

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master en Automatique
Spécialité : Option Automatique et systèmes

THÈME

**Algorithmes de la poursuite du point de puissance
maximale dans les applications photovoltaïques**

Fait par:

BOURDACHE Mehana
LAGGAB Samir
ZEHNATI Zahir

Encadré par :

Dr. Belkaid Abdelhakim

Devant le jury :

Dr. Charikh Ahmed
Dr. Nait Mohand Nacim

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Je remercie le tout puissant de m'avoir donné le courage d'accomplir ce travail, al
hamdoulilah.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur

Dr. BELKAID Abdelhakim. Je le remercie de m'avoir encadré.

A mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères,

A mes proches, mes amis, les vrais.

Merci d'être toujours là pour moi, I love you all.

Mehana.

Remerciements

En premier lieu, je remercie le bon Dieu de m'avoir donné la capacité et le pouvoir à bien mener ce travail

J'exprime mes remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur

Dr. BELKAID Abdelhakim

Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Un très grand MERCI à ma famille : mes parents, mes frères et sœurs pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien, qui m'a permis de réaliser ce mémoire.

Merci enfin à mes ami(e)s qui ont toujours été là pour moi.

Je vous remercie infiniment.

Samir .

Remerciements

En premier lieu, je remercie le bon Dieu de m'avoir donné la capacité et le pouvoir à bien mener ce travail

J'exprime mes remerciements et ma reconnaissance à mon encadreur

Dr. BELKAID Abdelhakim

Un très grand MERCI à ma famille : mes parents, mes frères et sœurs pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien, qui m'a permis de réaliser ce mémoire.

Merci enfin à mes ami(e)s qui ont toujours été là pour moi.

Je vous remercie infiniment.

Zahir.

SOMMAIRE :

INTRODUCTION GENERALE :	1
CHAPITRE 1	3
I. Introduction :	4
II. Historique :	4
III. Définition d'une cellule solaire PV	5
IV. Principe de fonctionnement d'une cellule PV :	6
V. Divers technologies des cellules PV:	7
1. Les cellules au silicium cristallin :.....	7
2. Les cellules monocristallines:.....	8
3. Les cellules polycristallines:.....	8
4. Les cellules amorphes:.....	8
5. Les cellules à base de couches minces :.....	8
6. Les cellules à base de photovoltaïque organique :.....	8
VI. Circuit électrique équivalent de la cellule PV :	9
VII. Conclusion :	11
CHAPITRE 2	12
I. Introduction	13
II. Systèmes de conversion photovoltaïques :	13
• Système autonome :	13
1. Système autonome sans batterie :.....	13
2. Système autonome avec batterie :.....	13
a) Simple DC :.....	14
b) Simple AC :.....	14
c) Complexe DC :.....	15
d) Complexe AC :.....	16
3. Système connecté au réseau :.....	16
• Système hybride:	17
III. Les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	18
• Avantage :	18
• Inconvénients :	19
IV. Optimisation énergétique du système photovoltaïque:	19
V. Adaptations par le convertisseur DC-DC pour les systèmes d'énergie PV :	21
• Non isolés de la source :	21
• Isolés de la source :	21
1. Le convertisseur BOOST (parallèle/élevateur) :.....	22
a) Premier mode:.....	22
b) Second mode:.....	22
2. Convertisseur Buck (série/abaisseur):.....	22
a) Premier mode :.....	23
b) Second mode :.....	23
3. Convertisseur Buck-Boost (dévolteur-survolteur) :.....	23

a) Premier mode:	23
b) Second mode:	23
VI. Le rendement de conversion d'une cellule PV :	24
• Rendement d'une chaîne de conversion de Puissance :	25
vii. Conclusion :.....	25
CHAPITRE 3.....	27
I. Introduction :	28
II. Commandes MPPT:	28
• Définition et principe de fonctionnement du MPPT:	28
• Critères de Qualité d'une Commande MPPT :	29
• Classification des Commandes MPPT :.....	29
• Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée:	29
1. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS :	30
2. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du CS :	30
• Classification des commandes MPPT selon le type de recherche :	30
3. MPPT indirect :	31
4. MPPT direct :	31
III. Les algorithmes MPPT :	31
• La méthode P&O :	31
• La méthode IC:	32
• La méthode SM:	33
• La méthode FL:	34
IV. Conclusion :.....	35
CHAPITRE 4.....	36
I. Introduction :	37
II. MATLAB/SIMULINK :	37
III. Simulation du module PV avec la commande P&O :.....	38
IV. Caractéristiques du module PV	39
V. Application de l'algorithme P&O:.....	40
• Conditions STC.....	40
• Eclairement variable et température constante.....	41
• Eclairement fixe et température variable.....	42
• Eclairement variable et température variable.....	44
VI. Conclusion :.....	44
CONCLUSION GENERALE :	45
Résumé :	48
Abstract:	49

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Basic rules of the FL controller.....	35
Tableau 2 : Caractéristiques électriques du module PV.....	39

Liste des figures :

Figure 1 : Structure basique d'une cellule solaire	6
Figure 2 : Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque	7
Figure 3 : Les principales technologies des cellules solaires PV	9
Figure 4 : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.....	10
Figure 5 : Systèmes photovoltaïque autonome simple DC	14
Figure 6 : Systèmes photovoltaïque autonome simple AC.....	15
Figure 7 : Systèmes photovoltaïque autonome complexe DC.....	15
Figure 8 : Systèmes photovoltaïque autonome complexe AC.....	16
Figure 9 : Systèmes photovoltaïque connectés au réseau	17
Figure 10 : Etage d'adaptation d'impédance	20
Figure 11 : Connexion GPV-charge à travers un convertisseur DC/DC muni d'une commande MPPT	20
Figure 12 : Circuit électrique du convertisseur BOOST	22
Figure 13 : Circuit électrique du convertisseur Buck	22
Figure 14 : Circuit électrique du convertisseur Buck-boost.....	24
Figure 15 : Algorithme P&O	32
Figure 16 : Algorithme IC	32
Figure 17 : Schéma sous MATLAB/SIMULINK du système PV avec la commande P&O.....	38
Figure 18 : Modèle Simulink du module PV.....	39
Figure 19 : Caractéristiques du module MSX 60 pour différents éclairagements et une température fixe de 25 °C.....	40
Figure 20 : Caractéristiques du module MSX 60 pour différentes températures et un éclairagement de 1000 W/m ²	41
Figure 21 : Résultats de simulation pour les conditions STC.....	41
Figure 22 : Evolution de l'éclaircement.....	42
Figure 23 : Résultats de simulation avec éclairagement variable et température constante	42
Figure 24 : Evolution du rapport cyclique D.....	42
Figure 25 : Evolution de la température.....	43
Figure 26 : Résultats de simulation avec éclairagement constant et température variable	43
Figure 27 : Résultats de simulation avec éclairagement variable et température variable.....	44

Liste des abréviations :

P&O : Perturbation et Observation

DC : Courant continue

AC : Courant alternatif

MPPT : Point de puissance maximal

PV : Photovoltaïque

I_s : Courant de saturation en Ampère (A)

V_{th} : Le potentiel thermique en Volt (V)

V_s : La tension de seuil (V)

K : La constante de Boltzmann ($1.38066 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.61400 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$).

T: La température absolue en Kelvin (K).

q : La charge absolue d'un électron en coulomb ($1.60281 \times 10^{-19} \text{ C}$).

GPV : Générateur photovoltaïque.

PPM : Point de puissance maximale.

IC : Conductance Incrémental.

FL : Logique flou.

n : le facteur de qualité de la diode.

CS : Convertisseur statique.

Obs : Obscurité.

INTRODUCTION GENERALE :

Selon l'agence internationale de l'énergie (AIE), la consommation de pétrole dans le monde croit-elle de manière non négligeable. Ainsi, en 2019, elle était portée à 100.3 millions de barils par jour, soit un million de plus que l'année précédente, et la consommation mondiale de gaz naturel avait progressé de 1.8 % par rapport au niveau de 2018, et pour la consommation de charbon a augmenté de 65% entre 2000 et 2018.

La combustion d'énergie fossile engendre des problèmes écologiques insurmontables et de plus en plus graves ; le réchauffement climatique (dont environ 70% résulte de notre consommation d'énergies fossiles) qui trouve sa cause dans la production de gaz à effet de serre et la pollution qui augmente sans cesse depuis 100 ans, plus l'augmentation du coût et la limitation de leurs ressources.

Pour limiter l'utilisation ce type d'énergie, il faudra utiliser l'avantage des énergies renouvelables qui se révèlent aujourd'hui, comme sources de production d'électricité vitales, obtenues à partir des gisements inépuisables telle que : le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau ou encore les marées.

Dans ce contexte général, notre étude s'intéresse à la filière photovoltaïque (PV) qui semble une des plus prometteuses avec un taux de croissance mondial très élevé et qui devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution de l'environnement et durable et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. L'énergie solaire photovoltaïque se développe très rapidement, elle est de nature multidisciplinaire, impliquant la mécanique, l'électronique de puissance, l'automatique et d'autres filières.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées, elle se caractérise par la facilité de mise en œuvre, son faible impact environnemental et le peu d'entretien qu'elle nécessite. Elle consiste à convertir directement la lumière en électricité grâce à des cellules solaires, l'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. La caractéristique électrique des cellules PV est de nature non linéaire possédant un point particulier appelé « Point de Puissance Maximale » (en anglais "Maximum Power Point" MPP). Ce point est le point de fonctionnement optimal pour lequel le panneau opère à sa puissance maximale, il dépend du changement des conditions climatiques, d'où la nécessité

d'une technique de poursuite continue de ce point, pour cela plusieurs techniques de poursuite du point de puissance maximale (MPPT) ont été proposées.

Le but de notre travail est de montrer les différents algorithmes MPPT, qui permet d'extraire le maximum de puissance disponible sur le générateur photovoltaïque (GPV), donc améliorer le rendement de la chaîne de conversion.

Afin de mener à bien notre travail nous avons adopté la méthodologie suivante :

Dans le premier chapitre, nous allons faire un rappel sur l'histoire de la cellule photovoltaïque et définir la cellule photovoltaïque suivi d'une explication sur son fonctionnement par la suite nous allons approfondir notre recherche par la présentation de ses différents types de technologies ainsi que sa modélisation, nous terminons ce chapitre par la présentation de circuit électrique équivalent.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons les chaînes de conversions photovoltaïques dans ses différentes structures existantes ainsi que les avantages et inconvénients de l'énergie PV. Par la suite on va traiter le concept d'optimisation de l'énergie et la solution d'extraire le maximum de puissance via un étage d'adaptation d'impédance. Ce dernier est un convertisseur statique DC-DC qui permet de relier aisément un générateur photovoltaïque (GPV) à une charge et qui sera contrôlé par la commande MPPT. Les diverses structures des convertisseurs DC-DC sont illustrées avant de terminer par la notion de rendement de la chaîne de conversion.

