



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur

et de la Recherche scientifique

Mémoire de Fin d'Etude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Génie Électrique

Spécialité: Réseaux Électrique

Thème

**Optimisation d'un Système Photovoltaïque Utilisé
pour l'irrigation Dans Une Zone Saharienne**

Réalisé par :

- ✓ Necib Lakhdar
- ✓ Abd Elghani Kerrouche
- ✓ Fethiza Ammar Mohammed

Dirigé par :

* Dr .Mida Dris

Universités: 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mon père en hommage de son sacrifice pour notre bien.*
- ✓ *Ma chère mère.*
- ✓ *Mes frères*
- ✓ *Toute ma famille.*
- ✓ *Tous ceux qui m'ont offert de l'aide de près ou de loin et surtout
Pr. Oussama Mammeri, Hicham Serhoud et Talal guia*
- ✓ *Tous mes amis et étudiants Réseaux Electrique*

Necib Lakhdar

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mon père en hommage de son sacrifice pour notre bien.*
- ✓ *Ma chère mère.*
- ✓ *Mes frères*
- ✓ *Toute ma famille.*
- ✓ *Tous ceux qui m'ont offert de l'aide de près ou de loin et surtout*
Pr. Oussama Mammeri
- ✓ *Tous mes amis et étudiants Réseaux Electrique*

Abd Elghani Kerrouche

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mon père en hommage de son sacrifice pour notre bien.*
- ✓ *Ma chère mère.*
- ✓ *Mes frères*
- ✓ *Toute ma famille*
- ✓ *Tous ceux qui m'ont offert de l'aide de près ou de loin et surtout Pr. Oussama Mammeri*
- ✓ *Tous mes amis et étudiants Réseaux Electrique*

Fethiza Ammar Mohammed

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur « Pr. Mida Dris », son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nous tenons à remercier aussi «Pr. Oussama Mammeri» son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Résume

Ce travail s'intéresse à l'étude de système photovoltaïque en utilisant la méthode du point de puissance maximale (MPPT avec l'algorithme P&O), qui a permis de déterminer le point de puissance maximale de GPV, et il traite l'étude de la commande vectorielle appliquée au moteur asynchrone qui est alimenté par un générateur photovoltaïque. Ce générateur fonctionne à sa puissance optimale avec l'utilisation du convertisseur DC-DC. Après avoir présenté la modélisation et la commande du système proposé, des résultats de simulation et sont montrés pour valider les études théoriques.

Mot clés : générateur photovoltaïque, poursuite du point de puissance maximale, commande MPPT, hacheur, onduleur, MCC, BOOST, P&O,

Abstract

This work is interested in the study of photovoltaic system by using the method of the point of maximal power of the photovoltaic generator, who allowed determining the point of maximal power, and it treats the study of the vector control applied to the asynchronous engine which is fed by a photovoltaic generator. This generator works in its optimal power with the use of the converter DC-DC.

Having presented the modeling and the order of the proposed system, the results of simulation are shown to validate the theoretical studies.

Keywords: photovoltaic generator, maximum power point tracking, control MPPT, chopper, inverter, MCC, BOOST, P&O,

ملخص:

يهتم هذا العمل بدراسة النظام الكهروضوئي باستخدام طريقة نقطة القوة القصوى للمولد الكهروضوئي، والتي سمحت بتحديد نقطة القوة القصوى، ويتناول دراسة التحكم في النواقل المطبقة على المحرك غير المتزامن وهو تغذيها

بواسطة مولد كهروضوئي (ألواح شمسية). يعمل هذا المولد بطاقته المثالية باستخدام المحول DC-DC.

بعد تقديم النمذجة وترتيب النظام المقترح، يتم عرض نتائج المحاكاة للتحقق من صحة الدراسات النظرية.

الكلمات الرئيسية: ألواح شمسية، الحد الأقصى لتتبع نقطة الطاقة، التحكم MPPT، المروحية، العاكس، MCC،

. P&O،BOOST

Sommaire

Sommaire	
List de Figure	
List de tableau	
Liste des abréviations et des symboles	
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Généralité sur les systèmes photovoltaïque

I.1.Introduction :.....	4
I.2 Définition et Historique du photovoltaïque	4
I.3 Le système photovoltaïque	5
I.3.1. L'effet photovoltaïque	7
I.3.2 Caractéristiques électriques des modules	8
I.3.4 Association en parallèle, série et mixte	9
I.3.5 Effet de l'éclairement	11
I.3.6 Influence de la température.....	12
I.4. Energie photovoltaïque :.....	14
I.4.1. Définition :	14
I.4.2 Rayonnement solaire :	14
I.4.3 Différents types de rayonnement.....	14
I.4.3.1 Rayonnement direct :	15
I.4.3.2 Rayonnement diffus :	15
I.4.3.3 Rayonnement réfléchi :	15
I.4.3.4 Rayonnement global :.....	15
I.5 Les panneaux photovoltaïques :.....	15
I.5 Le système de pompage solaire pour l'agriculture :	16
I.7 Le stockage d'Energie photovoltaïque	20
I.8 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :	21
I.8.1 Avantage :.....	21
I.8.2 Inconvénients :.....	21
I.9 Conclusion	22

Chapitre II

Optimisation d'un Système Photovoltaïque Utilisé Pour l'Irrigation Dans Une Zone Saharienne.

II.1 Introduction	24
II.2 Principe De La Commande MPPT	24
II.3 Classification Des Commandes MPPT	25
II.3.1 Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée.....	25
II.3.2 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche	26
II.4 Les Algorithmes MPPT	27
II.4.1 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage).....	27
II.4.2 Approche Du Courant Constant (Constant Current) :.....	28
II.5 Les Principes de Conversion dans les Systèmes PV	29
II.5.1 Étage d'Adaptation entre un Générateur PV et une Charge.....	30
II.5.2 Convertisseur DC/DC	30
II.5.3 Étage d'Adaptation de Type BOOST.....	32
II.6 Recherche du point de puissance maximale du générateur photovoltaïque	32
II.6.1 Synthèse des différentes techniques de maximisation de la puissance	32
II.6.2 Les méthodes indirectes	33
II.6.3 Les méthodes directes	35
II.7.1 Optimisation du système de pompage photovoltaïque entraine par un MCC a excitation separee	422
II.8. Conclusion	45

Chapitre III:

Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

III.1 Introduction.....	47
III.2 Simulation du système photovoltaïque sont la commande MPPT :.....	47
III.3 Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT :.....	49
III.3.1 Teste sur un convertisseur DC/DC.....	51
Conclusion générale	54
Bibliographie.....	56

List de Figure

Chapitre I

Figure I.1 :	composant d'un champ de module PV	6
Figure I.2 :	Principe de l'effet photovoltaïque.	7
Figure I.3 :	Caractéristique courant – tension d'une cellule photovoltaïque.	8
Figure I.4 :	Caractéristique (I ,V) des différents groupement des panneaux.	10
Figure I.5 :	connexion des cellules solaires en série et parallèle.	10
Figure I.6 :	Effet de l'éclairement sur la caractéristique (I ,V)	11
Figure I.7 :	Effet d'éclairement sur la caractéristique (I ,P)	12
Figure I.8 :	Effet de la température sur la caractéristique (I,V)	13
Figure I.9 :	Effet de la température sur la caractéristique (P,V)	13
Figure I.10 :	L'énergie solaire photovoltaïque	14
Figure 1.11 :	différents types de modules PV	16
Figure I.12 :	Générateur solaire	17
Figure I.13 :	Pompe immergée	17
Figure I.14 :	Onduleur	17
Figure I.15:	Tuyaux	17
Figure I.16 :	Schéma simplifié le pompage photovoltaïque	18
Figure I.17 :	Système de pompage avec batterie	19
Figure I.18 :	Système de pompage au fil du soleil	20

Chapitre II

Figure II.1	Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau	24
Figure II.2	Principe de la commande MPPT	25
Figure II.3	Algorithme de la Tension Constante	28
Figure II.4	Algorithme du constant courant	29
Figure.II.5	Etage d'adaptation entre un GPV et une charge	30
Figure.II.6	convertisseurs DC-DC	31
Figure.II.7	Exemple de convertisseur statique DC-DC pouvant être utilisé comme adaptateur entre un générateur PV et une charge	32
Figure. II-8:	Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.	33
Figure. II-9:	Caractéristique Ppv (Vpv) d'un panneau photovoltaïque	36
Figure. II-10:	Algorithme type de la méthode P&O	37

Figure. II-11:	Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation	38
Figure. II-12:	Caractéristique (P,V) d'une cellule photovoltaïque et mise en évidence de dP/dV	39
Figure. II-13:	Algorithme de l'incrément de conductance	40
Figure. II-14 :	Relation entre la puissance (P_{pv}) et le rapport cyclique (D) du convertisseur statique.	41
Figure. II-15:	Algorithme de la commande Hill Climbing.	42
Figure. II.16 :	Schéma du système de pompage photovoltaïque entraîné par un MCC.	43
Chapitre III		
Figure III .1 :	paramétré de panneau aray.	52
Figure III .2 :	courbe de la caractéristique du I-V et P-V du panneau	52
Figure III .3 :	Schéma de simulation d'un panneau PV	53
Figure III .4 :	Les courbes de la simulation sans MPPT	53
Figure III .5 :	la fonction de MPPT	54
Figure III .6 :	Blok de contrôleur (MPPT) .	55
Figure III .7 :	Schéma de simulation d'un panneau PV étudié avec la commande MPPT	55
Figure III .8:	Les courbes de la tension de sortie d'un BOOST	56

List de Tableau

Chapitre II

Tableau II.1	Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC.	31
---------------------	--	-----------

Liste des abréviations et des symboles

PV photovoltaïque

PPM Le point de fonctionnement optimal

I Courant

V Tension

ISC Courant de court-circuit

VOC Tension de circuit ouvert

MPPT Maximum Power Point Tracking

DC: Courant Continu (Direct Current)

AC: Courant Alternatif (Alternating Current)

°C Degré Celsius

% Pourcent

MLI: Modulation de Largeur d'Impulsion

Φ : latitude

P : puissance

α : Rapport cyclique.

D : diode

K : constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/k)

Isc : le courant de court-circuit

V oc : la tension de circuit ouvert

ICC : Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire

VCO : Tension en circuit ouvert d'un module solaire

ICS : courant de cellules en série.

VCS : tension de cellules en série.

IC : courant d'une seule cellule

VC : tension d'une seule cellule

PMAX : Puissance maximale

S : le transistor de convertisseur statique

L : l'inductance de filtre de convertisseur statique

IL : Courant moyen passant à travers l'inductance

RL : Résistance de filtre.

VPPM /VOPT : Tension d'un module PV au point de puissance maximale

IPPM / IOPT : Courant d'un module PV au point de puissance maximale

k1 : est une constante de proportionnalité

Vref : tension de référence

Iref : courant de référence

k2 : constante de proportionnalité

E : L'erreur

ΔE : changement d'erreur.

MAS : Moteur asynchrone

MCC: Moteur à Courant Continu

MLI: Modulation de Largeur d'Impulsion

MSAP: Moteur Synchrone à Aimants Permanents

[A] : Matrice de Park

Notations

Wc : watt-crête

PV : Photovoltaïque.

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

GPV Générateur Photovoltaïque.

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu.

CS : Convertisseur statique

PPM : Point de Puissance Maximale.

CV : Constant Voltage

P&O : Perturbe And Observe (Perturbation et Observation).

IGBT : insulated-gate bipolaire transistor

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est la complication essentielle pour l'homme dans le monde actuel, ses sources, est la question que le futur va poser à l'homme. Cependant l'histoire réserve parfois des surprises. Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbures d'origine fossile (pétrole, gaz et charbon), la demande énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité; leur exploitation arrange beaucoup l'environnement.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques (PV) ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules PV et de leurs associations, le rendement des systèmes PV peut être amélioré par des solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (dites techniques MPPT).

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés dans ce travail essentiellement au développement d'une procédure d'optimisation qui permet la poursuite de point de la puissance maximale (Maximum Power Point Tracking MPPT) d'un générateur photovoltaïque (GPV), pour une bonne exploitation, quelques soient les conditions météorologiques (température et éclairage). Ceci nécessite l'implémentation d'une technique de poursuite de point maximale de puissance, telle que la méthode de Perturbation-Observation (P&O), Cette dernière a reçu une attention particulière de la part d'un certain nombre de chercheurs dans le domaine de l'électronique de puissance.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres comme suit :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous présentons des notions générales sur le soleil, l'énergie solaire, l'énergie photovoltaïque bien sûr et quel que information sur le potentiel algérien et le future d'énergie photovoltaïque dans Algérie ;
- ✓ Le deuxième chapitre, présentera le principe de la recherche de point maximal, les classifications de la commande MPPT et des études théoriques de quelques-unes de ces méthodes;
- ✓ Le troisième chapitre, quant à lui sera détaillera la simulation du système photovoltaïque tout en donnant les principaux résultats Et à la fin de cet chapitre nous avons fait une étude comparative de quel que type MPPT.

- ✓ Une conclusion générale dressera le bilan de cette étude en donnant quelques perspectives pour de futurs travaux.

Chapitre I:

Généralité sur les systèmes photovoltaïque

I.1.Introduction :

Dans les dernières années, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables pour produire de l'énergie électrique est visible partout dans le monde. L'énergie renouvelable est un ensemble de sources d'énergie qui sont inépuisables à l'échelle humaine, largement disponibles, essentiellement gratuites et sont compatibles avec un certain respect environnemental. Elles peuvent être converties, selon les besoins, en électricité [1]. L'énergie renouvelable (appelée aussi l'énergie verte) est une énergie renouvelée ou régénérée naturellement à l'échelle d'une vie humaine.

L'énergie photovoltaïque est basée sur l'effet photoélectrique. Celui-ci permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique qui est la conversion de la lumière en électricité grâce à des cellules solaires, représente un alternatif intéressant et bien adaptée à des besoins limités. Le développement dans le domaine de semi-conducteurs et l'électronique de puissance mènent à une activité de recherche importante afin d'améliorer et maximiser l'efficacité des modules photovoltaïques.

On peut la considérer comme une énergie propre puisque sa production énergétique à partir des modules PV n'engendre pas de déchets impliquant la pollution à la terre. Cette ressource a toutefois deux inconvénients, la production est invariablement liée aux conditions climatiques et une surface considérable est nécessaire pour produire de grande quantité d'énergie puisque le rendement des panneaux PV est relativement faible.

I.2 Définition et Historique du photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque », souvent abrégé par les lettres PV, a été formé à partir des mots « photo », un mot grec signifiant lumière, et « Volta », le nom du physicien italien Alessandro Volta, qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque, c'est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité. Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité. Cette conversion, appelée effet photovoltaïque [2].

Quelques dates de l'histoire du photovoltaïque :

1839 : Le physicien français Antoine Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

1887 : L'effet photoélectrique a été compris et présenté en 1887 par Heinrich Rudolf Hertz qui en publia les résultats dans la revue scientifique Annale der Physique.

1905 : Einstein expliqua le phénomène photoélectrique en 1905 et obtint le prix Nobel de physique sur ses travaux en 1921.

1954 : Trois chercheurs américains, Chopin, Pearson et Prince des laboratoires BELL mirent au point la première cellule photovoltaïque au silicium avec un rendement de 4%, au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958 : Une cellule photovoltaïque avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites Vanguard alimentés par des cellules photovoltaïques sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Wilmington dans l'Etat du Delaware, USA.

1983 : La première voiture alimentée par de l'énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

1995 : Des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

2000 : Entrée en application le 1er avril 2000 et modifiée en 2004 et en 2009, l'EEG Renewable Energy Sources Act (EEG) est le résultat de la transposition de la directive européenne relative à la promotion des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité.

2005 : En décembre 2005 mise en réseau de la première centrale solaire photovoltaïque du Group Prime Energy à Weil am Rhein (Baden-Württemberg), Hagen Heimer strasse 17, 79576 Weil Am Rein [3].

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux Etats-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé [4].

I.3 Le système photovoltaïque

Les modules PV sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV. L'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu. Elle peut aussi être utilisée en reliant directement les modules à la charge sans les batteries (ex. : pour une pompe solaire, l'eau sert de stockage), ou en les branchant sur un réseau électrique. Il est également possible de combiner la sortie du champ PV avec d'autres sources d'énergie telles une génératrice ou une éolienne qui serviront d'appoint, si l'ensoleillement n'est pas suffisant.

