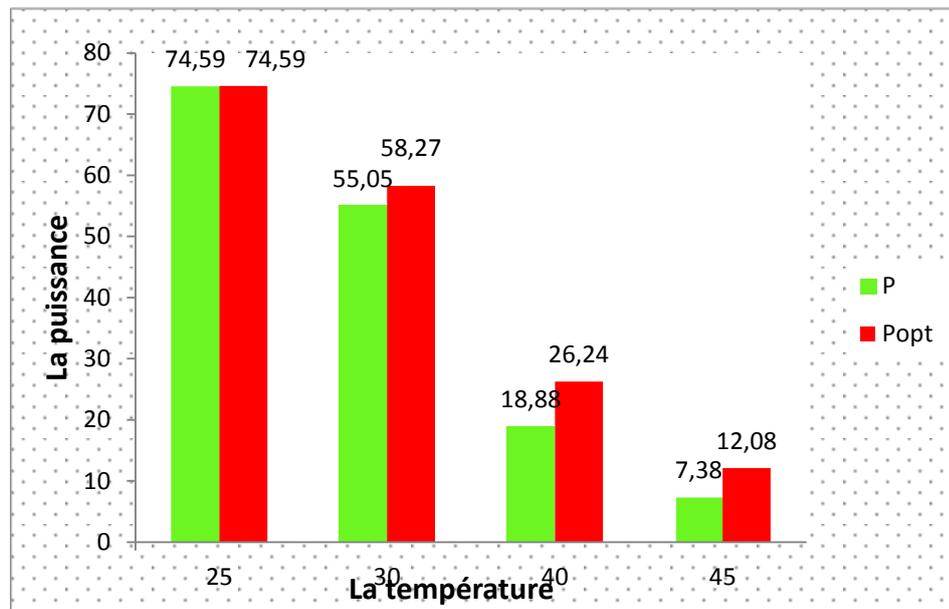


Figure IV. 16 variation des puissances on fonction de l'éclairement.

❖ Interprétation

La puissance produite par une connexion directe entre le générateur PV et la charge est toujours inférieur à la puissance maximale. Par contre, dans l'utilisation d'un système muni d'une commande MPPT, les pertes de puissance dans la chaîne de conversion sont négligeables par rapport à la puissance électrique prélevée sur le panneau solaire. La puissance électrique fournie à la charge sera donc approximativement égale à la puissance générée par le GPV., le générateur PV peut fonctionner sur sa courbe de puissance électrique optimale sur toute la plage de variation d'éclairement et de température.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la simulation d'un système PV fonctionnement dans les conditions standard et avec des changements climatiques (éclaircissements et températures). Ensuite nous avons fait une comparaison entre deux systèmes (avec et sans MPPT).

Les résultats de simulation ont montré de bonnes performances en termes de poursuite de la puissance maximale fournie par le panneau photovoltaïque dans les conditions standard et variables, la comparaison nous a donné que le système optimisé porte un gain de puissance considérable par rapport à un système non optimisé, le pourcentage d'augmentation aller jusqu'à 30 %.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ces dernières années la consommation mondiale d'électricité évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

L'utilisation d'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittent selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénients. Ce travail s'agit d'une contribution à l'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque.

Les travaux présentés dans ce mémoire traitent plus particulièrement la problématique du couplage non parfait entre un générateur photovoltaïque et une charge de type continue. En effet, ce type de couplage souffre encore du problème du transfert de puissance du GPV à la charge qui est souvent très loin de la puissance maximale du générateur.

Avant d'aborder la problématique de conversion, nous avons tout d'abord étudié le contexte et la problématique de l'énergie solaire photovoltaïque. Ceci s'est avéré nécessaire pour acquérir une connaissance approfondie du comportement d'un générateur photovoltaïque.

Nous avons établi des programmes de calculs sous l'environnement Matlab permettant de tracer la caractéristique I-V et P-V du panneau PV pour différents éclairages et températures solaires et de calculer la puissance maximale délivrée correspondante.

Nous avons rappelé aussi les principales caractéristiques des convertisseurs statiques dont il faut tenir compte pour réaliser les étages d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge. Pour mieux analyser les problèmes de l'exploitation d'un générateur photovoltaïque, nous avons étudié la méthode d'optimisation classique.

Dans le dernier chapitre, nous avons analysé dans le simulateur Matlab le fonctionnement d'un système PV, de moyennes puissances (75 W) dont la régulation de la puissance est effectuée par une commande MPPT, suites aux variations des conditions météorologiques (éclairagements, températures) et de la charge.

Les résultats obtenus montrent l'oscillation instantanée du point de fonctionnement du module photovoltaïque autour du PPM indépendamment à des variations des conditions climatiques et de la charge. Le bon fonctionnement du convertisseur DC-DC (Boost, rendement de l'ordre de 90 %) et les faibles pertes de puissances fournies par ce module (inférieures à 10 %) nous ont permis de conclure le bon fonctionnement et les performances satisfaisantes du système PV réalisé au cours de ce travail.

Pour mieux analyser les contraintes de l'exploitation d'un système photovoltaïque, nous avons présenté à la fin de ce travail de recherche les résultats obtenus d'une étude comparative entre deux systèmes (Le premier utilise une connexion directe et le deuxième un étage d'adaptation). Le deuxième système étant optimisé avec la technique MPPT.