Dans le troisième chapitre, nous parlons sur le principe de la commande de recherche du point de puissance maximal MPPT avec ces critères de qualité, ensuite les classifications de ces commandes, on termine par une étude explicative de quelques méthodes MPPT : Perturbation et observation ; Incrémentale de conductance ; Mode glissant et Logique floue.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons des simulations sous l'environnement MATLAB/SIMULINK d'un système photovoltaïque comportant un convertisseur élévateur de tension commandé par la technique MPPT de type P&O et une charge résistive. Différents scénarios de variation des conditions météorologiques (éclaircissements, température) sont pris en considération.

A la fin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 1 : Cellule photovoltaïque

CHAPITRE 1

I. Introduction :

La lumière du soleil diffusée sur l'ensemble du globe terrestre est une source énergétique illimitée et est supérieure de plusieurs milliers de fois la consommation mondiale en énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche à bénéficier de cette énergie importante depuis longtemps. Dernièrement, l'homme a pu fabriquer la cellule photovoltaïque qui permet la conversion directe de la lumière du soleil en électricité. L'appellation photovoltaïque vient du mot Grec, **Photos** qui veut dire lumière, et **Volt**, unité de la tension électrique, provient du nom Alessandro volta.

Dans ce chapitre, on présente globalement l'histoire de la cellule PV et sa définition, ainsi que son principe de fonctionnement. De même, on présente les différents types de technologies de cellule PV et on décrira une modélisation mathématique tout en montrant l'influence de l'ensoleillement et de la température sur la cellule PV.

II. Historique :

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

En 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

En 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

En 1905, Einstein découvrit que l'énergie de ces quanta de lumière est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique. L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante. Le domaine spatial a besoin d'une énergie sans combustible embarqué. La recherche s'intensifie sur le photovoltaïque.

En 1954 : Trois chercheurs américains, Chaplin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites. Ces chercheurs ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

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

En 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

En 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

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

III. Définition d'une cellule solaire PV

La cellule PV ou photopile est l'élément de base d'un panneau solaire. Les cellules PV sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, la plupart sont en silicium même si d'autres matériaux sont également utilisés. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin, un semi-conducteur. Une des faces de la cellule est dopée **n** (par exemple du phosphore). L'autre est dopée **p** (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique.

La 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 photovoltaïques sont constituées :

- d'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne,
- d'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires,
- d'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode,
- les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement. [1]

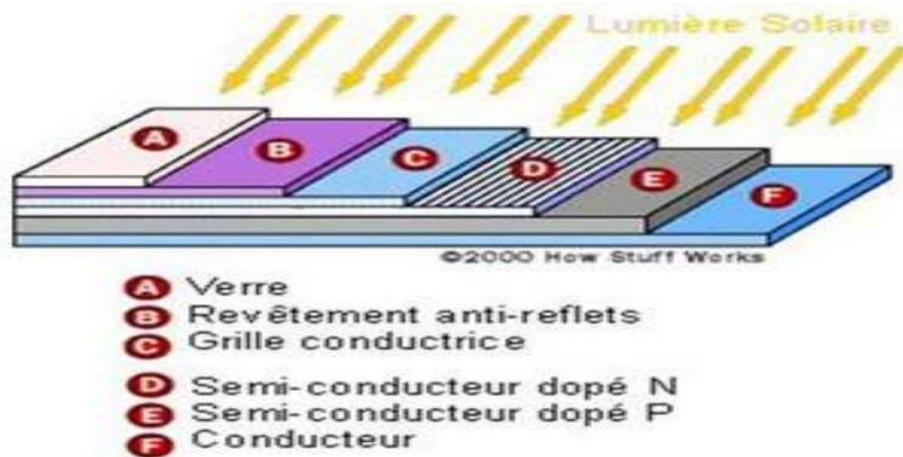


Figure 1 : Structure basique d'une cellule solaire

IV. Principe de fonctionnement d'une cellule PV :

La cellule PV est un dispositif élémentaire qui permet de convertir la lumière du soleil en énergie électrique à base de trois étapes suivantes :

- Absorption des photons ayant une énergie supérieure au gap par le matériau qui constitue la cellule.
- Création de paires électron /trou dans le matériau semi-conducteur.
- Collecte des particules libres générées dans le dispositif.

Le matériau constituant la cellule PV doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie PV. Afin de collecter les particules générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électron/trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN d'autres structures, comme les hétérojonctions et les Schottky peuvent également être utilisées.

Le fonctionnement des cellules PV est illustré sur la **figure 2**

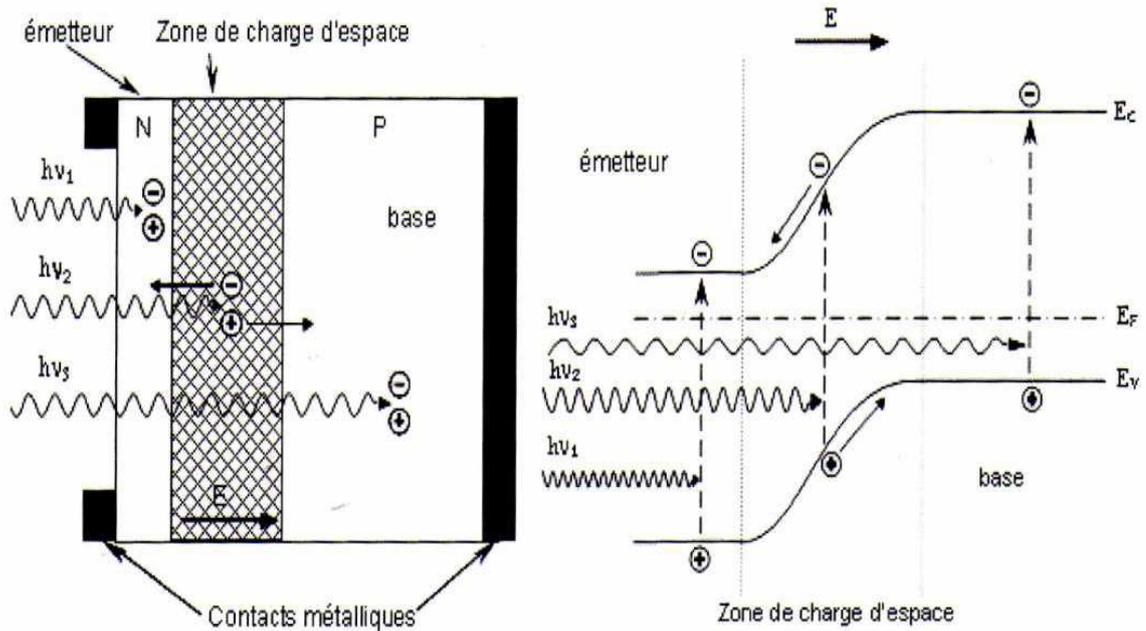


Figure 2 : Structure (gauche) et diagramme de bande (droite) d'une cellule photovoltaïque
 Les photons incidents créent des porteurs dans les zones N et P et dans la zone de charge d'espace. Les photo-porteurs auront un comportement différent suivant la région :

- Dans la zone N ou P, les porteurs minoritaires qui atteignent la zone de charge d'espace sont "envoyés" par le champ électrique dans la zone P (pour les trous) ou dans la zone N (pour les électrons) où ils seront majoritaires. On aura un photocourant de diffusion
- Dans la zone de charge d'espace, les paires électrons/ trou créées par les photons incidents sont dissociées par le champ électrique : les électrons vont aller vers la région N, les trous vers la région P. On aura un photocourant de génération [2].

V. Divers technologies des cellules PV:

Trois grandes familles de cellules PV sont à distinguer :

1. Les cellules au silicium cristallin :

Au cours des dernières décennies, le silicium a été presque le seul matériau utilisé pour fabriquer des cellules solaires. Le silicium est si populaire car il est l'un des matériaux les plus abondants de la croûte terrestre, sous forme de dioxyde de silicium, et il n'est pas toxique. Bien que plus ancienne, cette technologie représente encore 90 % des parts de marché, ayant un rendement allant de 12 à 20 % pour une durée de vie de 30 ans environ. Les cellules solaires au silicium monocristallin et polycristallin sont les deux principaux types de cellules

solaires au silicium. Il existe un troisième type, le silicium amorphe, mais son efficacité est moins qu'avec les types précédents, il est donc moins utilisé.

2. Les cellules monocristallines:

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12- 16% ; jusqu'à 23% en laboratoire), mais aussi celle qui ont le coup le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

3. Les cellules polycristallines:

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible: 11% - 13% (18% en laboratoire).

4. Les cellules amorphes:

Elles ont un faible rendement (8% - 10% ; 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 des calculatrices solaires ou encore des montres.

5. Les cellules à base de couches minces :

Qui ont en commun le procédé de dépôt du matériau semi-conducteur à faible épaisseur sur des substrats variés et donnant un aspect uni, produisant des modules de rendement légèrement inférieur (de 7 à 13 %). La part de marché pour l'ensemble de ces technologies est d'environ 10 % et reste relativement stable : ces filières ont perdu l'avantage de leur moindre coût de production avec les investissements massifs consentis dans le silicium au début des années 2000.

6. Les cellules à base de photovoltaïque organique :

Segment sur lequel la recherche s'intensifie dans la perspective de produire des cellules à très bas coût pour des applications nouvelles. Leur principe de fonctionnement est basé sur les cellules à colorant de Michaël Grätzel avec des variations sur le type de matériaux utilisés. Avec des rendements de l'ordre de 3 à 5 %, leur point faible reste aujourd'hui encore leur durée de vie limitée.