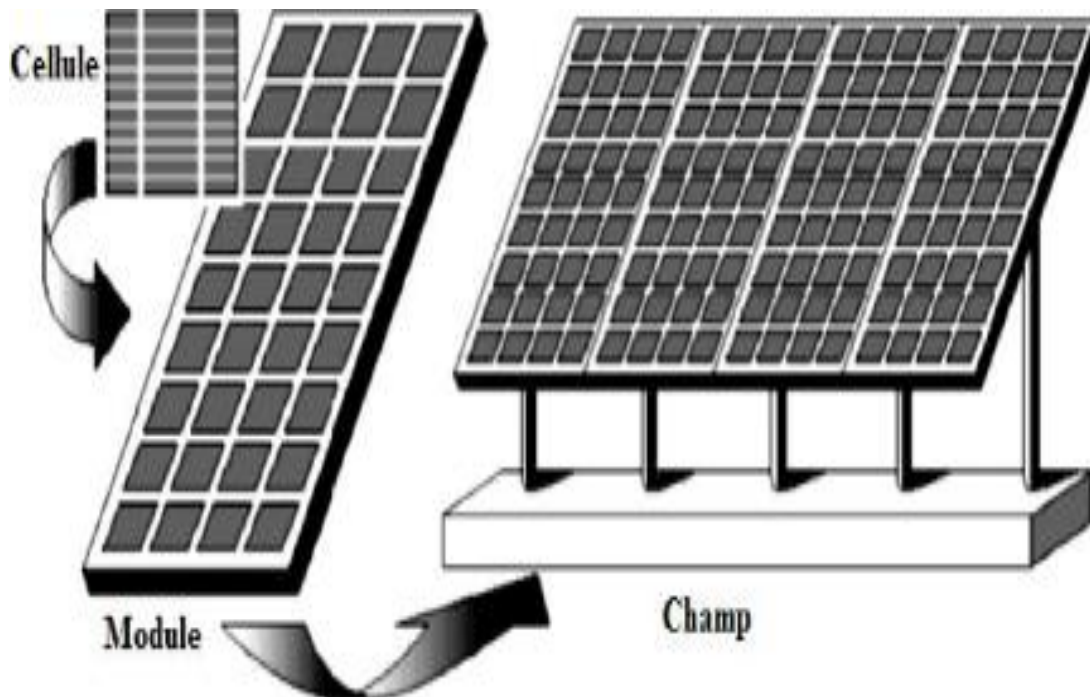


Figure I.1: composant d'un champ de module PV

Bien qu'il existe une grande variété de systèmes photovoltaïques, on peut cependant rappeler les trois systèmes autonomes non reliés à un réseau électrique [5]:

- **Système autonome sans batterie :**

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 la charge n'est pas critique (ex. : pompe à eau : le réservoir d'eau sert de stockage).

- **Système autonome avec 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.

- **Système hybride PV/génératrice :**

Ce système utilise les avantages de l'énergie photovoltaïque et de la génératrice au diesel, au propane ou à l'essence. Le système photovoltaïque fournit une énergie intermittente mais souvent moins coûteuse en régions éloignées. La génératrice sert d'énergie d'appoint, selon la demande. Ce type de système s'applique particulièrement bien à des sites éloignés où il est important d'avoir de l'électricité à tout moment [5].

I.3.1. L'effet photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque » (Antoine Becquerel 1836). Cet effet peut être expliqué par le fait qu'un photon reçu du rayonnement solaire, heurte une cellule PV, son énergie peut être transférée à un électron dans le matériau semi-conducteur de la cellule. Avec cette énergie supplémentaire, l'électron peut alors s'échapper de sa position normale dans l'atome (de la bande de valence à la bande de conduction traversant la bande interdite), créant ainsi un trou qui deviendra une partie d'un courant dans un circuit électrique. C'est ce qu'on appelle la paire électron-trou [6], comme la montre la figure ci-dessous.

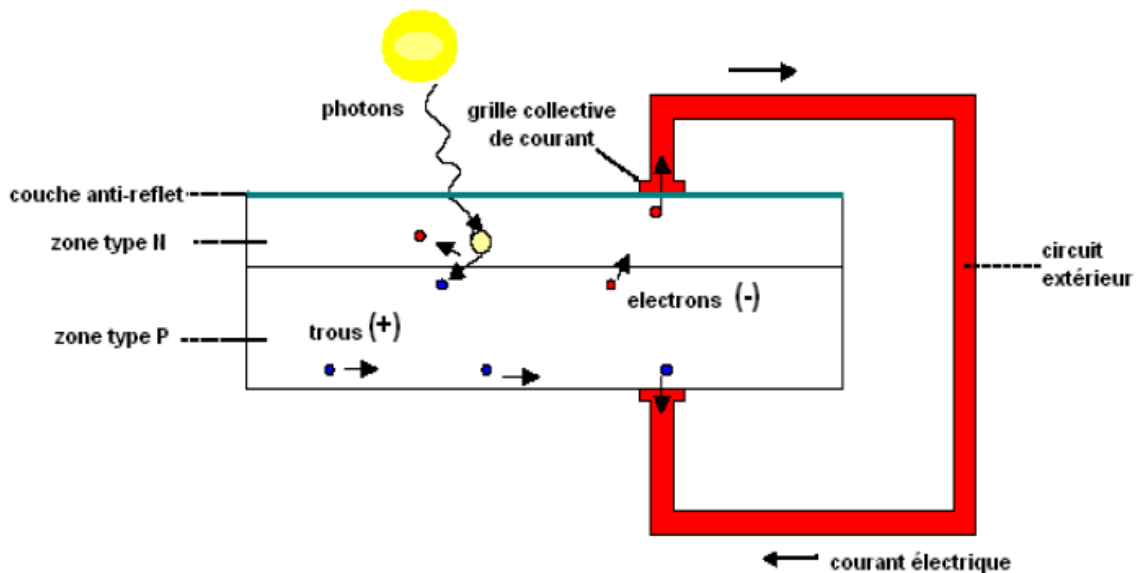


Figure I.2: Principe de l'effet photovoltaïque.

La structure la plus simple d'une cellule PV, comporte une jonction entre deux matériaux semi-conducteurs dopés de sorte que l'une conduit les charges négatives et l'autre, les charges positives. Le but de la structure photovoltaïque, c'est de créer un champ électrique interne permanent, il se crée donc une différence de potentiel entre les deux couches de la cellule. En conséquence, un courant électrique peut être établi en connectant les bornes de la jonction à un circuit extérieur [6].

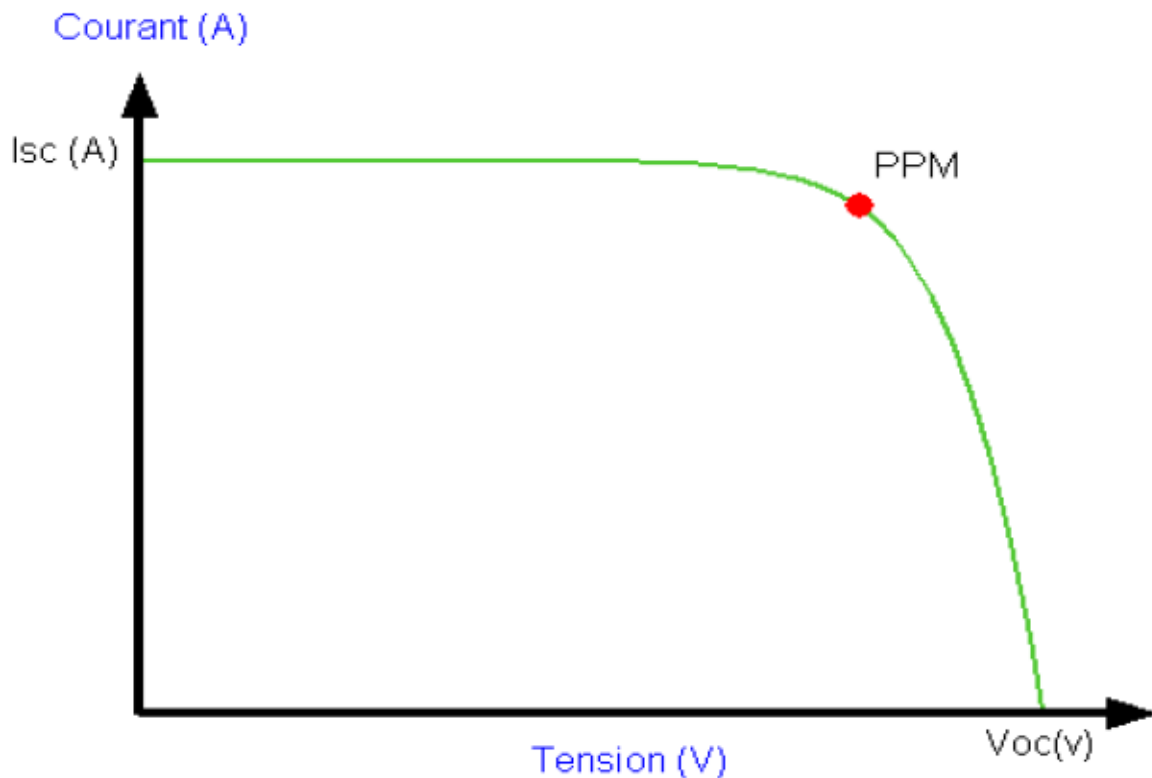


Figure I.3 : Caractéristique courant – tension d’une cellule photovoltaïque.

Comme nous le voyons sur la figure I.3, la cellule solaire PV est caractérisée par la courbe $I(V)$ non linéaire qui dépend particulièrement des conditions d’ensoleillement et de température.

Il y a trois points importants sur cette courbe :

- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).
- Le point du courant maximal (I). Il se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées.

Il est appelé courant de court-circuit (I), et dépend fortement du niveau d’éclairement.

- Le point de la tension maximale de la cellule (V) (environ 0.6 V) pour un courant nul.

Cette tension est nommée tension de circuit ouvert (V) [7].

I.3.2 Caractéristiques électriques des modules

La puissance maximale est fonction de l’éclairement. Lorsqu’il s’agit de la puissance maximale dans les conditions normalisée d’ensoleillement STC (Standard test condition) [8] :

- 1000W/m²
- Température de cellule de 25 °C
- air masse 1,5

On parle alors de Watts- crête (Wc) ou de puissance-crête.

I.3.3 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible, il existe trois principaux types de cellules [9]:

- **Les cellules monocristallines :** Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe.
- **Les cellules polycristallines :** Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire).
- **Les cellules amorphes :** Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que les calculatrices solaires et les montres.

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

I.3.4 Association en parallèle, série et mixte

- En vu d'augmenter le courant du générateur, on associe "Np" modules en parallèle
 - pour obtenir une augmentation de la tension du générateur, on associe "Ns" modules en série.
- (Voir figure I.4)

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 [10],

Figure (I.5).

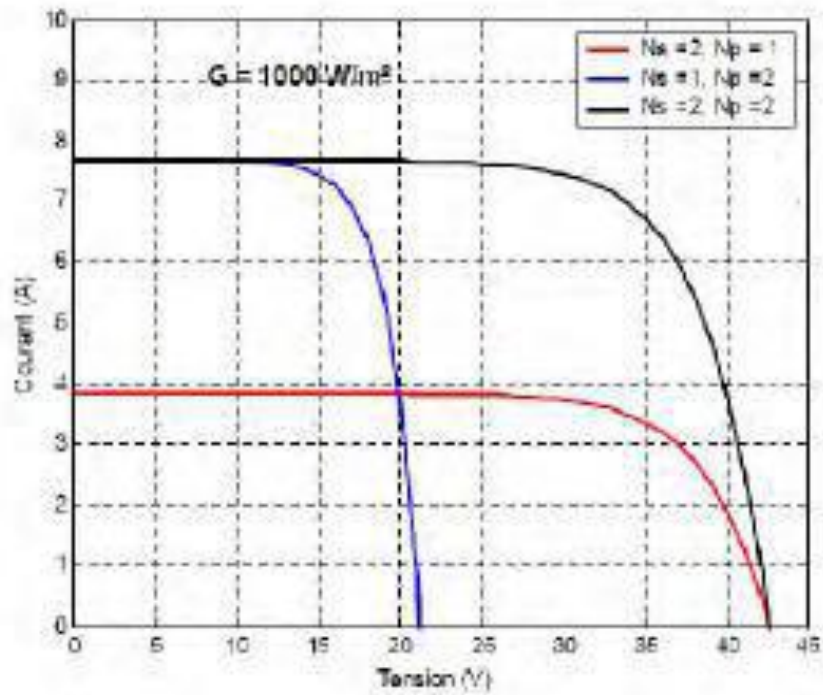


Figure I.4 : Caractéristique (I, V) des différents groupements des panneaux.

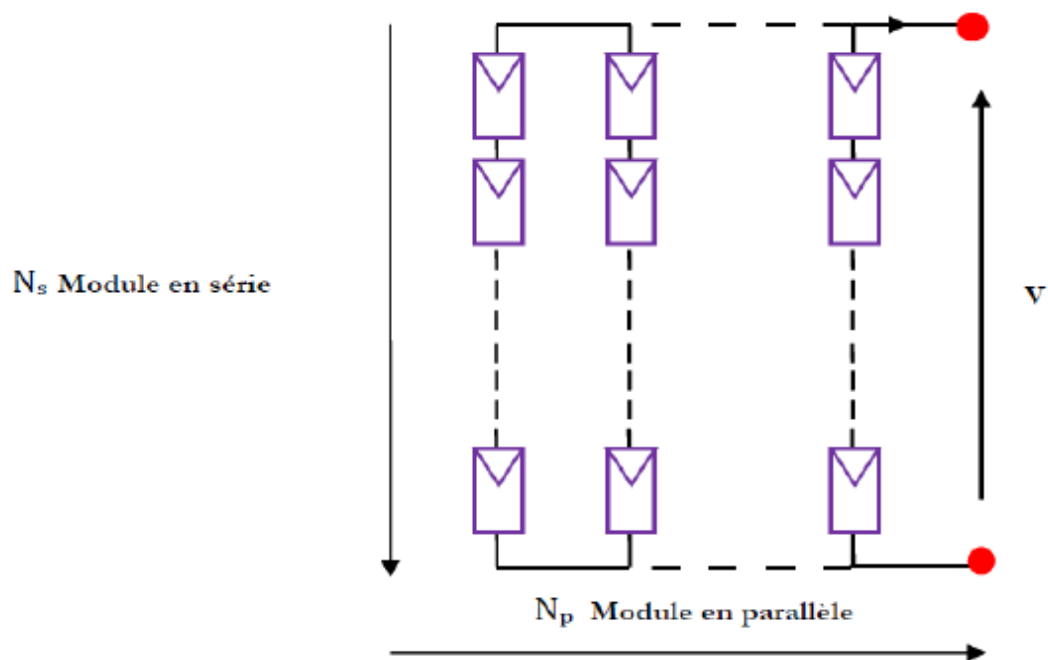


Figure I.5 : Schéma de connexion des cellules solaires en série et parallèle.

I.3.5 Effet de l'éclairement

L'augmentation de l'éclairement provoque une augmentation du courant où le générateur fonctionne comme un générateur de courants, mais il y a une légère augmentation pour la tension en circuit ouvert. Ce faisceau de courbes se trace à température constante, et illustre un tracé correspondant à une température $T_c = 25\text{ °C}$ (figure I.6 et figure I.7), les modules utilisés dans notre station sont de type poly cristallin (BP SX 150) [11], dont les caractéristiques sont données dans l'annexe A.

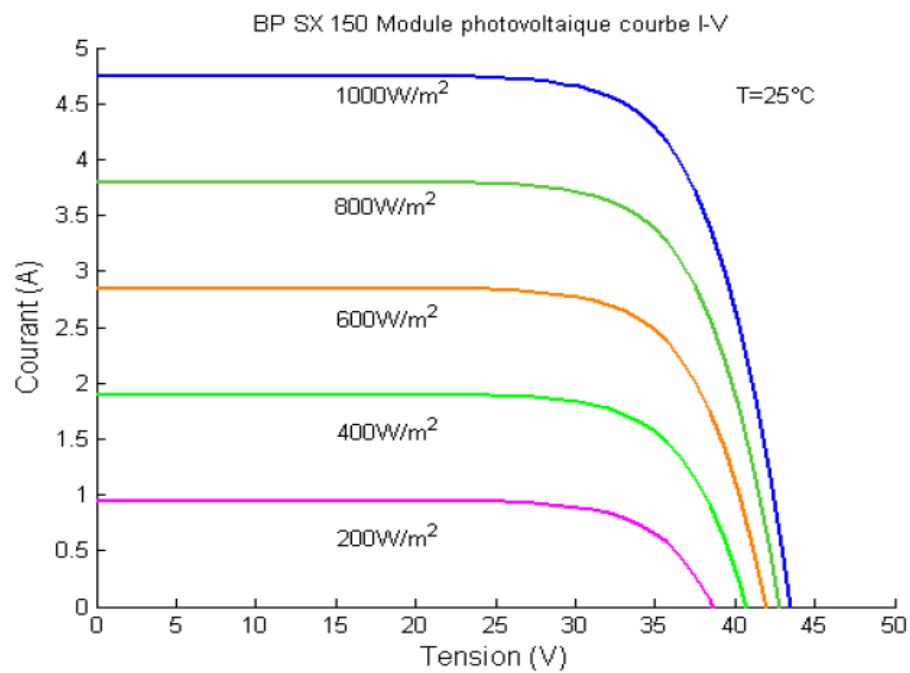


Figure I.6: Effet de l'éclairement sur la caractéristique (I, V) [11].