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation du système optimisé pour un générateur photovoltaïque apporte un gain énergétique moyen entre 30% à 40% de plus. Il est clair maintenant qu'un système PV optimisé favorise considérablement l'utilisation des énergies renouvelables. .

Comme perspectives, plusieurs travaux futurs pourraient être poursuivis à partir de nos résultats. Nous proposons particulièrement :

- La généralisation de l'étude d'optimisation. Il est envisageable d'inclure les batteries dans le système proposé.
- Une validation par moyens expérimentaux des résultats obtenus est aussi souhaitable et possible.

Bibliographies

- [1] H.KAMELIA « Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque: Etude Comparative » Mémoire de magister en électrotechnique de l'UMMTO (Tizi-Ouzou). Soutenu publiquement le 25 / 06 / 20012.
- [2] E. PARBAILE « Contribution à l'optimisation des techniques de dépôts sous vide de cellules solaires organiques » Thèse Docteur de l'Université de Limoges. le 14 décembre 2009.
- [3] H.B.Mohammed « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé » Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.
- [4] J. Royer, T.djiako, E.schiller, B. Sada, «Le pompage photovoltaïque», Institut de l'Energie Des Pays Francophone ,1998.
- [5] B.wafa « Convertisseurs multiniveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau ». Mémoire de magistère Université Mohamed Khider – Biskra.
- [6] Travail de maturité Alexandra Catana, 3M7 Assistée par L. de Schoulepnikoff.
- [7] Mr. M. Hichem « Détermination intelligente de la puissance maximale des modules photovoltaïques », Mémoire de Magister universite el hadj lakhdar batna, Année Universitaire 2013/2014.
- [8] S. Vighetti « Systèmes photovoltaïques raccordés au résea: Choix et dimensionnement des étages de conversion », docteur de l'Université de Grenoble 2010.
- [9] B. Djamil « Optimisation d'un systeme d'energie Photovoltaïque applicatiou au Pompage » memoire de magistère 28 / 11 / 2007.
- [10] H. Azzedine « Modélisation et commande d'un système photovoltaïque » memoire de magistère UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA.
- [11] A. B. Learreta « Réalisation de Commandes MPPT Numériques » LAAS-CNRS Toulouse (France) 2006.
- [12] O.BENSEDDIK, F. DJALOU, « étude et optimisation de fonctionnement d'un système photovoltaïque » mémoire de master 27 /06/2012.
- [13] M.L louazene, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque » sur le site d'Ouargla mémoire de magister 12/06/2008.

- [14] M. SLAMA Fateh « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique » mémoire de magistère 01 /04/2011.
- [15] M. P. Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques » thèse doctorat de l'université de Toulouse 20 Janvier 2009
- [16] A. Lyes « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque » mémoire de magistère 05/05/2011.
- [17] Mr. Yassine LASMI « Optimisation de la poursuite du point de puissance maximale(MPPT) d'un système photovoltaïque par les techniques intelligentes ». Mémoire de magistère 09 / 12 /2013.
- [18] B. Zakaria « contribution à la modélisation d'une cellule solaire » Mémoire de magistère université de Bechar 28 / 06 / 2009.
- [19] L.salah « Etude comparative des techniques MPPT Perturbation and Observation (P&O), Incremental Conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C) »Mémoire de magistère, Promotion 2007.
- [20] A. Saliha « Modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de magistère, UFAS, Soutenu le 28/09/2014.

Résumé

ملخص

تعتبر الطاقة الشمسية مستقبل طاقتي واعد يستجيب الى الطلب العالمي المتزايد على الطاقة الكهربائية, وذلك نظرا لما تختص به من ميزات بيئية مرغوبة وانتشارها على كل سطح الارض.

ان الاستطاعة الناتجة عن المولد الكهروضوئي تتعلق ببعض المتغيرات من بينها شدة الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلايا الكهروضوئية, نظرا للخصائص الكهربائية اللاخطية لهذه الخلايا فان الاستطاعة الناتجة عن الربط المباشر تظل ضعيفة مقارنة بالاستطاعة الاعظمية للمولد الكهروضوئي. موضوع بحثنا يتطرق الى بعض التقنيات الواجب ادخالها على النظام الكهروضوئي لتحسين مردوده عن طريق تتبع نقطة الاستطاعة الاعظمية (MPPT).

باستعمال الطريقة المقترحة نستطيع الحصول على الاستطاعة الاعظمية بارتفاع مهم جدا على مستوى انظمة التوليد بالطاقة الشمسية مما يقلل من تكلفتها .

Résumé

L'utilisation de l'énergie solaire est une option énergétique prometteuse qui répond à la demande croissante en énergie dans le monde, avec des avantages comme l'absence de la pollution et la disponibilité partout au globe terrestre.

La puissance de sortie d'un GPV dépend d'un certain nombre de paramètres parmi lesquels l'intensité du rayonnement solaire, la température des cellules, etc. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV, la puissance produite par une connexion directe entre le générateur photovoltaïque est toujours très loin de la puissance maximale, pour résoudre ce problème autrement dit optimisé le fonctionnement de générateur photovoltaïque on place entre ce dernier et la charge un étage d'adaptation muni par un contrôleur MPPT .

L'utilisation de la méthode proposée, nous permet d'atteindre une puissance maximale en temps réel aussi augmenter considérablement la puissance de sortie des panneaux photovoltaïques dans un système de production d'énergie solaire.