Enfin, la famille des hybrides présentée sur l'illustration ci-dessous (Figure 3) rassemble les cellules mettant en présence des technologies de natures différentes pour atteindre des rendements optimisés. [3]

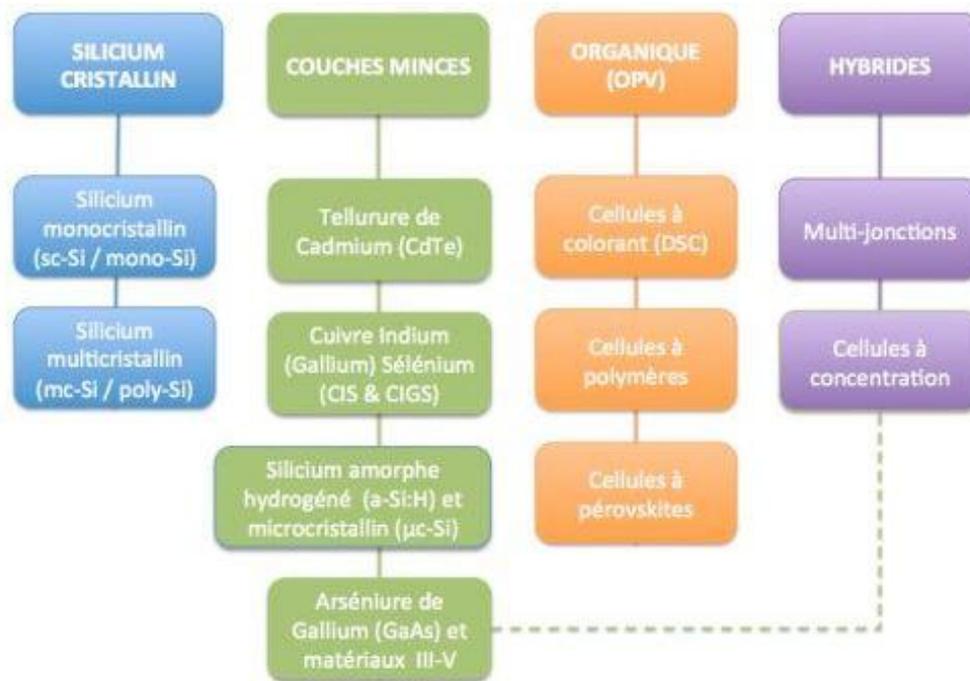


Figure 3 : Les principales technologies des cellules solaires PV

VI. Circuit électrique équivalent de la cellule PV :

La modélisation de la cellule PV passe nécessairement par le choix d'un circuit électrique équivalent. Plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter un comportement fortement non linéaire, résultant de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant photovoltaïque. Parmi ces modèles, on peut citer : modèle à une diode, modèle à deux diodes, et modèle à trois diodes. Tous les modèles sont basés sur l'équation de diode bien connue de Shockley. [4]

Le circuit équivalent d'un système électrique est fréquemment utilisé afin de décrire son comportement électrique à l'aide de composants électriques élémentaires (source, résistance, diode, bobine, condensateur, etc.). L'expérience montre qu'à l'obscurité, une cellule solaire suit le comportement d'une diode classique, elle commence à conduire lorsque la tension appliquée est supérieure à la tension de seuil V_s . Dans le cas d'une cellule idéale à l'obscurité, caractéristique (I.1) peut être représenté par la relation suivant :

$$I_{obs} = I_s \left[\exp\left(\frac{V}{nV_{th}}\right) - 1 \right] \quad (I.1)$$

Où

I_s est le courant de saturation en Ampère (A) ; n le facteur de qualité de la diode; sans dimension.

V_{th} est le potentiel thermique en Volt (V) ; il est donné par :

$$V_{th} = \frac{KT}{q} \quad (I.2)$$

Avec :

K : La constante de Boltzmann ($1.38066 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8.61400 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$).

T : La température absolue en Kelvin (**K**).

q : La charge absolue d'un électron en coulomb ($1.60281 \times 10^{-19} \text{ C}$).

Sous éclairage, un terme I_{ph} , tenant compte du photo-courant généré est rajouté, On obtient le circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale sous éclairage qui est représenté par l'équation suivante [5] :

$$I = I_{ph} - I_{obs} = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V}{nV_{th}}\right) - 1 \right] \quad (I.3)$$

Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, d'autres paramètres tenant compte des effets résistifs et des fuites vers les bords; qu'ils doivent être pris en considération et l'équation de la caractéristique (I.4) devient alors [5] :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V+IR_s}{nV_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

Et par conséquent le schéma équivalent d'une cellule solaire réelle est représenté sur la figure (4) par un générateur de courant (I_{ph}), une diode et deux résistances parasites (R_s) et (R_{sh}). Elle est liée à l'impédance des électrodes et du matériau; il en résulte que la tension V aux bornes de la cellule est différente de la tension aux bornes de la jonction Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule. [6]

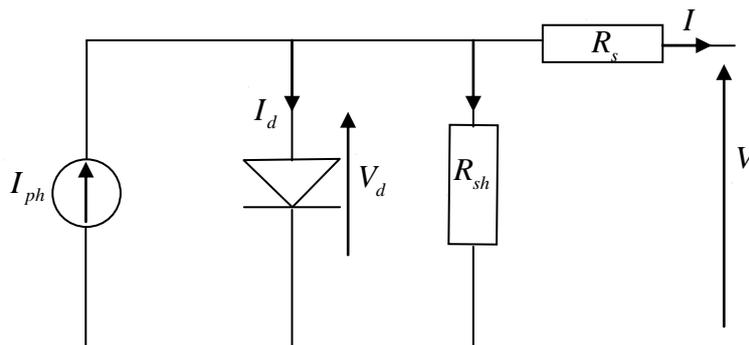


Figure 4 : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire.

- Le générateur du courant (I_{ph}): il délivre le courant I_{ph} correspondant au courant photogène.
- La diode (D) : modélise la jonction P-N.
- La résistance série R_s : modélise les pertes résistives au sein de la photopile.
- La résistance shunt (parallèle) R_{sh} : correspond à une résistance de fuite entre les deux zones N et P de la jonction; il en résulte qu'une partie du courant I_{ph} sera dérivée par cette résistance et ne pourra être délivrée à la charge. Cette résistance devra être la plus élevée possible. [1]

VII. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur la cellule photovoltaïque, à savoir l'explication de l'effet photovoltaïque, la structure et le principe de fonctionnement de la cellule, ainsi que son circuit équivalent correspondant au modèle à une diode.

CHAPITRE 2 : CHAINE DE CONVERSION PHOTOVOLATAIQUE

CHAPITRE 2

I. Introduction

Le soleil est un réacteur de fusion nucléaire qui fonctionne depuis 5 milliards d'années, en transformant de l'hydrogène en hélium il émet une énorme énergie dans l'espace, cette énergie peut être récupérée et utilisée sous forme thermique ou électrique.

L'énergie solaire PV résulte de la conversion d'un rayonnement lumineux en énergie électrique à courant continu par le biais des dispositifs optoélectroniques appropriés dites « cellules solaires » ou « photopiles » et l'association de plusieurs de ces cellules en série ou en parallèle donne ce qu'on appelle un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant tension I-V non linéaire et présente un seul point de puissance maximale (PPM). Un système PV ou chaîne de conversion PV est un ensemble d'éléments qui sert à la production d'électricité utile à partir du rayonnement solaire.

Dans ce chapitre on va parler des divers types de système PV avec les différents éléments qui les constituent, on cite les avantages et les inconvénients de l'énergie PV, et ensuite on va présenter les méthodes d'optimisation de l'énergie avec les différents dispositifs nécessaires pour l'extraction du maximum de puissance et pour avoir un bon rendement énergétique.

II. Systèmes de conversion photovoltaïques :

- **Système autonome :**

1. **Système autonome sans batterie :**

C'est un système qui peut fonctionner sans avoir besoin de dispositifs de stockage d'électricité, par exemple si la production d'énergie des cellules est suffisante sous un éclairage faible (cas d'une calculatrice) ou si le temps de fonctionnement de la charge est petit (cas d'une pompe à eau). [6]

2. **Système autonome avec batterie :**

Un système PV autonome est un système qui peut alimenter les utilisateurs en électricité sans avoir besoin de se connecter au réseau électrique. C'est un moyen le plus pratique pour électrifier les maisons ou autres en site isolé, sur des îles ; ou en montagne. Vu que la lumière du soleil est intermittente un système de stockage d'énergie est indispensable. La batterie se

charge le jour et sert de stockage, l'alimentation des applications se fait par l'intermédiaire d'un régulateur de charge pour éviter la surcharge. De plus, la plus part d'appareils fonctionnent en courant alternatif, par contre le courant généré par les modules PV est en continu, alors il y a une nécessité de la convertir via un onduleur.

Les différents types d'installation autonome peuvent aller de 1 panneau couplé avec 1 régulateur de charge et 1 batterie à des systèmes de plusieurs KW, tout cela dépend du type et de la quantité de consommateurs que l'on veut utiliser ;

a) Simple DC :

Un système PV autonome simple est généralement composé de : 1 ou plusieurs panneaux PV, 1 ou plusieurs batterie 12 Vdc +protection, 1 régulateur de charge DC sur une charge fonctionnant en courant continu DC

Exemple : Eclairage- Enseignes Lumineuses

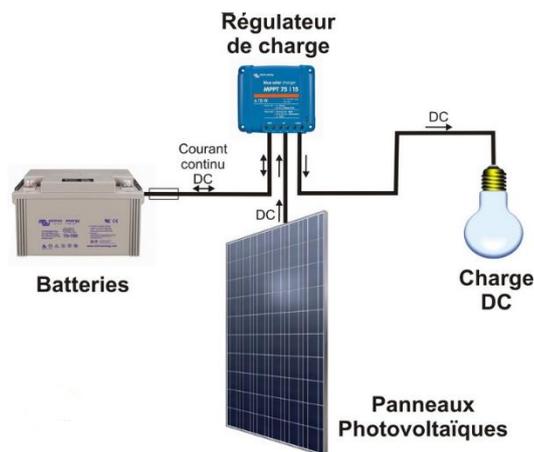


Figure 5 : Systèmes photovoltaïque autonome simple DC

b) Simple AC :

Un système PV autonome simple est généralement composé de : 1 ou plusieurs panneaux PV, 1 ou plusieurs batterie 12 Vdc+protection, 1 régulateur de charge DC, 1 convertisseur permettant d'obtenir du 230 Vac sur une charge fonctionnant en courant alternatif AC.

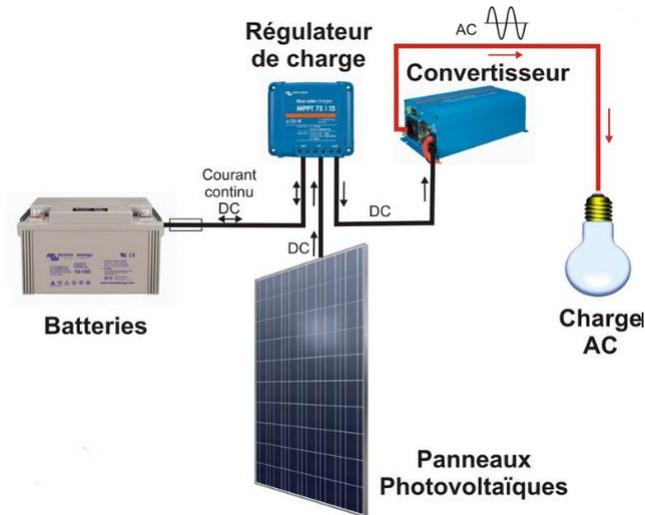


Figure 6 : Systèmes photovoltaïque autonome simple AC

c) Complexe DC :

Dans un système complexe DC, l'énergie solaire est convertie en courant DC, de taille pouvant atteindre quelques KWc il est généralement composé de :

Plusieurs panneaux PV, Plusieurs batterie 12Vdc+protection, 1 régulateur de charge DC, 1 convertisseur permettant d'obtenir du 230 Vac, Eventuellement un générateur auxiliaire (groupe électrogène...) permettant de pallier le manque de soleil dans la saison hivernale sur une charge fonctionnant, soit en courant continu soit en courant alternatif.