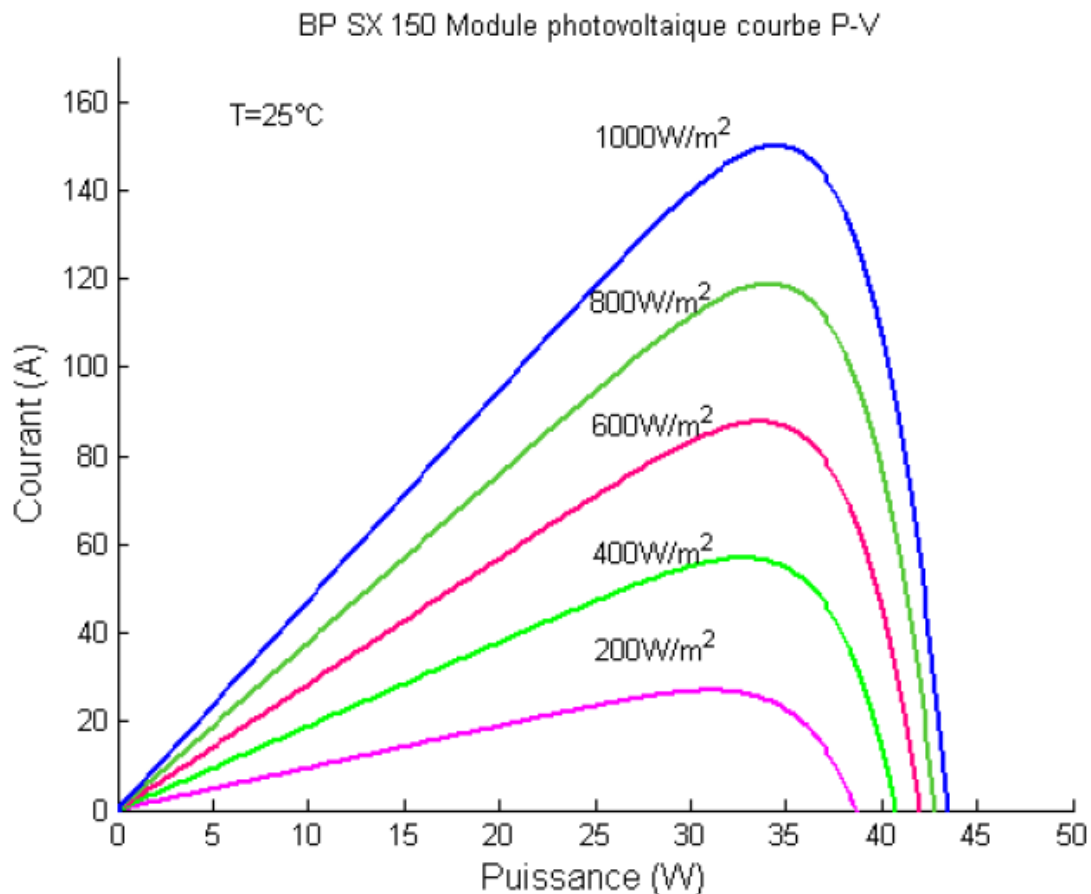


Figure I.7 : Effet d'éclairement sur la caractéristique (I, P) [11].

I.3.6 Influence de la température

La température est un paramètre important dans le comportement des cellules. La figure (I.8) montre que l'augmentation de la température entraîne une diminution nette de la tension de circuit ouvert et une augmentation du courant de court-circuit, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale.

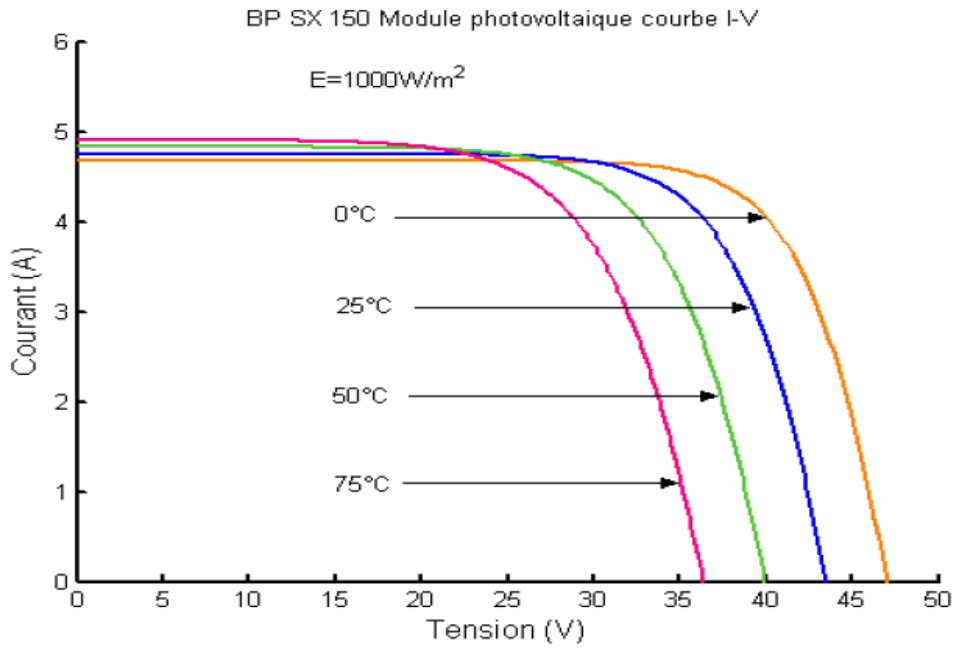


Figure I.8: Effet de la température sur la caractéristique (I, V) [11].

On peut remarquer sur la figure I.9 que l'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible.

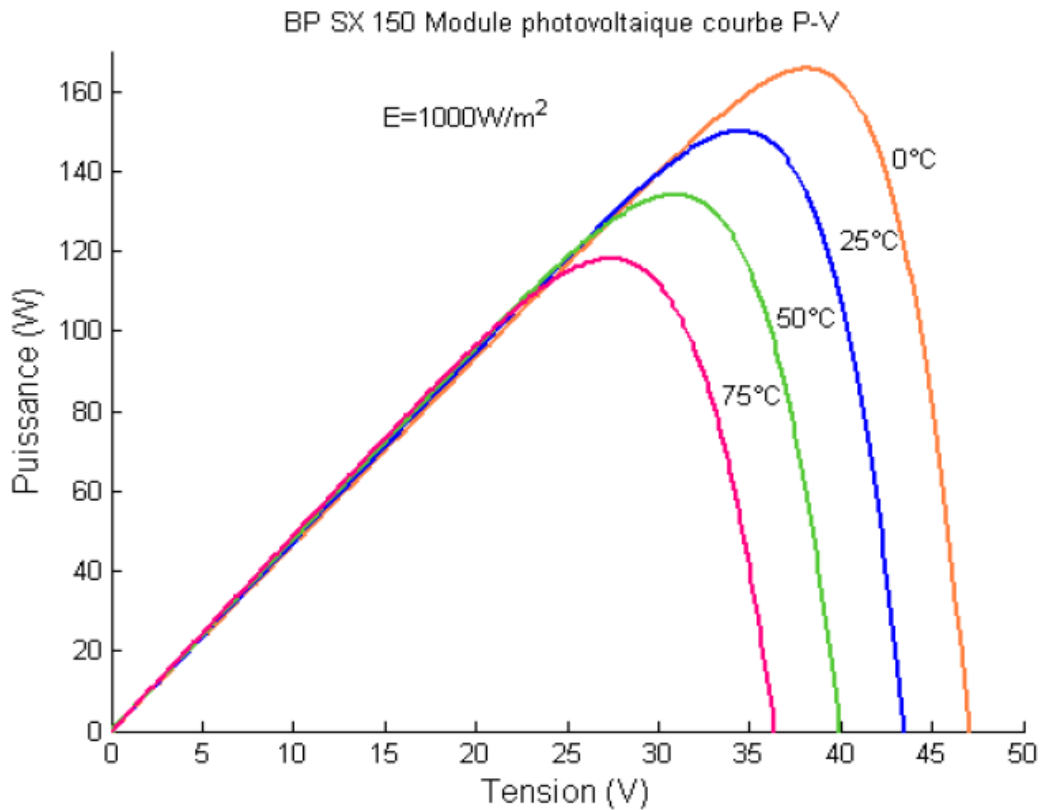


Figure I.9: Effet de la température sur la caractéristique (P, V) [11].

I.4. Energie photovoltaïque :

I.4.1. Définition :

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable qui produit de l'électricité par la transformation du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Ces derniers sont regroupés et sont appelés champ photovoltaïque

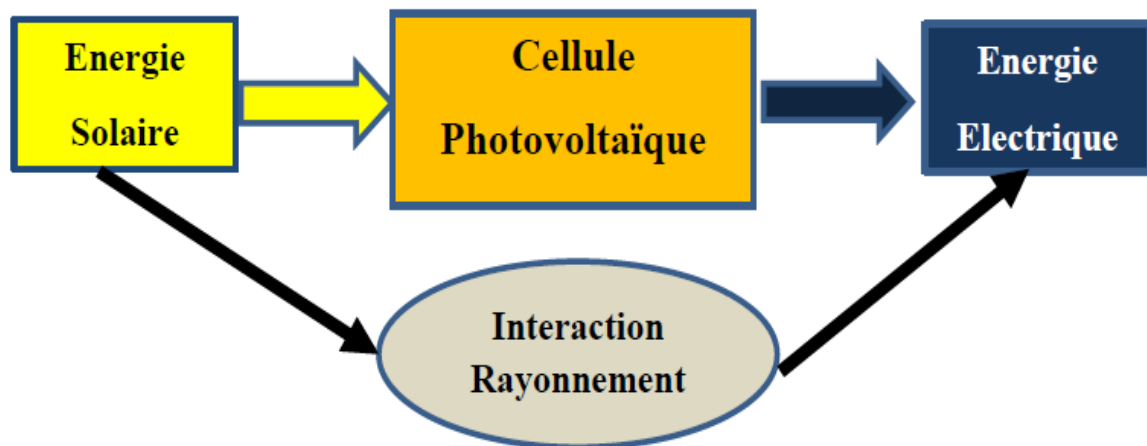


Figure I.10 : L'énergie solaire photovoltaïque

I.4.2 Rayonnement solaire :

Malgré la distance considérable qui sépare le soleil de la terre 150.10 Km, la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180.10 GW, c'est pour ça que l'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autre sources d'énergie. Cette quantité d'énergie quittera sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique compris dans une longueur variant de 0.22 à 10 μm , l'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($< 0.4 \mu\text{m}$)
- 47% dans la bande visible (0,4 à 0.8 μm)
- 44% dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$). [12]

I.4.3 Différents types de rayonnement

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffuse au sol, on distingue plusieurs composantes :

I.4.3.1 Rayonnement direct :

Flux solaire sous forme des rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère.

I.4.3.2 Rayonnement diffus :

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère.

I.3.3.3 Rayonnement réfléchi :

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé albédo (ϵ) $0 \leq \epsilon \leq 1$.

I.4.3.4 Rayonnement global :

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct diffus et réfléchi. [13]

I.5 Les panneaux photovoltaïques :

Les panneaux photovoltaïques convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique (courant continu DC). On parle aussi de modules photovoltaïques.

Ils sont composés de cellules photovoltaïques encapsulées dans un support souple ou rigide. On les distingue généralement par la technologie de cellules dont ils sont composés :

- Panneaux au silicium cristallin (monocristallins ou polycristallins)
- Panneaux au silicium amorphe
- Panneaux multi-jonctions

Les panneaux sont en général reliés en série entre eux de façon à augmenter la tension du système, puis ces séries de panneaux sont reliée entre elles en parallèles de façon à augmenter le courant. Ces groupes de chaînes sont ensuite connectés à un chargeur DC/DC et à des batteries, ou à un onduleur pour convertir directement l'énergie continue en courant alternatif pour l'usage courant.



Figure 1.11: différents types de modules PV

I.5 Le système de pompage solaire pour l'agriculture :

L'utilisation le système solaire pour le pompage d'eau de puits/forage vers le bassin/réservoir pour l'irrigation des plantes représente la solution économique le plus efficace pour les agricultures à cause des caractéristiques d'ensoleillement d'Adrar 3000 heures/an et la durée de vie de ce système.

Ce système de pompage au fil du soleil compose :

- D'un générateur photovoltaïque.
- Un moto- pompe (moteur électrique et pompe immergée/de surface)
- Un convertisseur (hacheur/onduleur)
- Les tuyaux
- Un contrôleur



Figure I.12 : Générateur solaire [14].



Figure I.13 : Pompe immergée [14].



Figure I.14 : Onduleur [14].



Figure I.15 : Tuyaux [14].

Les fils conducteurs pour la connexion entre le générateur solaire, l'onduleur et la pompe.
La figure 1.16 représente un schéma simplifié le pompage photovoltaïque

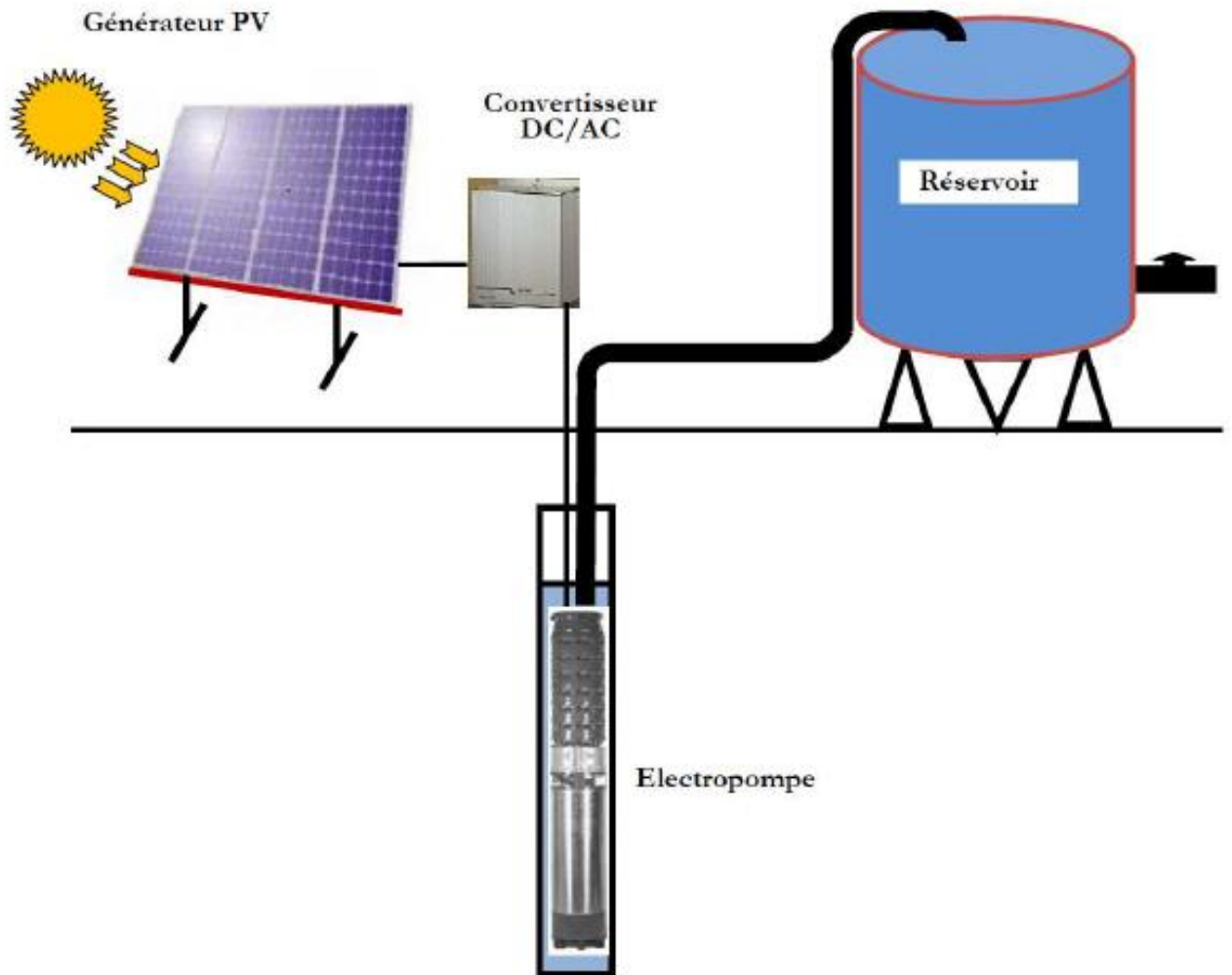


Figure I.16 : Schéma simplifié le pompage photovoltaïque [15].

Il y a deux types de système de pompage photovoltaïque sont le système de pompage avec batterie et au fil du soleil (sans batterie).