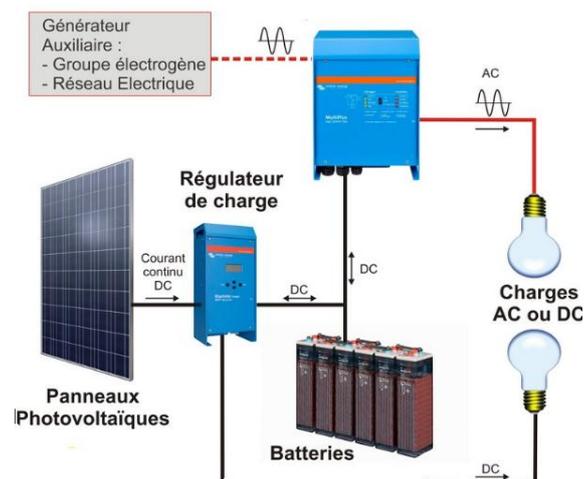


Figure 7 : Systèmes photovoltaïque autonome complexe DC

d) Complexe AC :

Dans un système complexe AC, l'énergie solaire est convertie en courant AC avec le même type d'onduleur que ceux utilisés pour les raccordements au réseau. Pour de grandes installations, il est plus efficace de convertir directement l'énergie solaire en courant alternatif de taille pouvant atteindre plusieurs KW il est généralement composé de:

Plusieurs KWc de panneaux PV utilisés pour le raccordement réseau, Plusieurs KVA de batterie 12 Vdc+protection ,1 ou plusieurs onduleurs réseau. Eventuellement un générateur auxiliaire (groupe électrogène..) permettant de pallier le manque de soleil les mois d'hiver.

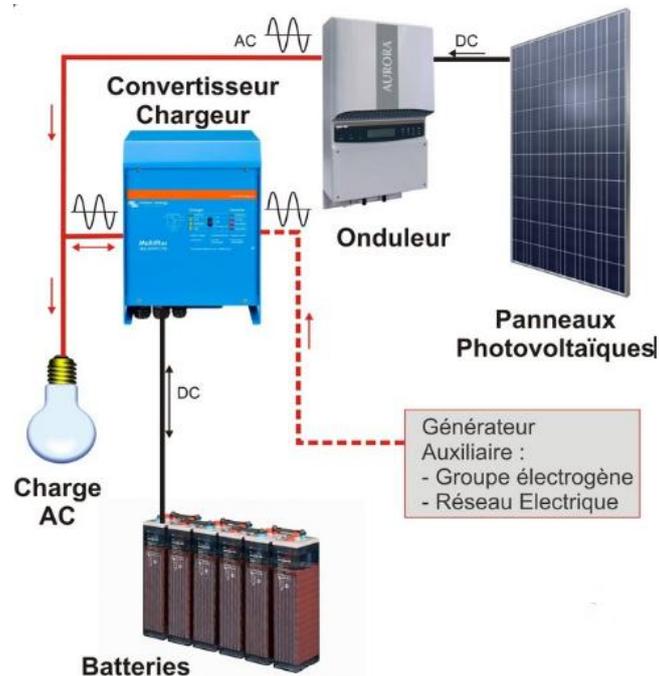


Figure 8 : Systèmes photovoltaïque autonome complexe AC

3. Système connecté au réseau :

C'est un système couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Ce type de système offre beaucoup de facilité pour producteur/consommateur puisque c'est le réseau qui est chargé de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité et de satisfaire les besoins énergétiques des particuliers, des entreprises, des administrations et des services publics.

Les systèmes connectés à un réseau réduisent la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Il produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie, C'est en fait le réseau dans son ensemble qui

sert de réservoir d'énergie.

Dans ce système connecté au réseau, il est impératif de convertir le courant continu produit par le système PV en courant alternatif synchronisé avec le réseau. Pour effectuer cette conversion, on utilise un onduleur conçu spécifiquement pour les applications photovoltaïques; L'onduleur possède également une fonction de découplage du réseau qui empêche d'injecter du courant sur le réseau lorsque celui-ci n'est pas en fonctionnement et une fonction de protection contre les surtensions. [6]

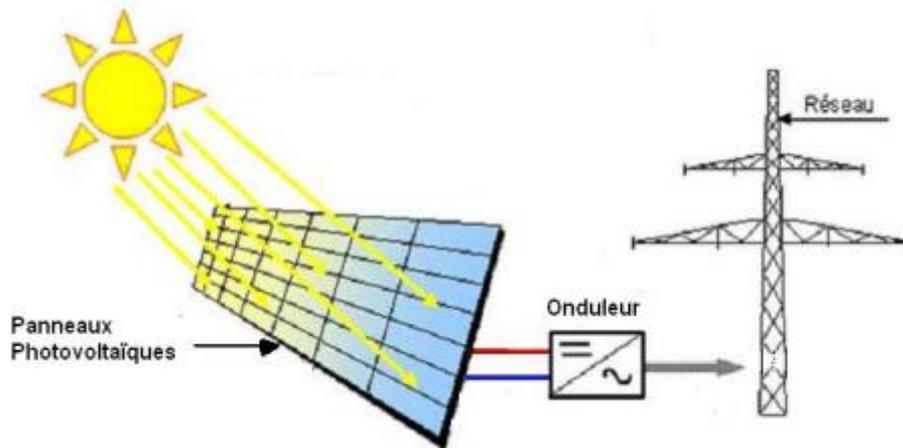


Figure 9 : Systèmes photovoltaïque connectés au réseau

- **Système hybride:**

Un système hybride est un système électrique multi-sources qui combine et exploite plusieurs sources à la fois. Il s'agit de l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue.

Les journées ensoleillées sont en général caractérisées par un vent faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit. Un système hybride peut être connecté au réseau ou autonome. Plusieurs classifications de systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi :

1. **Système hybride basé uniquement sur les énergies renouvelables:**

Dans ce type de systèmes on associe deux ou plusieurs sources renouvelables généralement complémentaires. Par exemple, un système hybride PV-Eolien, on remarque que les deux

sources sont complémentaires, les panneaux solaires fournissent de l'énergie la journée en présence de l'éclairage et les éoliennes la produisent la nuit en présence du vent.

2. Système hybride associant une ou plusieurs énergies renouvelables avec unité de secours :

Vu l'intermittence des ressources renouvelables, des unités d'alimentation de secours sont généralement intégrées comme le générateur diesel, la micro turbine à gaz et les piles à combustible pour avoir une alimentation sans interruption et permanente. Ce type de système peut associer plusieurs types de sources d'énergies à fin de construire un système plus puissant plus fiable et plus sécurisé. Le fameux système inclut dans cette catégorie est le système hybride éolien photovoltaïque diesel.

3. Système hybride à base d'énergie renouvelable avec un système de stockage :

L'association des batteries de stockage d'énergie avec des sources d'énergies renouvelables peuvent assurer la fiabilité et la sécurité du système de production d'énergie décentralisée, tout en maximisant les avantages provenant de sources renouvelables. [6]

III. Les avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- **Avantage :**

- L'énergie du soleil est une source renouvelable, sans bruit et respectant l'environnement.
- Les frais et les risques de transport des énergies fossiles sont éliminés.
- Le cout d'exploitation et d'entretien des modules PV sont presque négligeables.
- Caractère modulaire de panneaux PV permet un montage adaptable à des besoins énergétiques variés ; les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications allant du Milliwatt au Mégawatt.
- Favorable pour les sites isolés ou l'accès au réseau électrique est difficile ;
- Une haute fiabilité car l'installation ne comporte pas de pièces mobiles,
- Ils peuvent résister à des conditions atmosphériques pénibles comme la neige et la glace.

- Ils n'ont besoin d'aucun raccordement à une autre source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant, ils peuvent aussi être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité du système.

- **Inconvénients :**

- La performance des systèmes PV dépend généralement des conditions météorologiques.
- Les systèmes PV doivent être conçus et installés par des techniciens car toute erreur de conception ou de réalisation conduirait à créer une installation d'un rendement inférieur à celui des solutions alternatives.
- L'énergie issue du générateur PV est continue et de faible tension ce qui rend l'association des convertisseurs statiques nécessaire.
- La fabrication des modules PV relève de la haute technologie, ce qui rend le coût très élevé.
- Les générateurs PV ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- La nécessité de systèmes de stockage parce que généralement les heures de production ne coïncident pas avec les heures d'utilisation.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).

IV. Optimisation énergétique du système photovoltaïque:

Le GPV présente des caractéristiques I-V non linéaires. Le point de puissance maximum (PPM) se situe au sommet de la caractéristique P-V et dépend de l'éclairement et de la température. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, on peut trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe.

Dans le but d'extraire le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, il est nécessaire d'introduire un étage d'adaptation entre le GPV et sa charge DC comme décrit sur la figure 10.

$$P_{max} = V_{opt} \cdot I_{opt} \quad (II.1)$$

Où V_{opt} et I_{opt} représentent respectivement les tensions et les courants optimaux du GPV.

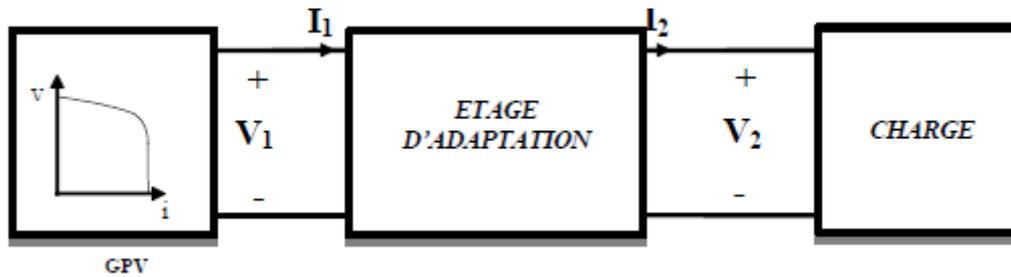


Figure 10 : Etage d'adaptation d'impédance

L'étage d'adaptation qui sert d'interface entre le GPV et la charge peut être constitué d'un ou plusieurs convertisseurs statiques : [9]

- Un convertisseur DC/DC qui permet d'extraire la puissance maximale issue des panneaux PV. Ce convertisseur est donc muni d'un algorithme de recherche de type MPPT (Maximum Power Point Tracker)
- Un convertisseur DC/AC qui permet de convertir la puissance maximum, extraite des panneaux, en puissance alternative et permet la synchronisation avec le réseau. Cela permet d'assurer les fonctions suivantes :
 - adapter les niveaux des tensions entre la source et la charge dans de grandes proportions si nécessaire (convertisseur Buck, Boost,...),
 - introduire une isolation galvanique (convertisseur Flyback, Forward,...),
 - connecter une charge avec des besoins d'alimentation de type alternative (onduleur).

La figure 11 présente le schéma de principe d'un système PV doté d'un étage d'adaptation d'impédance. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT qui lui permet de suivre le PPM à tout instant.

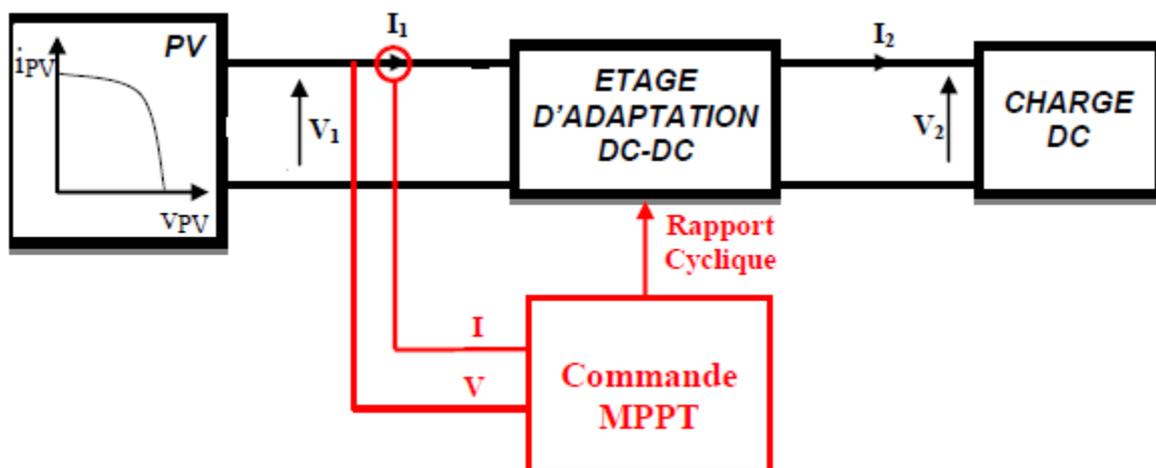


Figure 11 : Connexion GPV-charge à travers un convertisseur DC/DC muni d'une commande MPPT

V. Adaptations par le convertisseur DC-DC pour les systèmes d'énergie PV :

Les convertisseurs DC-DC ou hacheurs sont des dispositifs d'électronique de puissance qui permettent la conversion d'une tension continue fixe vers une tension continue réglable. Le réglage se fait par la variation du rapport cyclique du convertisseur à l'aide d'une commande appropriée. Ils sont utilisés dans les systèmes PV pour générer les tensions et les courants souhaités ainsi pour adapter la source continue du panneau PV avec différentes charges pour effectuer le transfert de la puissance maximale.

Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide de l'interrupteur électronique. Les convertisseurs DC-DC ont un bon rendement car; ils sont composés de plusieurs dispositifs (condensateurs, inductance, commutateurs) qui ne consomment aucune puissance active. Les convertisseurs DC-DC admettent plusieurs topologies. Ils sont classés par catégorie selon la topologie isolée ou non isolée.

- **Non isolés de la source : Trois configurations de base sont :**
 - Convertisseur abaisseur « BUCK »
 - Convertisseur élévateur « BOOST ».
 - Convertisseur abaisseur-élévateur « BUCK-BOOST ».
 - On peut trouver aussi : Convertisseur «SEPIC» ou Convertisseur «CUK».
- **Isolés de la source : Comme le convertisseur Flyback ou Forward.**

Ci-après on va présenter les trois configurations non isolés de base:

1. Le convertisseur BOOST (parallèle/élévateur) :

Il est dit élévateur de tension du fait que sa tension de sortie est plus grande que sa tension d'entrée, il est dit aussi convertisseur parallèle du fait qu'il est composé d'un interrupteur commandable K (IGBT ou MOSFET) en parallèle avec la source. t. l'interrupteur K est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion (MLI) de période de découpage fixe Td et de rapport cyclique variable α . La conduction de la diode D et de l'interrupteur K est complémentaire, quand K est fermé, D ouvert ; et quand K est ouvert, D sera fermé.

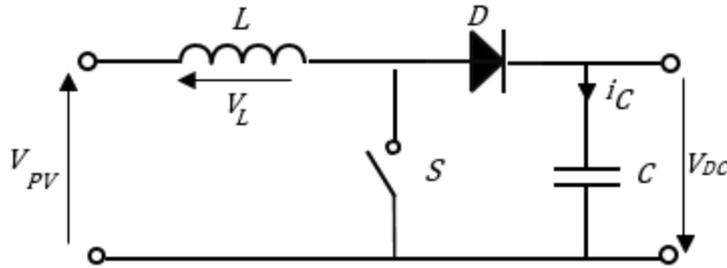


Figure 12 : Circuit électrique du convertisseur BOOST

Le fonctionnement d'un convertisseur BOOST peut être divisé en deux modes distinctes selon l'état de l'interrupteur :

a) Premier mode:

Quand ($0 < t < \alpha T$), l'interrupteur commandé K fermé et la diode D ouverte, cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance, donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.

b) Second mode:

Quand ($\alpha T < t < T$), K ouvert, D fermée, l'inductance se trouve en série avec le générateur et sa force électromotrice (f.é.m.) s'additionne à celle du générateur. Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D , le condensateur C et la charge R .

$$V_{PV} = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T v_{PV} dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_{DC} dt = (1 - \alpha) V_{DC} \rightarrow \frac{V_{DC}}{V_{PV}} = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (\text{II.2})$$

2. Convertisseur Buck (série/abaisseur):

C'est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur plus faible $V_{out} < V_{in}$.

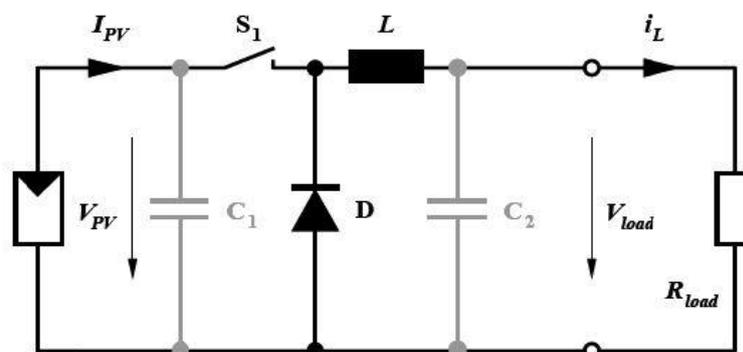


Figure 13 : Circuit électrique du convertisseur Buck

Le cycle de fonctionnement comporte aussi deux modes:

a) Premier mode :

Dans l'intervalle ($0 < t < \alpha T$), on ferme l'interrupteur et la diode est polarisée en inverse (bloquée). La source V_{PV} fournit de l'énergie à la charge et à l'inductance.

b) Second mode :

Dans l'intervalle ($\alpha T < t < T$), on ouvre l'interrupteur. La diode devient passante car l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D.

La relation entre la tension d'entrée et celle de sortie est la suivante :

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} v_{DC} dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_{PV} dt = \alpha V_{PV} \rightarrow \frac{V_{DC}}{V_{PV}} = \alpha \quad (\text{II.3})$$

3. Convertisseur Buck-Boost (dévolteur-survolteur) :

Il combine les propriétés des deux convertisseurs précédents donc il permet d'avoir une tension continue supérieur ou inférieur à la tension d'entrée qui est fixe. Le cycle de fonctionnement comporte toujours deux modes:

a) Premier mode:

($0 < t < \alpha T$), l'interrupteur commandé est fermé. La diode n'est pas passante et l'inductance stocke l'énergie fournie par le générateur d'entrée.

b) Second mode:

($\alpha T < t < T$): on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. L'inductance restitue son énergie à la charge. En conduction continue et sachant que la valeur moyenne aux bornes de l'inductance est nulle, on a :

$$\alpha T \cdot V_{PV} = (1 - \alpha)T \cdot V_{DC} \rightarrow \frac{V_{DC}}{V_{PV}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (\text{II.4})$$

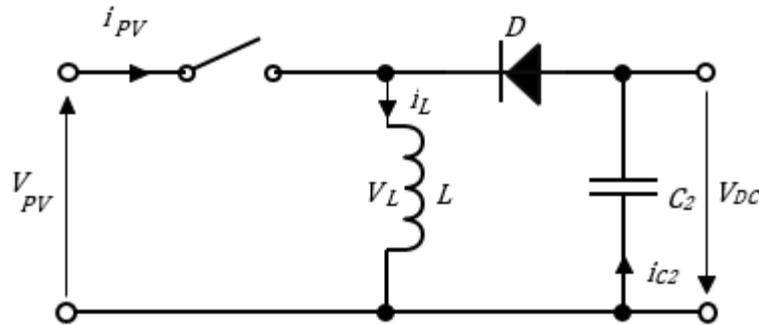


Figure 14 : Circuit électrique du convertisseur Buck-boost.

Suivant la valeur du rapport cyclique α , la tension moyenne de sortie peut être supérieure ou inférieure à la tension d'entrée :

- Lorsque $\alpha > 0.5$, le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur boost (élevateur).
- Lorsque $\alpha < 0.5$, le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur buck (abaisseur).

VI. Le rendement de conversion d'une cellule PV :

Soit un panneau solaire de surface effective A_{eff} qui reçoit un éclairement G (puissance lumineuse reçue par unité de surface) délivrant une puissance P_{PV} . Le rendement caractérisant le taux de conversion photons-électrons de ce panneau est : [10]

$$\eta_{PV} = \frac{P_{PV}}{G \cdot A_{eff}} \quad (\text{II.5})$$

Le rendement global de conversion d'énergie des photons en électrons correspond au rapport entre la puissance électrique effectivement délivrée par les cellules PV lorsqu'elles sont éclairées par un éclairement connu et normé sur la quantité d'énergie équivalente électrique reçue.

Le rendement maximum de la conversion photons-électrons du panneau solaire noté $\eta_{PV_{max}}$ est défini selon l'équation :

$$\eta_{PV_{max}} = \frac{P_{PV_{max}}}{G \cdot A_{eff}} \quad (\text{II.6})$$

$P_{PV_{max}}$: est le maximum de puissance potentiellement disponible à la sortie du panneau PV

Les rendements η_{PV} et $\eta_{PV_{max}}$ dépendent du matériau de conversion utilisé et des pertes liées à la technologie mise en œuvre pour réaliser une cellule.

Parmi les matériaux les plus utilisés. On trouve le Silicium (*Si*) sous diverses formes cristallines (monocristallin poly cristallin ou bien amorphe). Les rendements $\eta_{PV_{max}}$ les plus courants des modules PV actuellement commercialisés sont de l'ordre de :

- 12,7% pour le silicium amorphe hydrogéné.
- 15% pour le silicium multi cristallin.
- 23% pour le silicium monocristallin.

- **Rendement d'une chaîne de conversion de Puissance :**

Le rendement total de la chaîne de conversion η_{total} est défini comme le produit de trois rendements :

Le rendement du convertisseur noté η_{conv} généralement fourni par les documents constructeurs par la relation $\eta_{conv} = \frac{P_{out}}{P_{PV}}$ en notant P_{out} la puissance délivrée en sortie du convertisseur.