•**Système de pompage avec batterie :**

Le système de pompage avec batterie permet de stocker l'électricité dans les batteries (Figure 2.1). Il permet d'utiliser de l'électricité aussi en absence du soleil. Ce système est de leurs batteries sont coûteuses, peu durables, nécessitent beaucoup d'entretien et peuvent engendrer une baisse de rendement de l'ordre de 20 à 30%, ce qui limite fortement l'intérêt de cette solution.

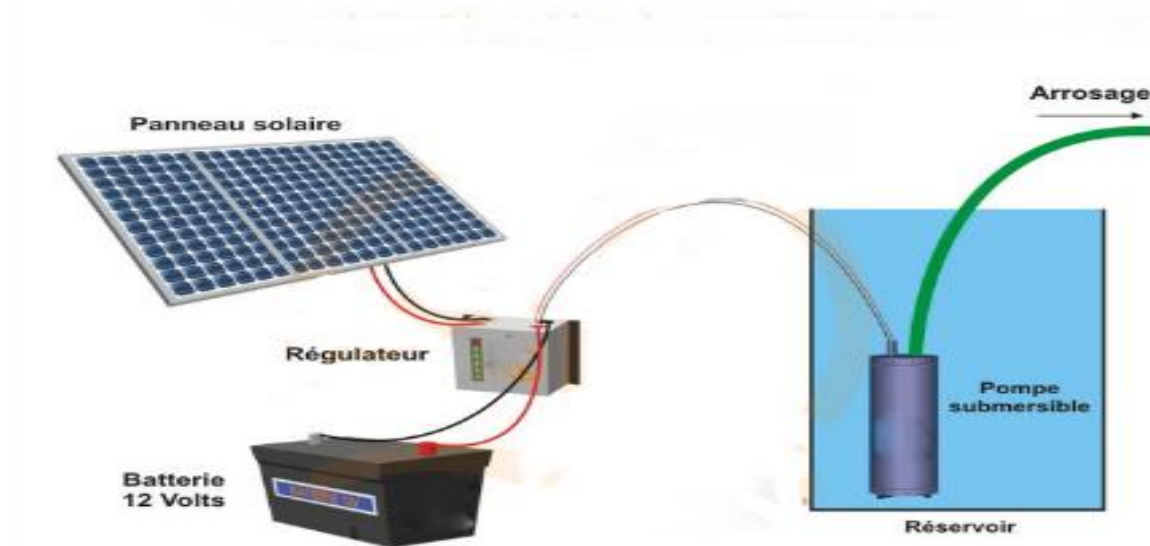


Figure I.17 : Système de pompage avec batterie [15]

•**Système de pompage au fil du soleil :**

Le système de pompage au fil du soleil permet de transporter l'eau de puits ou forage vers le réservoir ou un bassin pour le stocker puis l'utiliser selon le besoin.

Le pompage s'arrête :

- lorsque l'éclairage solaire est trop faible.
- lorsque la citerne est pleine (flotteur/interrupteur de niveau).

Le pompage ne s'arrête pas s'il y a une trop pleine hydraulique [16].

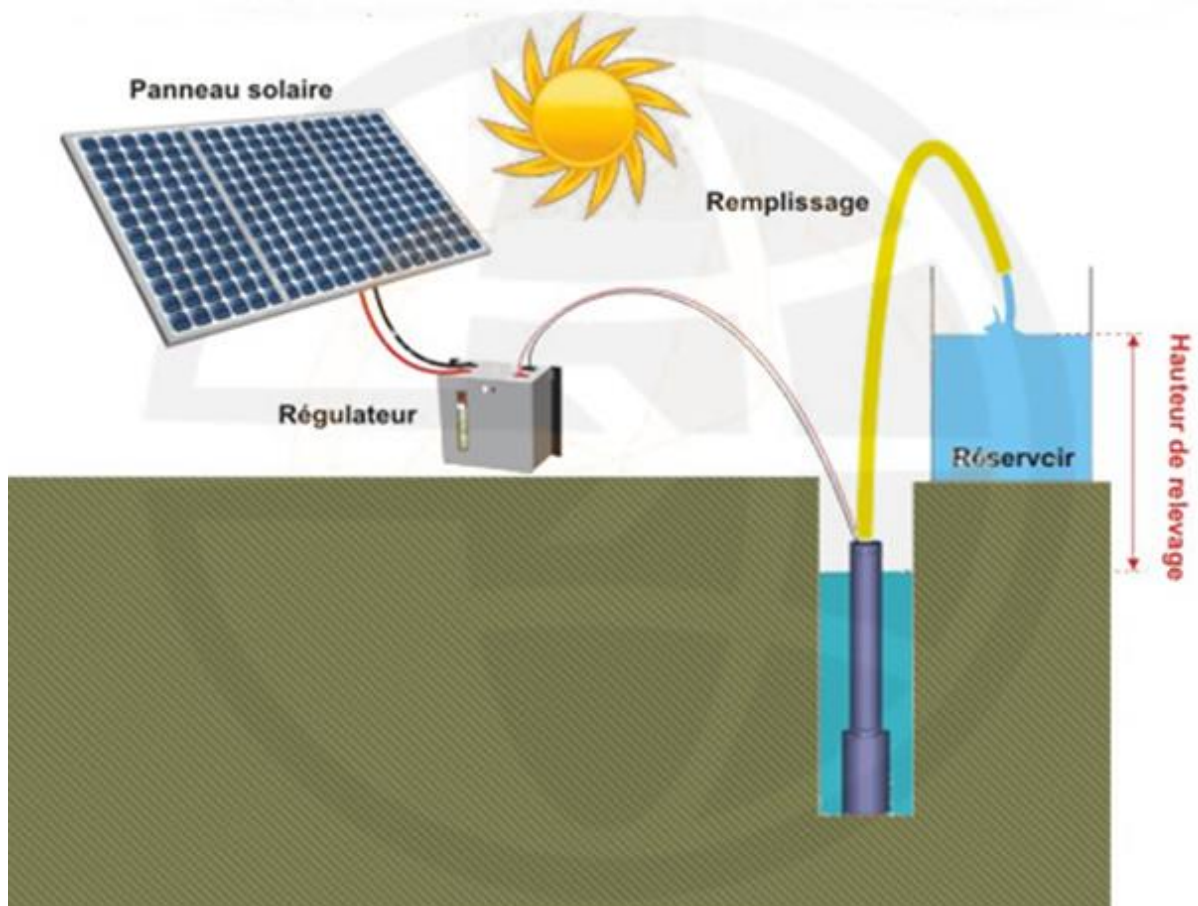


Figure I.18 : Système de pompage au fil du soleil [15].

Cette solution est fiable et moins coûteuse que la précédente, mais ces pompes n'ont pas un débit constant et ne fonctionnent pas en dessous d'un certain niveau d'éclairage (fin et début de journée notamment). Leur rendement étant plus faible en dehors de la puissance nominale de fonctionnement, il est nécessaire d'installer un adaptateur de charge.

I.7 Le stockage d'Énergie photovoltaïque

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons: stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds, coûteux et fragiles. Aussi, le système de stockage avec batterie génère un coût additionnel, des problèmes de maintenance de la batterie et de l'obligation de la remplacer après 3 à 5 ans d'usage. De plus, le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs.

Le réservoir peut souvent être construit localement et la capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours. Ce réservoir ne requiert pas un entretien complexe et est facile à réparer localement [17].

I.8 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque :

Les avantages de l'énergie photovoltaïque les plus importants sont: [18]

I.8.1 Avantage :

- Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- 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 des revenus.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit.

I.8.2 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.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

I.9 Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter les principales caractéristiques et les technologies des éléments constitutifs d'un système photovoltaïque, On a étudié Les différents types de cellules PV et présenté leurs caractéristiques, Nous avons aussi présenté les différents systèmes de stockage. Ensuite on a terminé par les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire. . Dans le chapitre prochain, on présentera une étude sur l'optimisation classique d système de pompage photovoltaïque

Chapitre II :

Optimisation d'un Système Photovoltaïque Utilisé Pour l'Irrigation Dans Une Zone Saharienne.

II.1 Introduction

Diverses publications sur les commandes assurant un fonctionnement de type commande MPPT (point de puissance maximale) apparaissent régulièrement dans la littérature depuis 1968, date de publication de la première loi de commande de ce genre, adaptée à une source d'énergie renouvelable de type photovoltaïque [21]

Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache à quel moment ils ont été modifiés ni qu'elles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien « Maximum Power Point Tracking » en anglo-saxon (MPPT). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.

II.2 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. Ainsi, quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation), la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (VPPM et IPPM). La chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée à travers un convertisseur statique (CS) commandé par une MPPT [25]. Il peut être représenté par le schéma de la Figure III.1

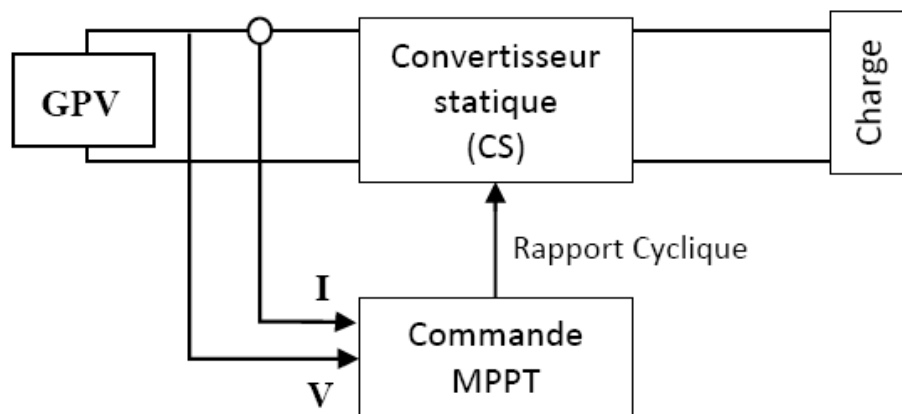


Figure II.1 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un convertisseur BOOST, une commande MPPT et une charge.

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. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du CS 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 [21].

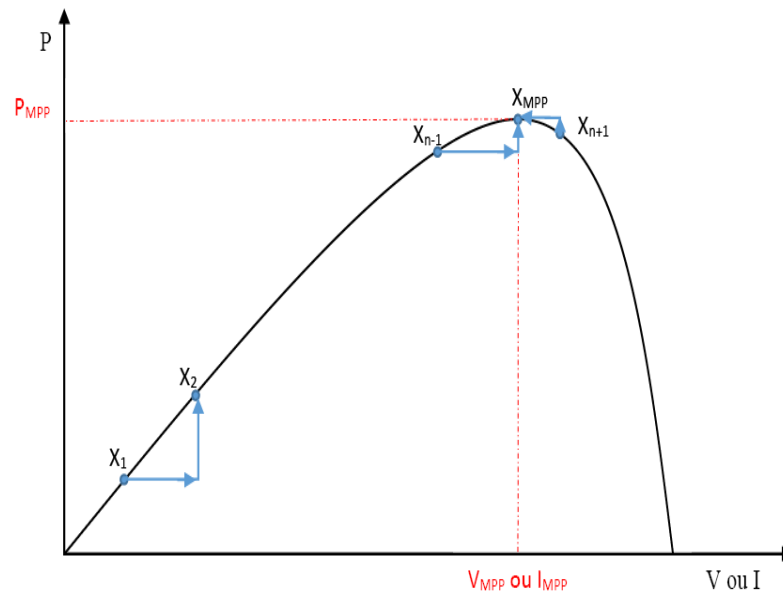


Figure II.2 Principe de la commande MPPT

II.3 Classification Des Commandes MPPT

Nous pouvons classer d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique : analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classer selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande MPPT [26].

II.3.1 Classification Des Commandes MPPT Selon Les Paramètres D'entrée.

A) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS

Il y a un certain nombre de commandes MPPT qui effectue une recherche du PPM selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Comme la méthode de Perturb&Observe, les algorithmes d'incrément de conductance qui utilisent la valeur de la puissance fournie par le GPV pour l'application d'une action de contrôle adéquate pour le suivi du PPM ou bien Les commandes qui sont basé sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux caractérisant le point de puissance maximal ($VOPT$ et $IOPT$) et les paramètres caractéristiques du module PV (VOC et ICC). Notamment, les MPPT inspirées des réseaux de neurones. Dans ces commandes, soit on

fait appel à des systèmes à mémoires informatiques importantes ayant stocké tous les cas possibles, soit les commandes sont encore une fois de plus approximatives. Toutes ces commandes ont comme avantages leurs précisions et leur rapidité de réaction [26].

B) Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe également des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des CS. Par exemple Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui sont principalement utilisées quand la charge est une batterie.

Dans tous les systèmes utilisant les paramètres de sortie, une approximation de P_{max} est faite à travers le rendement du convertisseur. En somme, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable. Par contre, en général, tous les systèmes avec un seul capteur sont par essence, non précis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial [26].

II.3.2 Classification Des Commandes MPPT Selon Le Type De Recherche

a. MPPT Indirect

Ce type de commandes MPPT utilise le lien existant entre les variables mesurées (I_{sc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il compte aussi les commandes se basant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable. Il existe aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules donnée par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à réaliser. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis devant fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques [19-26].

b. MPPT Direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles du fonctionnement du GPV. Généralement, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interruption du fonctionnement. Pour cela, la tension du point de fonctionnement est incrémentée dans des intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres

algorithmes contre des erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent survenir, par exemple, à cause d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une hausse de puissance qui est due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV, indispensable pour la recherche du MPP, nécessite la mesure de la tension et du courant du générateur, ainsi que la multiplication de ces deux variables. D'autres algorithmes se basent sur l'introduction de variations sinusoïdales en petit signal sur la fréquence de découpage du convertisseur pour comparer la composante alternative et la composante continue de la tension du GPV et pour ainsi placer le point de fonctionnement du GPV le plus près possible du MPP. L'avantage de ce type de commandes est leurs précisions et leur rapidité de réaction [19-26]

II.4 Les Algorithmes MPPT

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer. Ceci a constitué la base théorique pour nos travaux concernant les simulations dans le chapitre suivant.

II.4.1 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage)

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert VOC et la relation linéaire approximative (II-1) liant cette tension avec la tension de point maximal VMPP du GPV [27-28] :

$$V_{MPP} = K_1 * V_{OC}$$

Où k_1 est une constante de proportionnalité. Il est généralement compris entre 0.71 et 0.86. Une fois que k_1 est déterminé, le VMPP peut être calculé à l'aide de l'expression précédant (II-1) avec VOC mesurée périodiquement en ouvrant momentanément le convertisseur de puissance (circuit ouvert). La tension VMPP est alors prise comme tension de référence.

Le principe de cette méthode est basé sur la comparaison entre la tension du panneau photovoltaïque réelle VPV et la tension de référence Vref (VMPP). Le signal d'erreur est traité pour rendre $V = V_{ref}$. (Figure II.3)

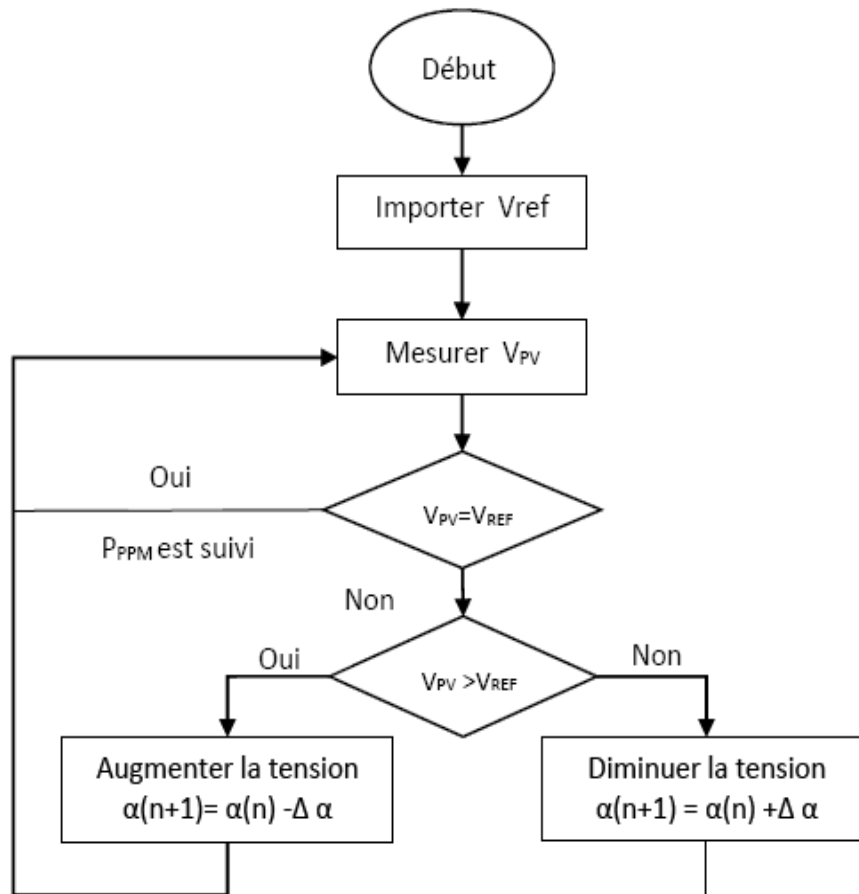


Figure II.3 Algorithme de la Tension Constante

Cette méthode présente deux avantages : la rapidité de la réponse aux fluctuations et l'absence de variations (même infimes) en état stationnaire [27]. Cependant, ces points forts ne peuvent cacher leurs défauts, à cause de la dépendance de la tension du panneau avec l'ensoleillement et la température, la tension de puissance maximale est déviée, alors la tension de référence doit être corrigée pour différents ensoleillements et températures au long des périodes de l'année Aussi, le MPP n'est pas toujours entre 71% et 78% de la tension Voc. et ne oublier pas la perte de la puissance disponible lors de la déconnection de la charge du GPV [29].