Le rendement de la commande MPPT $\eta_{MPPT} = \frac{P_{PV}}{P_{PV_{max}}}$ qui permet de mesurer l'efficacité de la commande permettant de forcer le point de fonctionnement du générateur PV au plus près du point optimal.

$P_{PV_{max}}$: Dépendant des paramètres physiques du panneau et des conditions météorologiques

P_{PV} : La puissance effectivement délivrée par un générateur PV dépendant de la présence d'une commande utilisée dans le convertisseur (MPPT, asservissement de tension, etc...).

Le rendement maximum de la conversion photons-électrons $\eta_{PV_{max}}$

$$\eta_{total} = \eta_{PV_{max}} \eta_{MPPT} \eta_{conv} = \frac{P_{PV_{max}}}{G \cdot A_{eff}} \cdot \frac{P_{PV}}{P_{PV_{max}}} \cdot \frac{P_{out}}{P_{PV}} \quad (\text{II.7})$$

VII. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents systèmes PV, qui peuvent être divisés en trois catégories : autonome, raccordé au réseau et hybride. Par la suite on a cité les avantages et les inconvénients de l'énergie PV.

On a traité la problématique d'optimisation de l'énergie photovoltaïque qu'on peut résoudre par l'insertion d'un étage d'adaptation d'impédance entre le GPV et la charge. Cet étage n'est autre qu'un convertisseur statique DC-DC doté d'une commande MPPT qui oblige le GPV à

fonctionner toujours à sa puissance maximale quelle que soit les conditions de charge et météorologique.

On a terminé ce chapitre par une explication du rendement de la chaîne de conversion, qui nous permet d'avoir une idée plus précise sur l'origine des pertes afin d'intervenir pour l'améliorer.

Le prochain chapitre sera consacré à la présentation du principe de fonctionnement de la commande MPPT et les différents algorithmes d'optimisation, pour une extraction maximale de la puissance photovoltaïque

CHAPITRE 3 : LES COMMANDES MPPT

CHAPITRE 3

I. Introduction :

On a montré dans le chapitre précédent le rôle et le fonctionnement de l'étage d'adaptation qui comprend un ou plusieurs convertisseurs statiques pour transformer les grandeurs électriques continues en grandeurs adaptées à la charge. Cet étage n'est autre qu'un convertisseur statique associé à une commande MPPT. Ce dernier est une partie très essentielle pour un fonctionnement optimal du système PV, puisque la puissance délivrée par le GPV dépend de la variation de la température, la variation de l'ensoleillement et la variation de la charge ce qui éloigne le point de fonctionnement du PPM.

De nombreuses méthodes MPPT ont été développées pour permettre au système d'extraire le maximum de puissance du GPV ayant une caractéristique courant-tension fortement non linéaire. En commençant par des techniques simples comme les contrôleurs MPPT basés sur le retour d'état de la tension et du courant, on arrive aux contrôleurs plus performants utilisant des commandes intelligentes. Parmi les techniques les plus utilisées nous avons la méthode Perturbation et Observation (P&O), algorithme d'incrément de la conductance (IncCond), commande par la logique floue, commande P&O améliorée, Commande IncCond améliorée, etc. Ces méthodes se différencient entre elles par leur complexité, nombre et types de capteurs, la vitesse de convergence, le coût, le rendement et le domaine d'application.

II. Commandes MPPT:

- **Définition et principe de fonctionnement du MPPT:**

La commande MPPT est nommée dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou (*Maximum Power Point Tracking*) en Anglais, est un organe fonctionnel du système PV associée à un étage intermédiaire d'adaptation, et qui permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur PV (VPPM et IPPM) quel que soit les conditions météorologiques et la variation de la charge [12].

Cette technique de contrôle, dite algorithme MPPT consiste à agir sur le rapport cyclique α du convertisseur statique (CS) de manière automatique, à l'aide d'un signal électrique approprié, pour amener le générateur à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les instabilités météorologiques ou variations brutales de charges qui peuvent survenir à

tout moment. Pour cela, on va présenter et étudier par la suite les algorithmes de commande les plus connues.

- **Critères de Qualité d'une Commande MPPT :**

Pour arriver à faire le choix entre les différents type de commande MPPT et pour savoir si un gain est apporté, lors de son l'utilisation, on trouve plusieurs critères :

Il faut savoir le degré de complication de l'algorithme, plus qu'elle est compliqué plus qu'elle entraîne des difficultés d'implémentation. Donc la commande MPPT doit avoir un degré de simplicité important ce qui va garantir une faible consommation et un coût raisonnable.

La commande MPPT est dite compétitive si le PPM est atteint avec une erreur statique, correspondant à la position du point de fonctionnement par rapport au PPM, relativement faible sur une large gamme de puissance.

Suite aux changements de température et d'éclairement ou état de la charge alimentée. La commande MPPT doit avoir une bonne attitude en dynamique afin de pouvoir piloter l'étage d'adaptation et garantir que le point de fonctionnement du GPV soit le plus près possible du PPM.

La commande MPPT doit assurer la stabilité quelles que soient ses conditions d'utilisations, elle doit être standard, capable de fonctionner avec des panneaux de différentes technologies, tout en conservant le même taux de précision et de puissance.

- **Classification des Commandes MPPT :**

Nous pouvons classier d'une manière générale les commandes MPPT selon le type d'implémentation électronique: analogique, numérique ou mixte. Il est cependant plus intéressant de les classier selon le type de recherche qu'elles effectuent et selon les paramètres d'entrée de la commande (directe ou indirecte). [13]

- **Classification des commandes MPPT selon les paramètres d'entrée:**

- 1. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS :**

Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres d'entrée du CS nécessitent la mesure du courant et de la tension qui entre au convertisseur comme le cas de la méthode de Perturb & Observe et l'algorithme d'incrément de conductance.

Il existe d'autres types de commandes MPPT qui sont fondées sur la régulation du courant du GPV, qui sont basés sur des relations de proportionnalité entre les paramètres optimaux

caractérisant le point de puissance maximal (V_{OPT} et I_{OPT}) et les paramètres caractéristiques du module PV (V_{oc} et I_{cc}). Ce type de commande ayant l'avantage d'être plus précis et de réaction rapide, elles ont besoin d'un seul capteur qui est plus facile à mettre en œuvre et a un coût bas.

2. Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du CS :

Il existe aussi des algorithmes basés sur les paramètres de sortie des convertisseurs statiques. Par exemple, les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie qui est 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 [13].

- **Classification des commandes MPPT selon le type de recherche :**

3. 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 PPM.

On trouve aussi des commandes qui établissent une poursuite de la tension optimale en prenant en compte uniquement les variations de la température des cellules données par un capteur.

En général, ces commandes sont caractérisées par la simplicité de réalisation ; elles sont destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis, elles peuvent fonctionner dans des zones géographiques où il y a un léger changement climatique, Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de la tension de circuit ouvert, la méthode de court-circuit etc...

Il compte aussi les commandes se fondant sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique défini au préalable.

4. MPPT direct :

Le principe de ce type de commande est de déterminer le point de fonctionnement optimal (MPP) à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Comme il peut réagir à des changements inattendus du fonctionnement du GPV

En général, ces instructions 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 [14].

III. Les algorithmes MPPT :

Les principes fondamentaux de fonctionnement pour les techniques sélectionnées: PO, IC, SM et FL sont donnés ci-dessous respectivement

- **La méthode P&O :**

L'algorithme P&O doit détecter deux paramètres le courant et la tension, puis calculer le produit entre eux qui donnent la puissance PV. Son principe de fonctionnement fondamental est basé sur la perturbation par un petit incrément de la tension aux bornes du module et comparaison de la puissance aux bornes du module avec celle du cycle de perturbation précédent. Si la perturbation entraîne une augmentation (diminution) de la puissance du module, la perturbation suivante se fait de la même manière (opposée) [15]. De cette façon, le MPPT recherche constamment l'emplacement de la puissance maximale. La figure 15 montre l'organigramme de la méthode P&O.

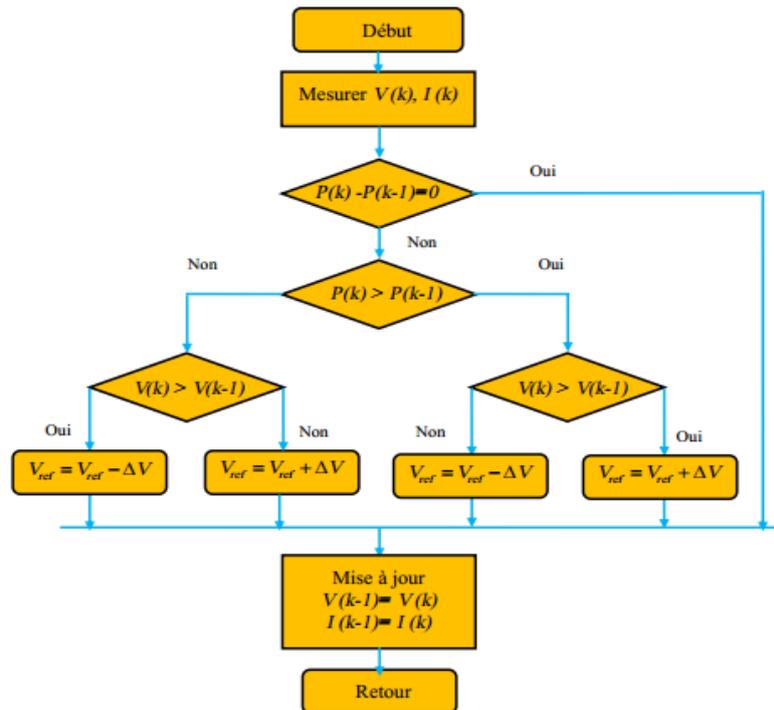


Figure 15 : Algorithme P&O

- **La méthode IC:**

La technique Incrémental de conductance suit la puissance de crête du module PV en comparant entre deux termes la conductance instantanée (I / V) et la conductance incrémentale (dI / dV). Lorsque la puissance de crête est atteinte, les deux éléments deviennent égaux. La figure 16 montre l'organigramme de la technique IC.

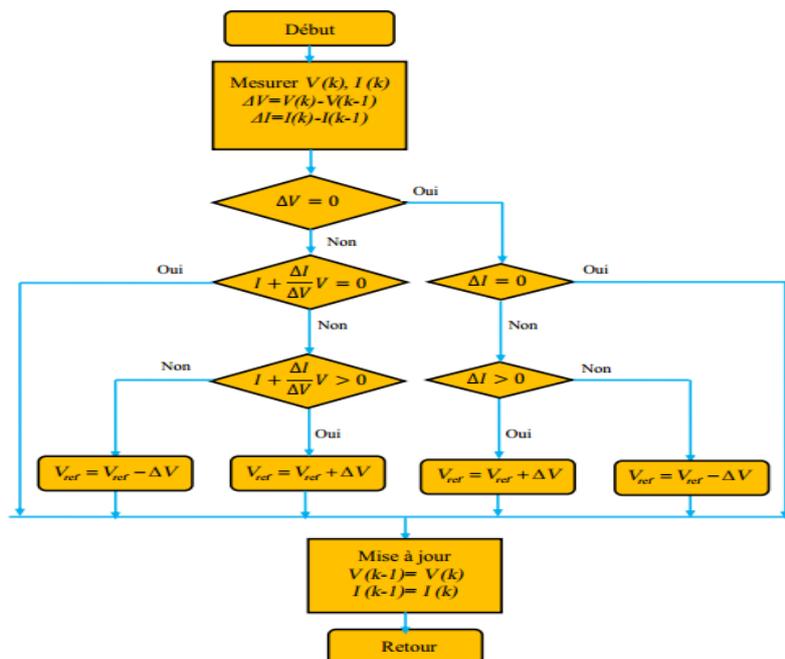


Figure 16 : Algorithme IC

- **La méthode SM:**

La méthode SM consiste à choisir une surface de glissement S et à concevoir une loi de commande u . Le but de l'entrée du contrôleur u est d'attirer les états de l'ensemble du système vers un comportement souhaité $S = 0$ [16-17].

Lorsque le module PV fonctionne à sa puissance maximale, nous pouvons obtenir

$$\frac{dP}{dV} = \frac{dVI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (\text{III.1})$$

Ainsi, la surface de glissement est sélectionnée comme

$$S = \frac{dP}{dV} \quad (\text{III.2})$$

Et la loi de contrôle u peut être conçue comme

$$u = u_n + u_{eq} \quad (\text{III.3})$$

La partie non linéaire appelée commande de commutation prend généralement la forme suivante:

$$u_n = -k_{eq} \cdot \text{Sing}(S) \quad (\text{III.4})$$

Où k_{eq} est une constante positive, son objectif principal est de s'assurer de l'attractivité du régime glissant et d'assurer l'état de convergence.

En mode glissant, la dynamique du système peut s'exprimer par:

$$S \cdot S' \leq 0 \quad (\text{III.5})$$

La partie continue appelée contrôle équivalent u_{eq} peut être calculée à l'aide des expressions suivantes [16, 17-18]:

$$S = 0 \text{ et } S' = 0 \quad (\text{III.6})$$

On obtient donc:

$$u_{eq} = 1 - \frac{V}{V_o} \quad (\text{III.7})$$

En remplaçant (III.5) et (III.7), nous pouvons obtenir l'équation. (III.8).

$$u = 1 - \frac{V}{V_o} - k_{eq} \cdot \text{Sing} \left(\frac{dP}{dV} \right) \quad (\text{III.8})$$

- **La méthode FL:**

La logique floue est un contrôleur non linéaire, peut fonctionner avec des entrées imprécises sans avoir besoin d'un modèle mathématique précis. D'autre part, le concepteur doit avoir une connaissance détaillée du fonctionnement des systèmes PV. La conception de la commande FL nécessite trois étapes comme le montre la figure 4: fuzzification, moteur d'inférence et défuzzification [12]. Au début, les variables physiques sont converties en variables linguistiques. Ensuite, la méthode d'inférence utilisant les règles If-Then détermine la sortie floue des entrées. La méthode d'inférence de Mamdani est la méthode la plus utilisée, suivie de celle de Sugeno. Dans ce travail, la première méthode d'inférence est utilisée. La troisième étape est le processus de défuzzification, qui consiste en la conversion de la sortie floue numérique en valeurs numériques. Parmi les nombreuses méthodes existantes de défuzzification, la stratégie centroïde est choisie comme donnée par l'équation. (III.9) [19-20]:

$$dD_0 = \frac{\sum_{j=1}^n u(D_j) \cdot D_j}{\sum_{j=1}^n u(D_j)} \quad (\text{III.9})$$

Le contrôleur FL utilisé dans ce document comprend deux entrées, qui sont l'erreur E décrite dans l'équation. (12) et le changement d'erreur ΔE montré dans l'équation. (13) comme dans [11]:

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (\text{III.10})$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1) \quad (\text{III.11})$$

La sortie du contrôleur FL est le rapport cyclique du convertisseur sélectionné. Une fois ces entrées calculées, elles sont transformées en variables linguistiques basées sur une fonction d'appartenance (MF). Chacune de ces entrées est exprimée par cinq MFs: BigNegative (BN), Negative (N), Zero (Z), Positive (P), Big Positive (BP) Les différentes combinaisons entre les deux entrées E et ΔE proposent 25 solutions pour le rapport cyclique du convertisseur élévateur avec MF similaire comme illustré dans le tableau 2.

Tableau 1: Basic rules of the FL controller

ΔE	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>E</i>					
<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>ZE</i>	<i>PS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>	<i>NS</i>
<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>
<i>PB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>ZE</i>	<i>ZE</i>

IV. Conclusion :

Ce chapitre englobe Les principes fondamentaux de fonctionnement pour les techniques sélectionnées: P&O, IncCond, SMC et FL. Nous avons commencé par la présentation de la P&O qui est basé sur la perturbation par un petit incrément de la tension aux bornes du module et comparaison de la puissance aux bornes du module avec celle du cycle de perturbation précédent. Ensuite on a décrit la technique Incrémental de conductance qui suit la puissance de crête du module PV

Aussi la méthode SMC qui consiste à choisir une surface de glissement S et à concevoir une loi de commande u , et bien sur la commande MPPT par la logique floue qui a amélioré le régime transitoire et a réduit les fluctuations à l'état statique

**CHAPITRE 4 : TESTS DE
PERFORMANCE DE LA COMMANDE
MPPT P&O**

CHAPITRE 4

I. Introduction :

La simulation est un outil puissant pour l'évaluation des performances théoriques d'un système. En effet, ce dernier peut être testé sous des conditions facilement contrôlables et ses performances peuvent être aisément surveillées. La procédure de simulation lie les deux principales parties de la conception d'un système, à savoir, l'étude théorique et la réalisation d'un prototype. Vu que des changements dans la conception peuvent facilement être faits à l'étape de la simulation, il est possible d'expérimenter avec un large ensemble de variations des conditions de fonctionnement afin d'aboutir à une solution optimale.

Dans ce chapitre, on présentera le diagramme sous le logiciel MATLAB/SIMULINK du système PV globale, ensuite des résultats de simulation du système seront présentés pour évaluer les performances de l'algorithme P&O dans des conditions de fonctionnement sévère.

II. MATLAB/SIMULINK :

C'est un logiciel de simulation, qui fournit une interface graphique permettant de construire des modèles sous forme de diagrammes blocs. Il offre l'avantage de construire des modèles hiérarchisés qui offrent la possibilité de voir le système à différents niveaux. Simulink offre également la possibilité de construire des modèles modulaires, qui ont l'avantage d'être facilement reliés entre eux afin de simuler un certain système.

III. Simulation du module PV avec la commande P&O :

Nous avons réalisé le modèle de simulation de l'algorithme P&O.

La figure 17 illustre le bloc schématique dans l'environnement MATLAB/SIMULINK du système PV avec la commande de poursuite P&O. Le convertisseur et la charge sont réalisés par la bibliothèque de Simpower systems, par contre le module PV ainsi que la commande P&O sont construites par des composants de Simulink. Le détail du modèle de la source PV est illustré juste après dans la figure 18.