II.4.2 Approche Du Courant Constant (Constant Current) :

La méthode du Courant constant également appelée la méthode de court-circuit est basée sur la mesure en temps réel du courant de court-circuit I_{sc} (short-circuit Current) et la relation linéaire approximative (III-2) liant cette courant avec le courant de point maximal I_{MPP} du GPV [28] :

$$I_{MPP} = k_2 * I_{sc}$$

Avec k_2 constante de proportionnalité. Comme pour la méthode CV, k_2 est déterminée pour le GPV utilisé. La constante k_2 est généralement comprise entre 0.78 et 0.92 [30].

La mesure du courant ISC durant le fonctionnement est problématique. Un commutateur est généralement ajouté au convertisseur de puissance pour court-circuiter le panneau et mesurer le courant ISC à l'aide d'un capteur de courant.

Pour cette valeur constante du courant, la puissance est calculée pour des tensions différentes. Si la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à la valeur de tolérance, alors la valeur de la tension est soit incrémenté ou décrétementé en fonction de la puissance obtenue. Pour que la tension et le courant MPP (IMPP) correspondant, ce procédé est répété jusqu'à ce que la différence se situe dans la plage de tolérance [27]. Figure III.4

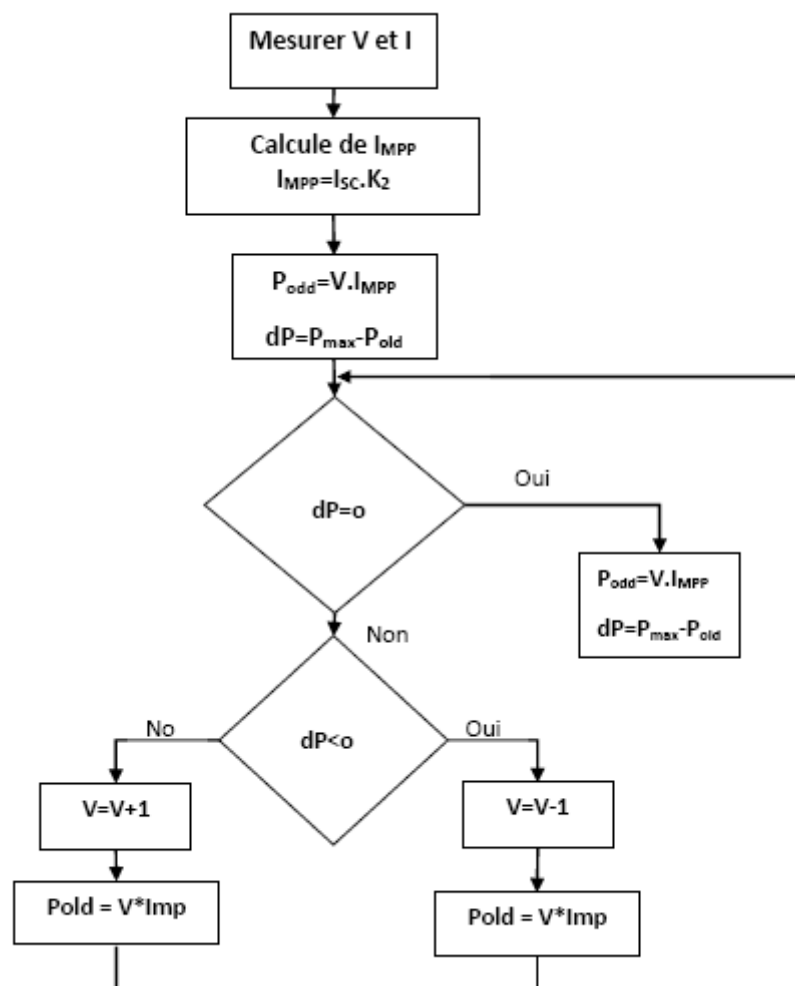


Figure II.4 Algorithme du constant courant

II.5 Les Principes de Conversion dans les Systèmes PV

Le générateur PV est l'élément principal d'un système PV. Cependant, pour une application pratique, d'autres éléments sont nécessaires, par exemple pour le stockage de l'énergie, pour la régulation de la circulation du flux d'énergie ou pour l'alimentation du réseau alternatif. Ces

composants supplémentaires représentent une part considérable du coût, provoquent la réduction du rendement et influencent considérablement le comportement et les performances de tout le système.

II.5.1 Étage d'Adaptation entre un Générateur PV et une Charge

Un GPV présente des caractéristiques $I(V)$ non linéaires avec des points de puissance maximaux (PPM). Ces caractéristiques dépendent au 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 GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est d'utiliser un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme décrit dans la figure II.5 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 P_{MAX} disponible [22].

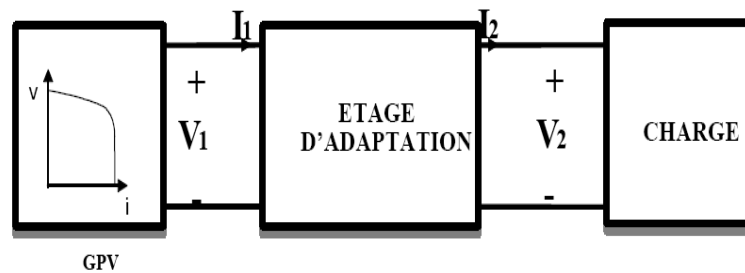


Figure.II.5 Etage d'adaptation entre un GPV et une charge

L'adaptateur communément utilisé en PV est un convertisseur statique (convertisseur de puissance DC/DC).

II.5.2 Convertisseur DC/DC

La figure.II.6 montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge.

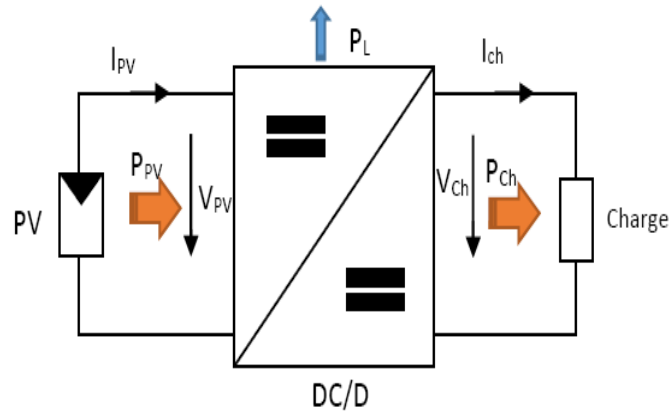


Figure.II.6 convertisseurs DC-DC

L'utilisation des convertisseurs DC-DC permet le contrôle de la puissance électrique dans les circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé. Les circuits des hacheurs se composent de condensateurs, d'inductances et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements. Le commutateur est réalisé avec un dispositif semi-conducteur, habituellement un transistor MOSFET ou un IGBT fonctionnant en mode (bloqué/saturé). Si le dispositif semi-conducteur est bloqué, son courant est zéro d'où une dissipation de puissance nulle. Si le dispositif est dans l'état saturé, la chute de tension à ses bornes sera presque nulle et par conséquent la puissance perdue sera très faible [21].

Il y a différents types de convertisseurs DC-DC. Le tableau suivant donne une idée sur la complexité de chaque type de convertisseur

Type	Fonction	Interrupteur	Diode	Transformateur	Complexité
Buck	Abaisseur	1	1	Non	Faible
Boost	Élévateur	1	1	Non	Faible
Buck-Boost	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Non	Faible
Flyback	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Oui	Moyen
Half Forward	Abaisseur/ Elévateur	1	1	Oui	Moyen
Push Pull	Abaisseur/ Elévateur	2	2	Oui	Forte
Half Bridge	Abaisseur/ Elévateur	2	2	Oui	Forte
Full Bridge	Abaisseur/ Elévateur	4	4	Oui	Très Forte

Tableau II.1 Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC.

Dans notre étude nous présentons le principe d'un convertisseur DC/DC de types Boost, qui est utilisé fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités. Ce type de convertisseur n'est constitué que par des éléments réactifs (Selfs, Capacités) qui, dans le cas idéal, ne consomment aucune énergie. C'est pour cette raison qu'ils sont caractérisés par un grand rendement [23].

II.5.3 Étage d'Adaptation de Type BOOST

Considérons l'exemple de la figure II.7 correspondant à un convertisseur DC-DC élévateur (boost). Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source charge lorsque la charge a besoin d'une tension supérieure à celle du générateur PV [21]:

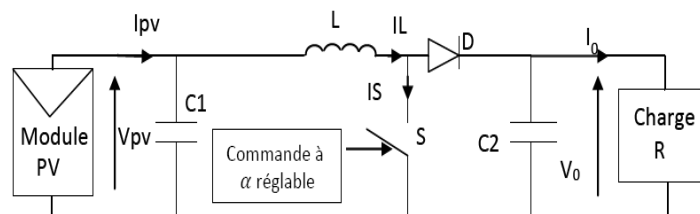


Figure.II.7 Exemple de convertisseur statique DC-DC pouvant être utilisé comme adaptateur entre un générateur PV et une charge

Au premier temps (αT), le transistor (S) est fermé, le courant dans l'inductance croît progressivement, et au fur et à mesure, elle emmagasine de l'énergie, jusqu'à la fin du premier intervalle. Ensuite, le transistor (S) s'ouvre et l'inductance (L) s'opposant à la diminution de courant (I_L), génère une tension qui s'ajoute à la tension de source, qui s'applique sur la charge (R) à travers la diode (D) [24].

II.6 Recherche du point de puissance maximale du générateur photovoltaïque

II.6.1 Synthèse des différentes techniques de maximisation de la puissance

Dans un système électrique comprenant une source et une charge, la recherche du point de fonctionnement optimal par des techniques d'optimisation représente ce qui est le plus important. Dans le cas du photovoltaïque, cette démarche est plus complexe du fait que la caractéristique des cellules dépend fortement de l'ensoleillement et de la température ambiante, entre autres. Il faut trouver un dispositif permettant de fonctionner à tout moment suivant le point de fonctionnement optimal. Ces dernières années plusieurs dispositifs ont été développés, aussi élaborés les uns que les autres. [21]

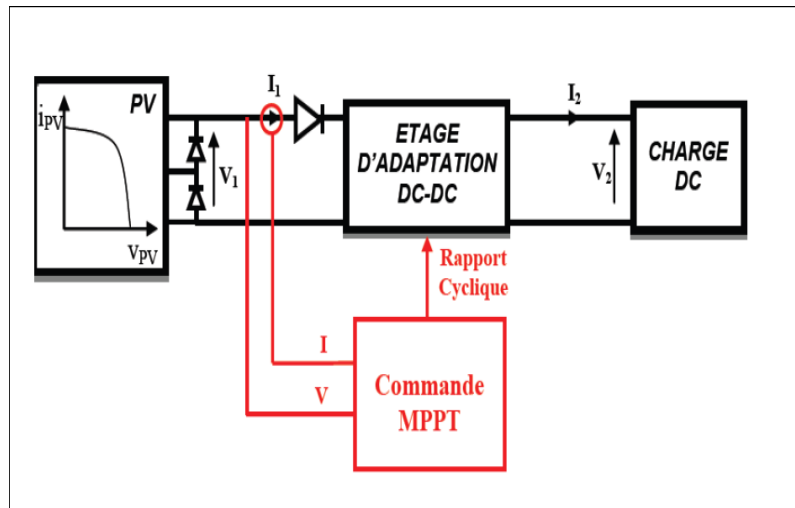


Figure. II-8: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque. [21]

II.6.2 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 maximale. Ces méthodes sont souvent propres à chaque type de panneau et donc difficile à généraliser. Parmi elles, on peut citer :

- Méthode d’ajustement de courbe,
- Méthode « look-up table »,
- Méthode de la tension de circuit ouvert du générateur,
- Méthode de court-circuit

II.6.2.1 La méthode d’ajustement de courbe

Elle est basée sur la connaissance exacte de la caractéristique des panneaux PV à partir de laquelle on extrait des équations mathématiques permettant de connaître le point de puissance maximale (MPP en anglais). Ainsi, d'après la référence [20], les équations (III-1) et (III-2) permettent de retrouver le MPP à partir des paramètres a, b, c et d.

$$P_{pv} = aV_{pv}^3 + bV_{pv}^2 + cV_{pv} + d \dots \dots \dots (III-1)$$

$$V_{MPP} = -\frac{b \pm \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \dots \dots \dots (III-2)$$

Avec P_{pv} , V_{pv} et V_{MPP} respectivement la puissance, la tension et la tension au point de puissance maximale des panneaux photovoltaïques.

Les principaux inconvénients de cette méthode sont le nombre élevé d'itérations permettant d'obtenir et la nécessité de disposer d'une grande capacité de mémoire.

L'obligation de connaître avec précision les paramètres physiques des panneaux sont aussi un handicap puisque ces paramètres varient selon les conditions climatologiques et les fabricants.

II.6.2.2 La méthode « look-up table »

Elle consiste à mesurer la tension et le courant des panneaux puis à les comparer aux données en mémoire sous les mêmes conditions climatologiques afin de retrouver le MPP [20]. L'inconvénient de cette méthode est la nécessité d'une grande mémoire de stockage. De plus, l'algorithme peut s'avérer inefficace dans certains cas puisqu'il est très difficile de stocker toutes les caractéristiques correspondant aux différents scénarios climatologiques.

II.6.2.3 La méthode de la tension de circuit ouvert du générateur

Cet algorithme, décrit dans les références [20], est basé sur la tension du générateur PV au point de puissance maximale qui est approximativement proportionnelle à sa tension à circuit ouvert, V_{co} . La constante proportionnelle, k_1 , dépend de la technologie de cellules photovoltaïques, du facteur de forme et des conditions météorologiques.

$$k_1 = \frac{V_{MPP}}{V_{co}} \cong Cte < 1 \dots\dots\dots$$

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-3), 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 . Cependant, dans la littérature [20], les rapports k_1 sont compris entre 0.73 et 0.80 pour les modules PV poly-cristallins. En considérant constant, on ne tient donc 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 à bas prix.

II.6.2.4 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-4)).

$$k_2 = \frac{V_{MPP}}{I_{SC}} \cong Cte < 1 \dots\dots\dots$$

Dans la plupart des cas, pour les cellules poly-cristallines, le coefficient k_2 est choisi égal à

0.85 [20]. Cette méthode présente les mêmes avantages et inconvénients que ceux de la méthode de la tension de circuit ouvert.

II.6.3 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 de différenciation, la méthode Perturb & Observ (P&O), l'incrément de conductance...

II.6.3.1 La méthode de différenciation

Cette méthode est basée sur la propriété de la dérivée d'une fonction qui s'annule en un de ses extremis. La résolution de l'équation (III-5) permet d'obtenir le point de puissance maximale [20,22] :

$$\frac{dP_{pv}}{dt} = V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dt} + I_{pv} \frac{dV_{pv}}{dt} = 0 \dots\dots\dots$$

Cependant, afin d'atteindre réellement le point de puissance maximale, cette équation doit être résolue rapidement. Cette opération est longue et complexe car exigeant au moins huit calculs et mesures : mesures de la tension V_{pv} des panneaux, du courant I_{pv} , de la variation de la tension dI_{pv} , de la variation du courant dV_{pv} , permettant le calcul de la variation de la puissance puis sa comparaison à « 0 ». Si la variation de la puissance dP_{pv} n'est pas nulle, son signe permet de déterminer la direction de la recherche du MPP. Cette méthode nécessite donc des moyens de calcul qui soient très efficaces.

II.6.3.2 La méthode Perturb & Observe (P&O)

La méthode Perturb & Observe (P&O) est l'une des méthodes les plus utilisées [20,22]. 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 (ou le courant) 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 fig. III-2, 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 effectuée 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, si 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.

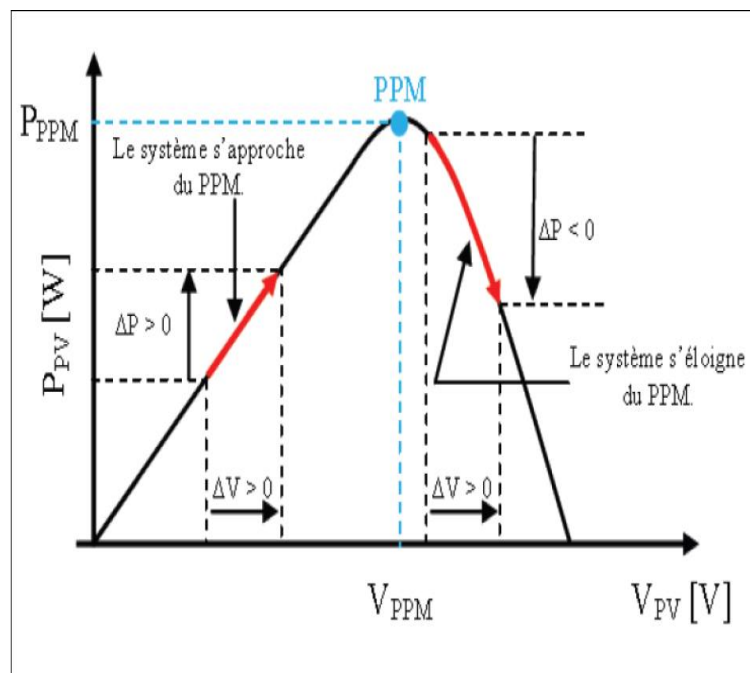


Figure. II-9: Caractéristique P_{pv} (V_{pv}) d'un panneau photovoltaïque [20]

La fig. II-9 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 part sa facilité d'implémentation. Cependant, elle présente quelques problèmes liés aux oscillations autour du MPP 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 le 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.

La fig. II-10 présente le diagramme de l'algorithme P&O.

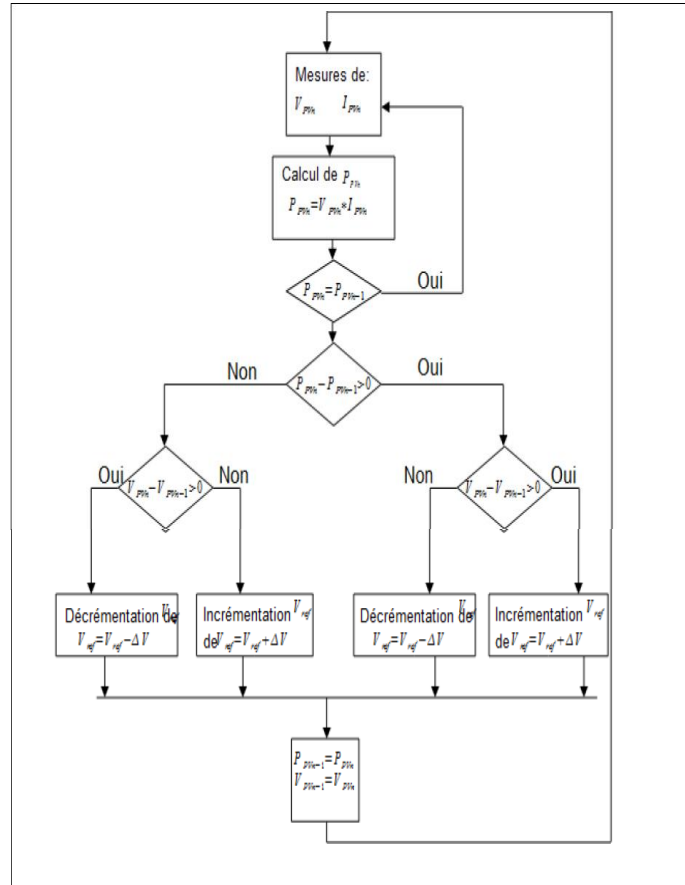


Figure. II-10: Algorithme type de la méthode P&O [20,22]

Si on analyse en détail ce mode de recherche, il présente des erreurs d'interprétation au niveau de la direction à suivre pour atteindre le MPP lorsque des variations brusques des conditions climatiques et/ou de charge apparaissent, comme cela est décrit sur la fig. II-11.

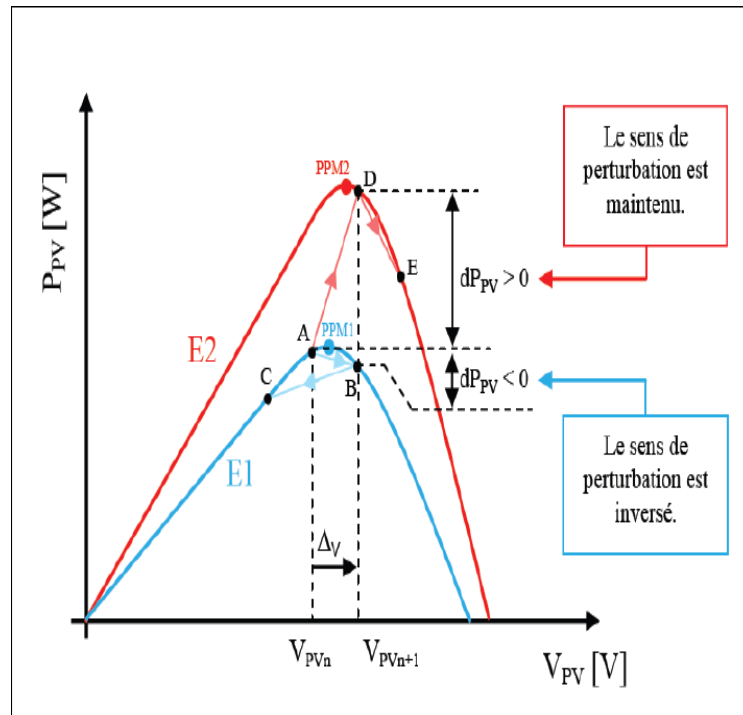


Figure. II-11: Divergence de la commande P&O lors de variations d'irradiation [20,22]

Pour comprendre, prenons l'exemple d'un éclairage donné, noté E1, avec un point de fonctionnement se situant en A. Suite à une perturbation de tension de valeur V , ce dernier bascule en B, impliquant, dans un fonctionnement sans variation d'éclairement, une inversion du signe de la perturbation due à la détection d'une dérivée de la puissance négative. Ceci entraîne en régime d'équilibre, des oscillations autour du MPP causées par la trajectoire du point de fonctionnement entre les points B et C. On peut noter que des pertes de transfert de la puissance seront plus ou moins importantes en fonction des positions respectives des points B et C par rapport à A. Lors d'un changement d'irradiation (évolution des caractéristiques $P(V)$ du module de E1 à E2), le point de fonctionnement se déplace alors de A vers D, qui est interprété dans ce cas-là, par une variation positive de la puissance. Le système n'ayant pas la possibilité de voir l'erreur de trajectoire liée au changement de caractéristique, le signe de la perturbation ne change pas et le système s'éloigne momentanément du MPP en direction du point E. Au mieux, ceci occasionne une non-optimisation de la puissance momentanée. Au pire des cas, le système de recherche peut se perdre et se retrouver en butée, soit en circuit ouvert soit en court-circuit entraînant une perte définitive du MPP. Il en résulte donc, en cas de conditions météorologiques défavorables, de fortes lacunes au niveau de la commande.

II.6.3.3 L'incrément de conductance

Cette méthode a été proposée par Hussein et Al [20] comme une alternative à la méthode P&O. Son principe est basé sur l'annulation de la dérivée de la puissance par rapport à la tension (équations (III-6 – III-7), Fig. III-5).

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \dots\dots\dots$$

$$\frac{-I_{pv}}{V_{pv}} = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \dots\dots\dots$$

Le terme de gauche de l'équation (III-7) représente au signe près la conductance tandis que le terme de droite représente sa variation.

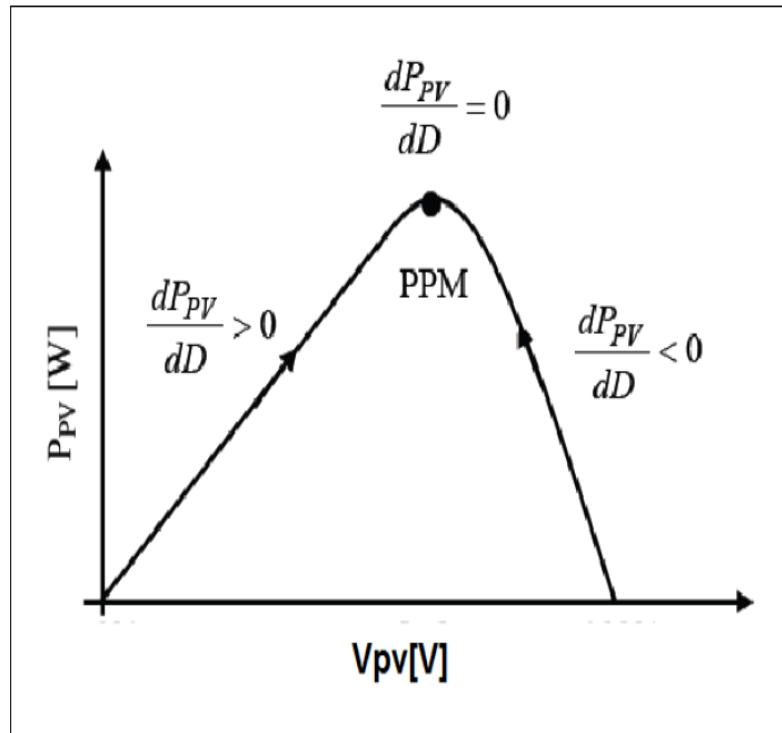


Figure. II-12: Caractéristique (P,V) d'une cellule photovoltaïque et mise en évidence de dP/dV

L'avantage principal de cet algorithme est qu'il est adapté aux conditions climatiques instables car, théoriquement, il est possible de trouver un MPP et de s'y immobiliser si la perturbation cesse. Dans ce cas-là, la variation de tension est nulle ; l'apparition d'une variation de courant permet d'ajuster la valeur de la tension de référence pour atteindre un nouveau MPP. C'est une propriété intéressante par rapport aux deux types de MPPT précédents car en régime établi, il n'y a pas d'oscillations autour du MPP. De plus, cette méthode ne présente pas de risques de divergence par

rapport au MPP. En Pratique, il existe une oscillation autour du MPP qui est néanmoins inférieure à celle de la méthode de P&O. Au final, avec une optimisation de la méthode P&O, les rendements sont sensiblement égaux [20,22].

La fig. III-5 présente le diagramme de l'algorithme de l'incrément de conductance.

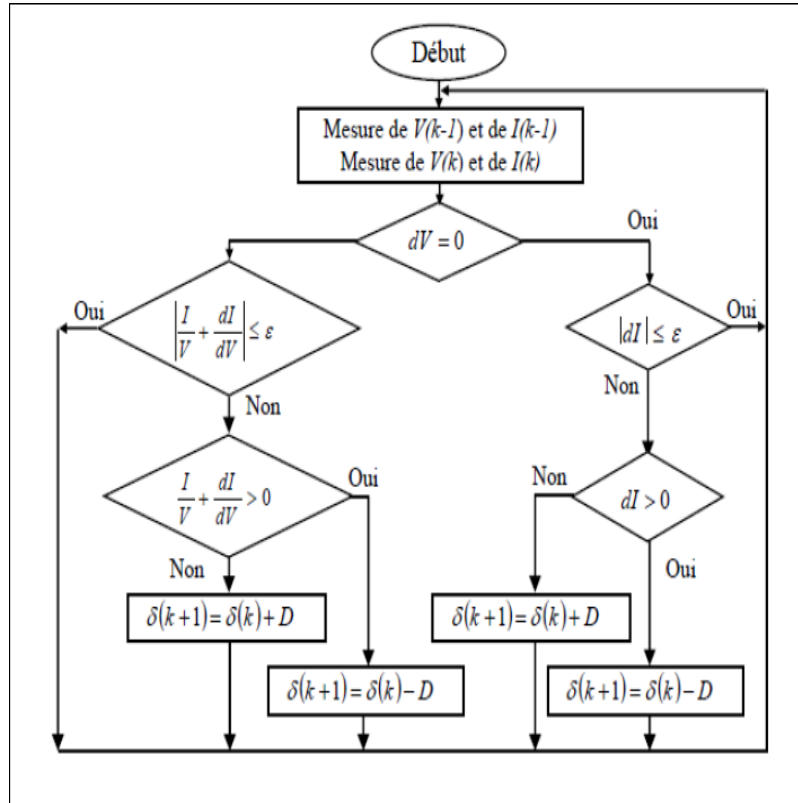


Figure. II-13: Algorithme de l'incrément de conductance [20,22]

II.6.3.4 Hill Climbing

La technique de contrôle nommée Hill Climbing consiste à faire monter le point de fonctionnement le long de la caractéristique du générateur présentant un maximum. Pour cela deux pentes sont possibles. La recherche s'arrête théoriquement quand le point de puissance maximale est atteint. Cette méthode est basée sur la relation entre la puissance du panneau et la valeur du rapport cyclique appliqué au convertisseur statique. Mathématiquement, le PPM est atteinte lorsque dP/dD est forcée à zéro par la commande, comme le montre la fig. II-14.

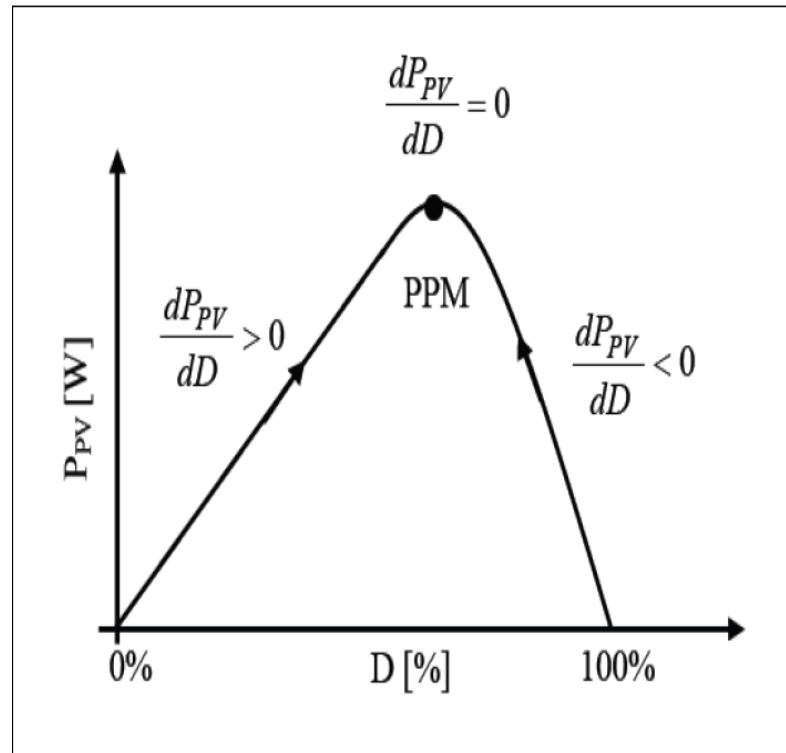


Figure. II-14 : Relation entre la puissance (P_{pv}) et le rapport cyclique (D) du convertisseur statique.

L'organigramme de l'algorithme de cette méthode est illustré sur la fig. II-14. La variable *slope* correspond à une variable qui prend la valeur « 1 » ou « -1 » suivant la direction que l'on doit donner à la recherche pour augmenter la puissance en sortie du panneau. D et P_{pv} représentent successivement le rapport cyclique et la puissance du générateur, a symbolise la variable d'incrément du rapport cyclique. Périodiquement, la puissance P_n est comparée à la valeur déterminée précédemment P_{n-1} , en fonction du résultat de la comparaison, le signe de la valeur *slope* change ou reste identique. Ce qui a pour effet d'incrémenter ou décrémente la valeur du rapport cyclique.

Une fois le PPM est atteinte, Le système oscille autour de ce dernier indéfiniment rejoignant alors les compromis à faire entre rapidité et précision et les pertes liées à ces oscillations.

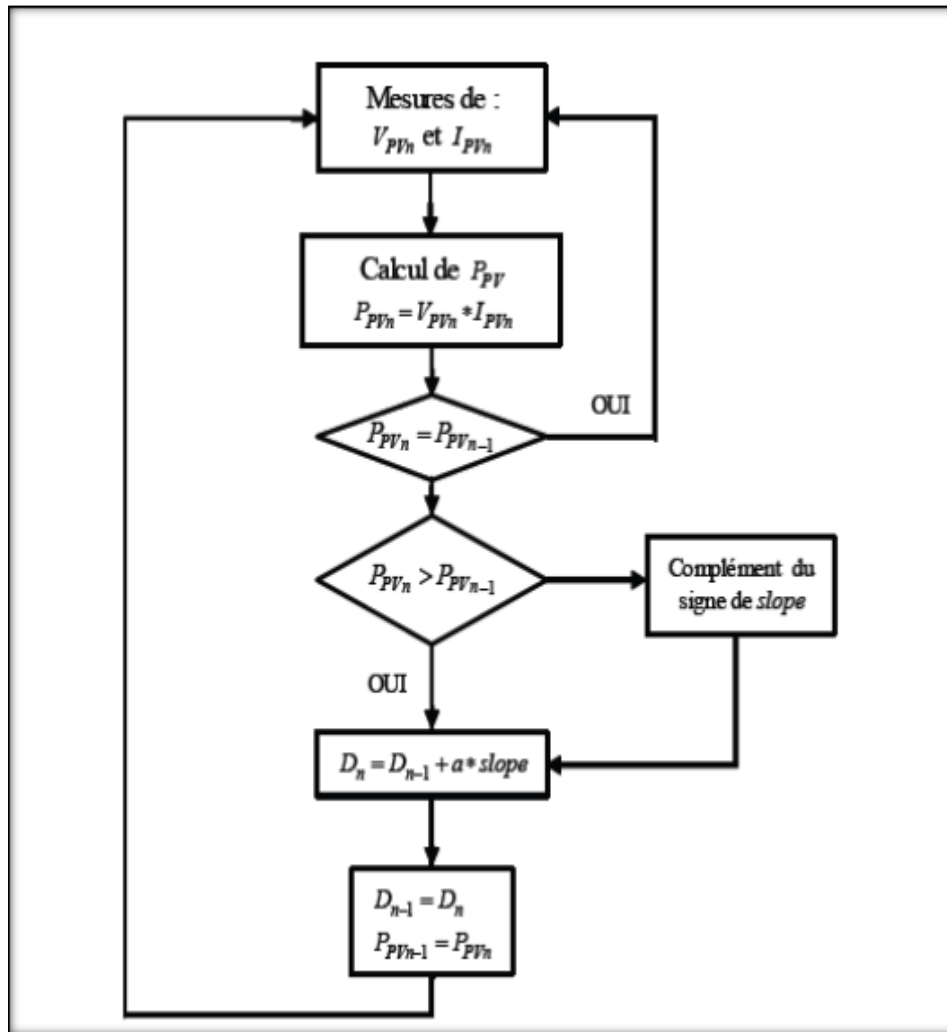


Figure. II-15: Algorithme de la commande Hill Climbing. [22]

II.7. Optimisation du système de pompage photovoltaïque entrainé par un MCC à excitation séparée

Le système de pompage photovoltaïque non optimisé est l'association des trois sous-systèmes suivants : un générateur photovoltaïque (GPV) couplé directement au moteur à courant continu à excitation séparée qui entraîne la pompe centrifuge.

Ce système est largement utilisé car il peut ne pas inclure des batteries de stockage ni des convertisseurs statiques, ni régulateur [37], [36], sinon sa commande est simple. Par contre la structure compliquée de ce type des moteurs, le rend coûteux, en plus le système balais-collecteur exige un entretien alterné.

Les équations résultantes par ce couplage direct sont:

$$V=U_a$$

$$I=i_a$$

$$C_r = C_p$$

L'introduction des équations (II.17) dans le modèle sous forme d'état du *MCC* à excitation séparée et constante, donné par (I.19) aboutira à un système d'équations différentielles non linéaires dont la résolution permet de calculer le vecteur $x = [V, I, \omega]$ pour différents éclairagements.

Pour résoudre ce système d'équations, chose qui peut être effectuée en régime établi en utilisant les méthodes de résolution des systèmes algébriques non-linéaires ou en régime transitoire en optant pour les méthodes de traitement des systèmes différentiels ordinaires. On a préféré utiliser la méthode itérative de Runge-Kutta d'ordre 4, pour pouvoir étudier les performances statiques et les régimes transitoires du système de pompage, à la fois.

Les points de fonctionnement (U_a, i_a) du *MCC* à excitation séparée entraînant la pompe centrifuge obtenus pour un couplage sans optimisation sont représentés dans le plan *I-V* du *GPV* (voir figure (II.2)). On note d'après cette courbe que le *MCC* est bien adapté au *GPV* au point de fonctionnement correspondant à un éclairage nominal $E = 1000 \text{ W/m}^2$. Mais en s'éloignant de ce niveau d'éclairage, le *MCC* absorbe de moins en moins de puissance par rapport à la puissance maximale que peut délivrer le *GPV*. D'où la nécessité de l'optimisation du rendement global de ce système de pompage photovoltaïque, qui a pour but de maximiser le débit de la pompe centrifuge, ce qui revient indirectement à extraire le maximum de puissance du *GPV*.

La maximisation du débit revient à maximiser la puissance mécanique de la pompe pour chaque éclairage, ce qui équivaut à maximiser la vitesse du moteur d'entraînement.

L'insertion d'un convertisseur statique continu-continu entre le *GPV* et la motopompe permet d'aboutir à cet objectif. Donc le système de pompage photovoltaïque à optimiser peut être représenté par la figure (II.17).

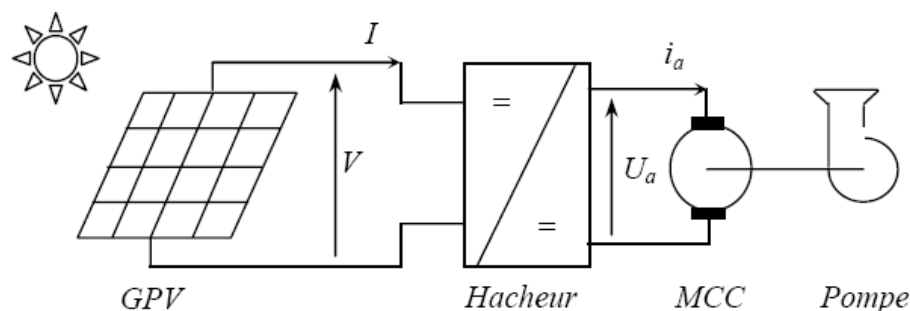


Figure. II.16 Schéma du système de pompage photovoltaïque entraîné par un *MCC*.

Le hacheur permet d'avoir une tension de sortie moyenne réglable, selon les durées de conduction et de blocage des composants de l'électronique de puissance qui le constitue. Cela

permet d'adapter la résistance équivalente de la charge qui est le *MCC*, au *GPV*, pour y soutirer le maximum de puissance.

La tension moyenne de sortie U_a peut être donnée par:

$$U_a = KV \quad (\text{II.2})$$

et le courant moyen i_a est exprimé par:

$$i_a = I/K \quad (\text{II.3})$$

Où K est le gain du hacheur, il est fonction des durées d'ouverture et de fermeture des composants de l'électronique de puissance.

L'introduction des équations du hacheur (II.2) et (II.3) dans le modèle d'état de la *MCC* permet de compléter le modèle utilisé pour calculer le nouveau vecteur d'état $x = [V, I, \omega]$ pour différents éclairagements.

Durant l'opération d'optimisation, on a fait varier le gain K du hacheur avec finesse (avec un pas de 0.001), et on a choisi le gain optimal qui correspond à la vitesse maximale de la motopompe pour différents éclairagements (voir figure (II.2)). Cette même figure prouve l'utilité de l'opération d'optimisation, en effet on remarque une augmentation notable de la vitesse pour les faibles éclairagements avec une nette amélioration du rendement du système. Cette amélioration de la vitesse diminue avec l'augmentation de l'éclairagement, puisque à un niveau d'ensoleillement nominal $E=1000\text{W/m}^2$ le couplage direct du *MCC* au *GPV* est naturellement optimisé. Cette adaptation de puissance est contrôlée par le gain K , qui aux faibles éclairagements doit être réduit.

Les points de fonctionnement optimums du groupe *MCC*-pompe dans le plan $I-V$ du *GPV* correspondant aux vitesses maximales de l'entraînement sont presque confondus à ceux offrant une puissance électrique maximale du *GPV* (courbe $I(V)$ en ligne continue). Ceci est justifié par le fait que les points (U_a, i_a) donnant une puissance mécanique maximale sont forcés par l'ajustement du gain K du hacheur, à se localiser au voisinage des points à puissance électrique maximale du *GPV*. Par conséquent le rendement global du système se trouve amélioré.

II.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a vu comment optimiser la quantité d'eau pompée pendant une journée par des systèmes de pompage photovoltaïque entraînés par les actionneurs suivants : un moteur à courant continu à excitation séparée. Cette optimisation a été effectuée en ajustant judicieusement le gain d'un convertisseur continu-continu, placé en amont de l'onduleur et/ou de l'actionneur électrique. Cela a permis d'adapter l'impédance d'entrée vue du côté générateur photovoltaïque au point de fonctionnement à maximum de puissance de celui-ci.

D'après les résultats obtenus on peut souligner que le critère d'optimisation choisi a offert une quantité d'eau pompée maximale en exploitant adéquatement la puissance électrique délivrée par le *GPV*.

Il faut signaler aussi que les résultats obtenus par l'algorithme d'optimisation proposé dans ce chapitre peuvent être implantés pour adapter en temps réel le *GPV* à l'actionneur. Néanmoins, cet algorithme ne tient pas compte de la variation des paramètres influençant le modèle du système de pompage photovoltaïque, tels que la température, les paramètres du moteur, du *GPV*..., ce qui limite sa robustesse. Or, il existe des techniques modernes basées sur l'intelligence artificielle, qui sont insensibles et robustes et permettent une optimisation en temps réel du système de pompage photovoltaïque. Les prochains chapitres seront consacrés à présenter ces techniques et leur application à l'optimisation du même système de pompage photovoltaïque.

Chapitre III:

Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

Chapitre III : Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

III.1 Introduction

La simulation est un outil pour l'évaluation des performances théoriques d'un Système. En effet cette partie nous permettra d'effectuer des simulations d'un Générateur photovoltaïque suivi par un convertisseur DC/DC et de tester les Commandes MPPT. Ceci nous permet de modifier les paramètres du système Facilement telles que les conditions météorologiques, et de visualiser l'apport de la Commande sur le générateur photovoltaïque.

Le logiciel MATLAB et son extension graphique associée SIMULINK font partie d'un ensemble d'outils intégrés au traitement du signal, présentent la possibilité de Simuler des systèmes à leurs états continus et discrets, il est donc bien adapté pour Tester les commandes MPPT numériques. Ce chapitre est consacré à la simulation

III.2 Simulation du système photovoltaïque:

Paramètre de panneau :

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings: 5

Series-connected modules per string: 1

Module data

Module: 1Soltech 1STH-215-P

Maximum Power (W): 213.15

Open circuit voltage Voc (V): 36.3

Voltage at maximum power point Vmp (V): 29

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C): -0.36099

Cells per module (Ncell): 60

Short-circuit current Isc (A): 7.84

Current at maximum power point Imp (A): 7.35

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C): 0.102

Model parameters

Light-generated current IL (A): 7.8649

Diode saturation current IO (A): 2.9259e-10

Diode ideality factor: 0.98117

Shunt resistance Rsh (ohms): 313.3991

Series resistance Rs (ohms): 0.39383

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T_cell (deg. C): [45 25]

Plot

Figure III .1 : paramétré de panneau array.

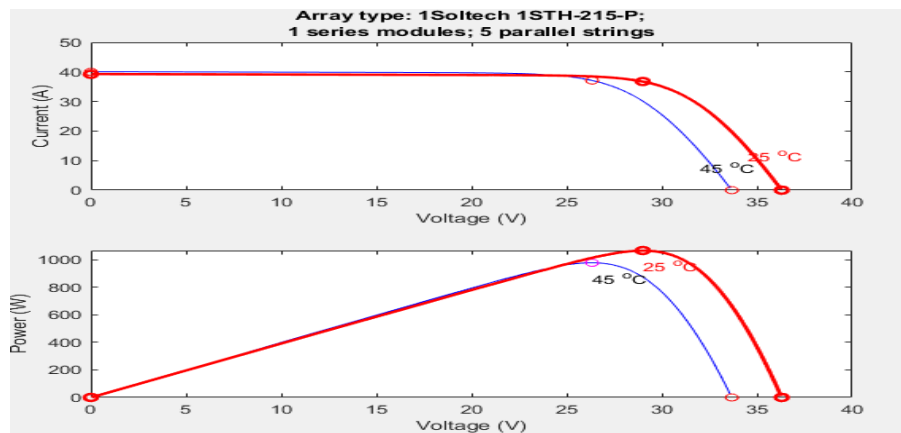


Figure III .2 : Courbe de la caractéristique du I-V et P-V du panneau

Chapitre III : Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

Simulation sans MPPT :

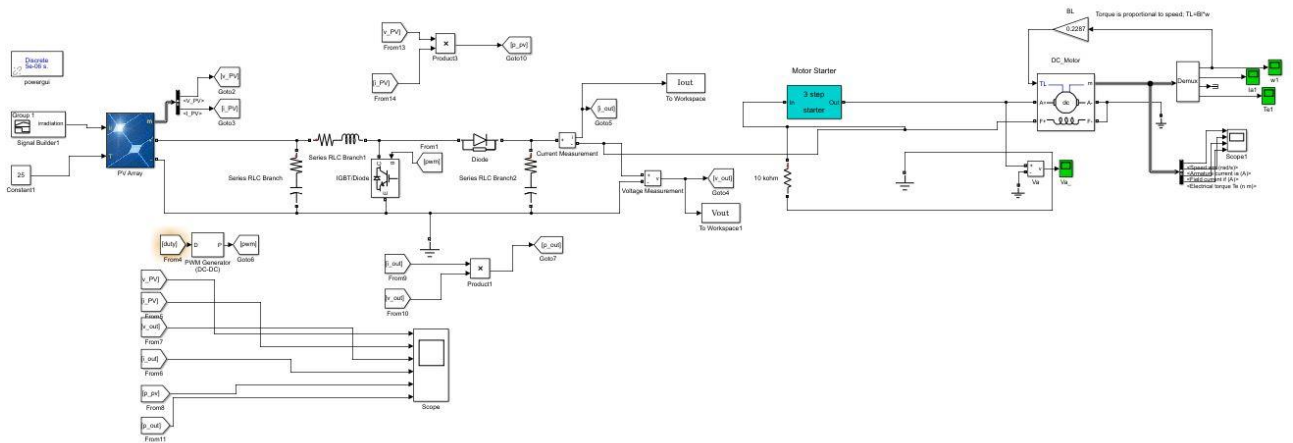


Figure III .3 : Schéma de simulation d'un panneau PV

Résultats de simulation :

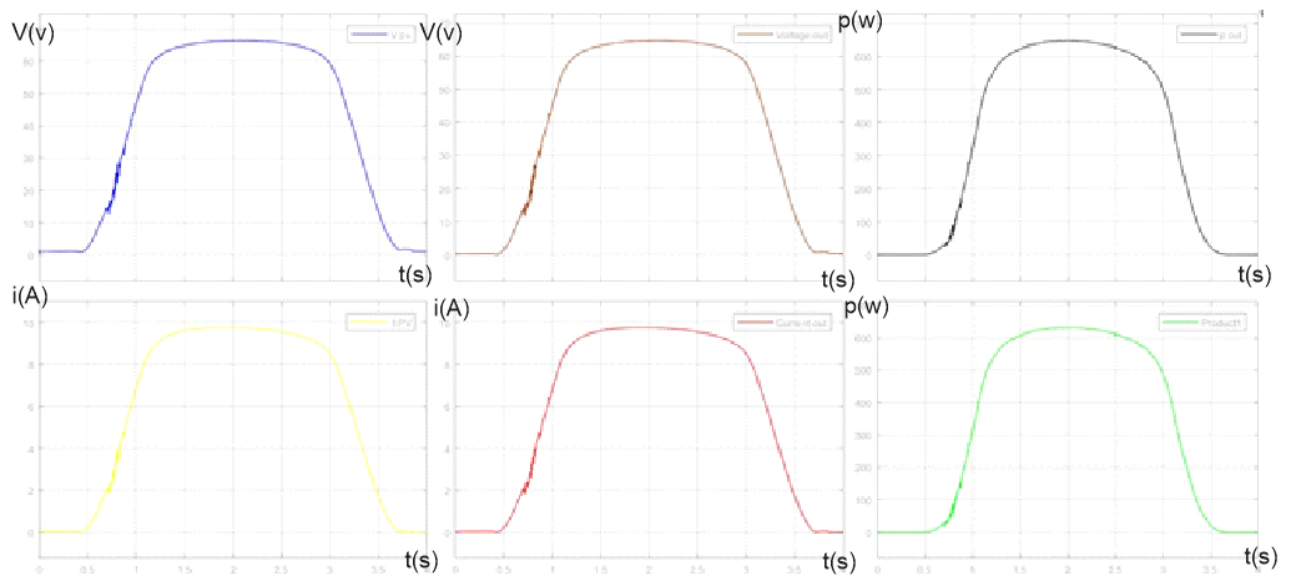


Figure III .4 : Les courbes de la simulation sans MPPT

Chapitre III : Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

III.3 Simulation du système photovoltaïque avec la commande MPPT :

Pour tester les fonctionnements des algorithmes modélisés précédemment, on a inséré le bloc de commande MPPT pour le système photovoltaïque, les entrées de la commande sont le courant et la tension du panneau

Le programme de la MPPT SUR MATLAB :

```
function duty = MPPT_kontrol(V, I,deltaD_in)

duty_init=0.05;
duty_min=0;
duty_max=0.75;

persistent vold pold duty_old;

if isempty(vold)
    vold=0;
    pold=0;
    duty_old=duty_init;
end
P= V*I;
dV= V - vold;
dP= P - pold;
duty = duty_old
deltaD=deltaD_in

if dP ~= 0
    if dP < 0
        if dV < 0
            duty = duty_old - deltaD;
        else
            duty = duty_old + deltaD;
        end
    else
        if dV < 0
            duty = duty_old + deltaD;
        else
            duty = duty_old - deltaD;
        end
    end
end

if duty >= duty_max
    duty=duty_max;
elseif duty<duty_min
    duty=duty_min;
end

duty_old=duty;
vold=V
pold=P;
```

Figure III .5 : la fonction de MPPT

Chapitre III : Simulation d'alimentation de pompe avec système photovoltaïque

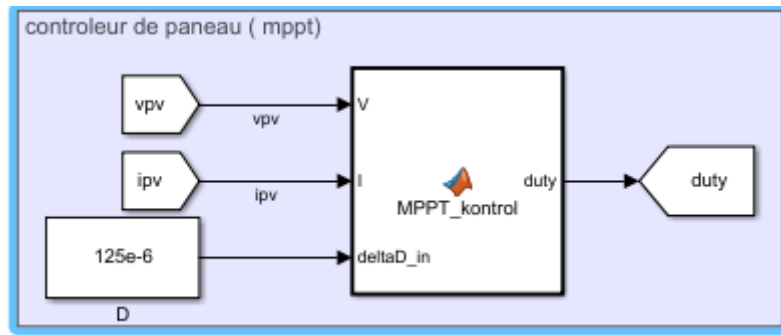


Figure III .6 : Blok de contrôleur (MPPT).

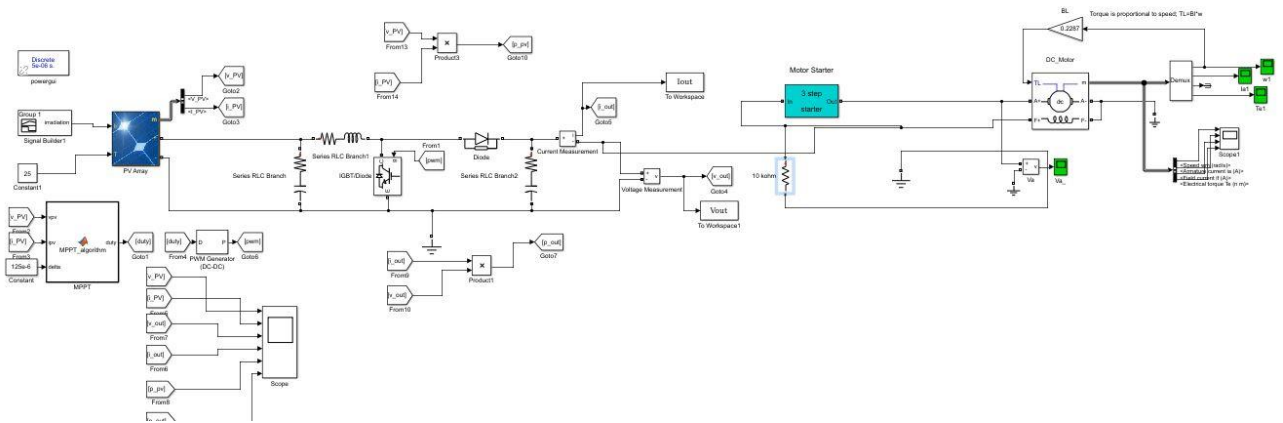


Figure III .7 : Schéma de simulation d'un panneau PV étudié avec la commande MPPT

Résultats de simulation la Motor avec MPPT :

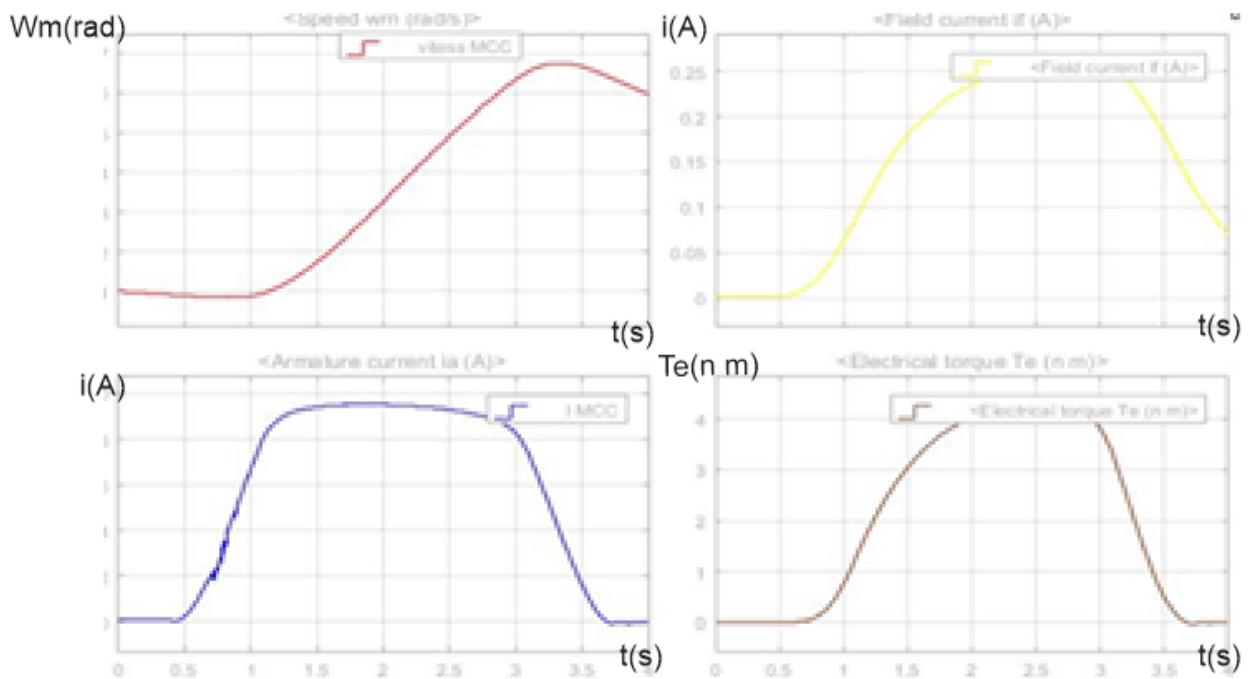


Figure III.8 : Es courbes de la simulation MPPT

III.3.1 Teste sur un convertisseur DC/DC.

La Figure III.1 donne le schéma block d'un BOOST testé sous MATLAB/SIMULINK, relié à une charge résistive avec une tension Les résultats de simulation pour une fréquence sont illustrés sur la figure ci-dessus.

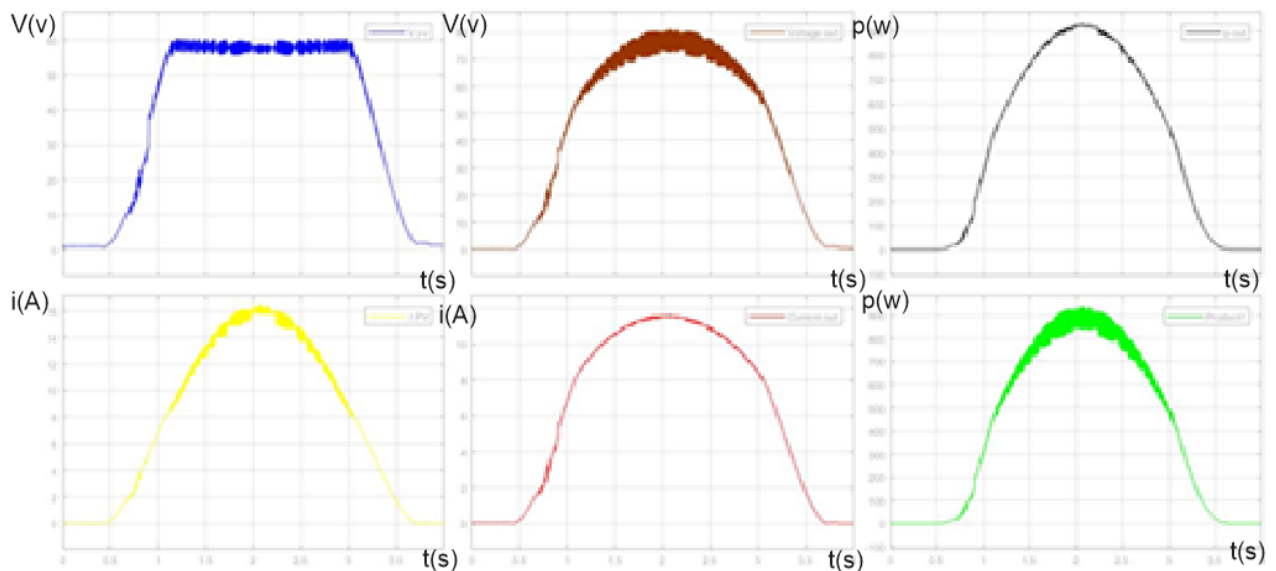


Figure III .9 : Les courbes de la tension la courant et la puissance PV et le sortie d'un BOOST

Simulation sous des conditions climatiques stables :

Pour une évaluation des performances du système photovoltaïque de la commande MPPT du type PO, nous avons simulé le fonctionnement d'un ensemble (GPV-BOOST-MPPT et une charge) sous des conditions atmosphériques fixes (un éclairement 1000W/m^2 et une température de 25°C) Les résultats de simulation du fonctionnement du système photovoltaïque muni de la commande MPPT « perturbation et observation » sont représentés par les figures suivantes pour un pas de perturbation de 0.01 et 0.002.

Analyse des résultats de MPPT:

-À partir des résultats obtenus, on remarque que malgré que nous avons démarré la simulation avec des conditions initiales nulles, la commande MPPT a permis de retrouver le point de puissance maximale du panneau (la même valeur donnée par le constructeur).

- Nous avons également remarqué une amélioration du régime moteur lors de la présence de MPPT.

III.4.Conclusion

Ce chapitre présente les résultats obtenus par trois méthodes de commande de MPPT appliqué à un générateur PV. Le travail a été réalisé sous l'environnement MATLAB/SIMULINK. Nous dénombrons deux cas de figure: conditions atmosphériques idéales (25° et 1000 w/m²) et l'ombrage partiel. Nous avons effectué une étude comparative entre trois méthodes MPPT

Conclusion générale

Conclusion générale

Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes MPPT ont été étudiées pour la poursuite du point maximum de puissance. Dans cet objectif, ce travail est une contribution pour la compréhension et la mise en place d'une commande MPPT permettant de traquer la puissance maximale à tout moment et sous différentes conditions atmosphériques.

Pour ce faire, nous avons commencé par introduire le lecteur pas à pas au domaine des systèmes photovoltaïques en rappelant quelques notions sur le rayonnement solaire, l'énergie solaire et l'énergie photovoltaïque. Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs caractéristiques principales ainsi que leur type avec à la fin un aperçu de cette énergie en Algérie.

Dans un deuxième temps, ayant les bases du chapitre I, nous avons attaqué la modélisation d'un système photovoltaïque en commençant par le générateur photovoltaïque en observant les caractéristiques du générateur photovoltaïque GPV ainsi que ses performances sous l'influence de quelques paramètres atmosphériques (température et ensoleillement). Puis nous avons détaillé le modèle du convertisseur Boost qui représente l'étage d'adaptation entre le générateur PV et la charge.

Quant à la partie de commande MPPT, faisant objet de cette étude, elle a été bien détaillée dans le chapitre II en présentant le principe de la recherche du point de puissance maximale tout en donnant les différentes classifications des commandes MPPT. Nous avons détaillé les différentes méthodes MPPT rencontrées le plus souvent dans la littérature. L'existence de plusieurs types de commandes MPPT montre que ce domaine de recherche est en perpétuelle évolution et qu'il est difficile de trouver une ou plusieurs solutions universelles.

La mise en place des simulations, la présentation des résultats obtenus, les discussions et la comparaison ont fait l'objet du dernier chapitre. Ce dernier englobe l'ensemble des simulations développées sous l'environnement Matlab/Simulink dans un premier pour la mise en place du système photovoltaïque et dans un deuxième pour tester à valider et comparer les commandes MPPT faisant l'objet de cette étude. Nous avons développé les algorithmes les plus utilisés à savoir la méthode P&O. A la fin de ce chapitre et pour une étude plus profonde nous avons fait une étude comparative entre les méthodes délibérées.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : FELLAH Boumediene, Système hybride photovoltaïque-éolien de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah, mémoire de magister. Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen. 2012.
- [2] : K.Touafek, "Etude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique", mémoire de magister, école nationale polytechnique, Alger, 2005.
- [3] : <https://www.prime-energy-technics.ch/actualites/histoire-du-photovoltaïque>.
- [4]: Dossier technique «Eolienne et photovoltaïque».
- [5] J. Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa, 2002.
- [6] AOUIFI Saliha, «Modélisation et commande d'un système de pompage.
- [7] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le cite de Ouargla», Mémoire de magistère, Université el hadj Lakhdar – BATNA, 2007.
- [8] Mohamed Ansoumane Camara, «Modélisation du stockage de l'énergie photovoltaïque par supercondensateurs » thèse, Université Gamal Abed Nasser, GUINEE, 2012.
- [9] B. Flèche, D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque », juin 07, STI ELT Approche générale.
- [10] Tarek Bouguerra, «Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif», Mémoire de magistère, Université Mentouri de Constantine 1, 2014.
- [11] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le cite de Ouargla», Mémoire de magistère, Université el hadj Lakhdar – BATNA, 2007.
- [12] : MECHALIKH Med Nadjib, HAMADA Charaf Eddine, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau, mémoire de master. Université Kasedi Merbah Ouargla. 2013.
- [13] : F. Hananou et A. Rouabah, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque, mémoire de master. Université Kasedi Merbah Ouargla. 2014.
- [14] POMPE A EAU SOLAIRES, Presentation generale-2014

Bibliographie

- [15] Mohamed Lakhdar LOUAZENE, Etude technico-economique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ouargla, Memoire de Magister.
- [16] Rev. Energ. Ren. : Valorisation (1999) 101-104. L'Energie Solaire et les Régions Sahariennes - Exemple de la Région d'Adrar -B.Bouzidi, Laboratoire d'Energie Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables..
- [17] Tarek Bouguerra, «Optimisation d'un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif», Mémoire de magistère, Université Mentouri de Constantine 1, 2014.
- [18]. Sofia, D.B.L., Cours Energie solaire photovoltaïque. 2015.
- [19] M. Boukli-Hacene Omar « conception et réalisation d'une génération photovoltaïque muni d'un convertisseur mppt pour une meilleure gestion.
- [20] Le Ministère de L'énergie et des mines conception et réalisation satinfo société du groupe sonelgaz « programme des energies renouvelables et de l'efficacité énergétique » mars 2011.
- [21] J. Ferrieux, f. Forest, « alimentations a découpage convertisseurs a résonance: principes composants modélisation ». Paris, France: dunod, 1999.
- [22] Alain Bilbao « le arrêta réalisation de commandes mppt numériques » diplôme ingénieur technique industriel, septembre 2006.
- [23] F. Salma, « modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », mémoire de magister d'électrotechnique, Sétif 2012.
- [24] Amarouayache Mohamed, « contribution à l'optimisation d'une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque », doctorat en sciences en électrotechnique option ,2014.
- [25]M. Angel Cid Pastor, « conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », docteur de l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006.
- [26] Anantapuram, “investigation on potential photovoltaic power modules for higher electrical output” Ph.D. in electrical engineering, kiranmayi r-Jawaharlal Nehru technological university, 2012
- [27] Ahmad Zbeeb, “a new microcontroller-based mppt algorithm for photovoltaic applications” for the degree of master of applied science, Concordia university Montreal, Quebec, canada,2009.
- [28] d. Lee, H. Noh, D. Hyun, And I. Choy, ”an improved mppt converter using current compensation method for small scaled pv-applications,” IEEE applied power electronics conf. And exposition, vol. 1, pp. 540-545, 2003.

Bibliographie

[29] Akihiro Oi, “design and simulation of photovoltaic water pumping system”, faculty of California polytechnic state university, 2005.

[30] Bisker Asma, Chirié Meriem, « commande d’un système photovoltaïque en mode isolé et en mode connecté au réseau », diplôme d’ingénieur d’état en électrotechnique, école nationale polytechnique, 10, av. Hassen badi, El-Harrach, Algérie, 2012.

[31] Saint Priest « électricité solaire avenir solaire » SMA solar technologie– 2012.