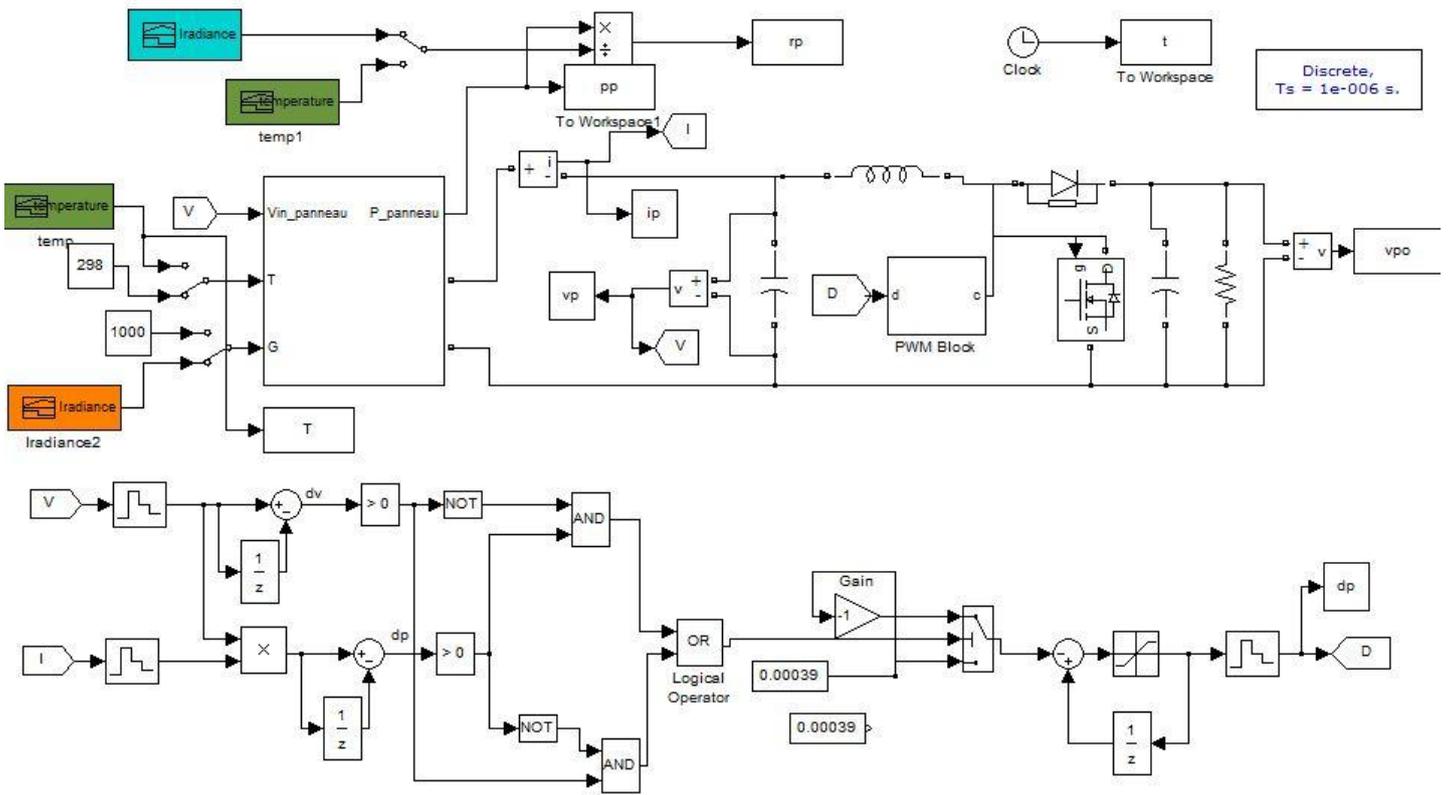


Figure 17 : Schéma sous MATLAB/SIMULINK du système PV avec la commande P&O

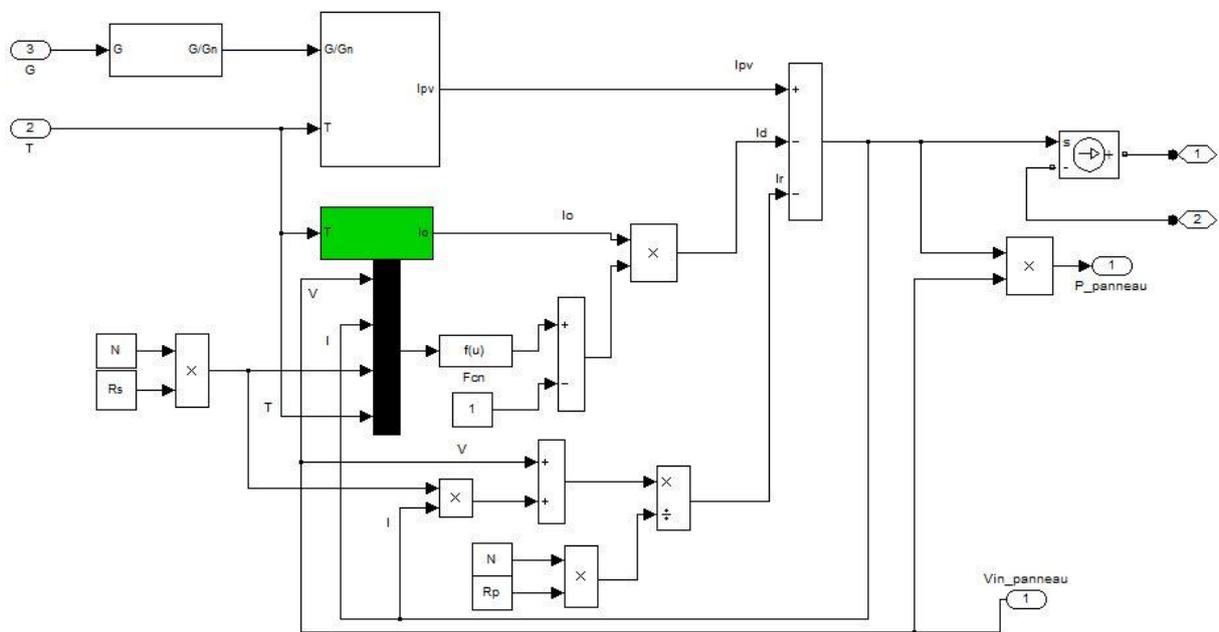


Figure 18 : Modèle Simulink du module PV

IV. Caractéristiques du module PV

Le module photovoltaïque (**MSX-60**), est choisi pour cette simulation. Il contient 36 cellules solaires du silicium multi cristallines, et fournit une puissance maximum nominale de 60 W. Les principales caractéristiques électriques de ce panneau sont données par le tableau suivant :

Tableau 2 : Caractéristiques électriques du module PV

Module :	MSX60 :
Nombre de cellules en série (Ns)	36
Nombre de cellule en parallèle	1
Courant optimale (Ippm)	3.5 A
Tension optimale (Vppm)	17.1 V
Puissance maximale (Pmax)	60 W
Courant de court-circuit (Icc)	3.8 A
Tension de circuit ouvert (Vco)	21.1 V

L'éclairement est le paramètre le plus influant sur le panneau solaire. En faisant varier ce paramètre entre 250 W/m² et 1000 W/m² et en gardant fixe la température à 25 °C, on trace les caractéristiques $I_{pv} = f(V_{pv})$ et les caractéristiques $P_{pv} = f(V_{pv})$ sur la figure 19. On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement.

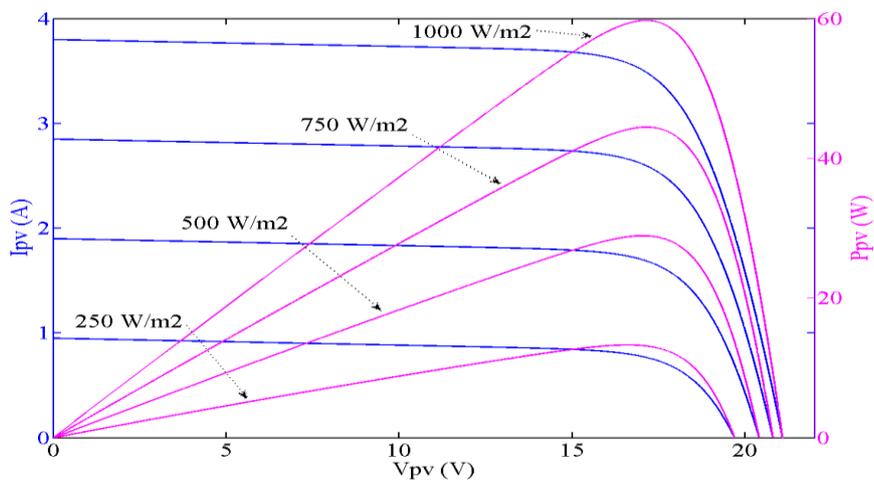


Figure 19 : Caractéristiques du module MSX 60 pour différents éclairements et une température fixe de 25 °C

La température est le second paramètre le plus important dans le comportement du panneau solaire. En faisant varier la température de 0°C jusqu'à 75°C et en gardant fixe l'éclairement à 1000 W/m², on trace les caractéristiques $I_{pv} = f(V_{pv})$ et les caractéristiques $P_{pv} = f(V_{pv})$ sur la figure 20. On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue.

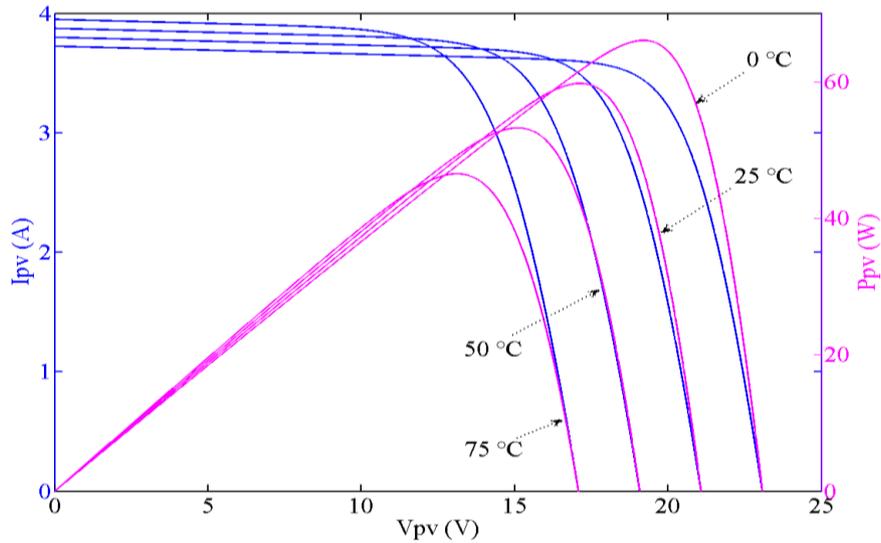


Figure 20 : Caractéristiques du module MSX 60 pour différentes températures et un éclairement de 1000 W/m²

V. Application de l'algorithme P&O:

- **Conditions STC**

Le premier test que nous avons fait consiste en les conditions STC, éclairement de 1000 W/m² et température de 25 °C, les résultats correspondants sont ceux de la figure 21. Les valeurs obtenues par la simulation sont très proche des valeurs données par le fabricant et ceux montrés dans les figures 19 et 20. La puissance est d'environ de 60 W, la tension et le courant optimales sont respectivement 17 V et 3.5 A.

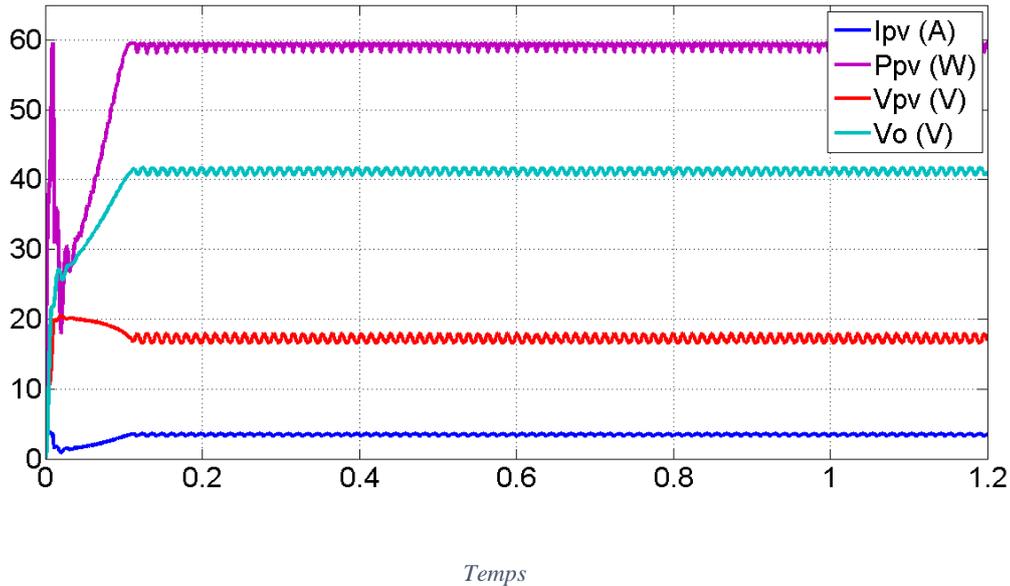


Figure 21 : Résultats de simulation pour les conditions STC

- **Eclairement variable et température constante**

Pour étudier l'effet de l'éclairement sur le comportement du module PV, on fait maintenir la température à une valeur constante $T=25^{\circ}\text{C}$ (298 K) et on fait varier l'éclairement selon un profil trapézoïdale allant de 500 à 1000 W/m^2 (figure 22). Les courbes correspondantes de puissance P_{pv} , courant I_{pv} , tension V_{pv} et de la tension de charge V_o sont montrés dans la figure 23. On constate que V_o est supérieure à V_{pv} car le convertisseur utilisé est un élévateur de tension. L'évolution de V_{pv} est presque constante parce que l'éclairement n'a pas d'effet important sur la tension contrairement au courant et la puissance. La commande agit sur le rapport cyclique du convertisseur de telle sorte à garder une impédance adaptée aux bornes de la source. L'évolution du rapport cyclique est donnée sur la figure 24.

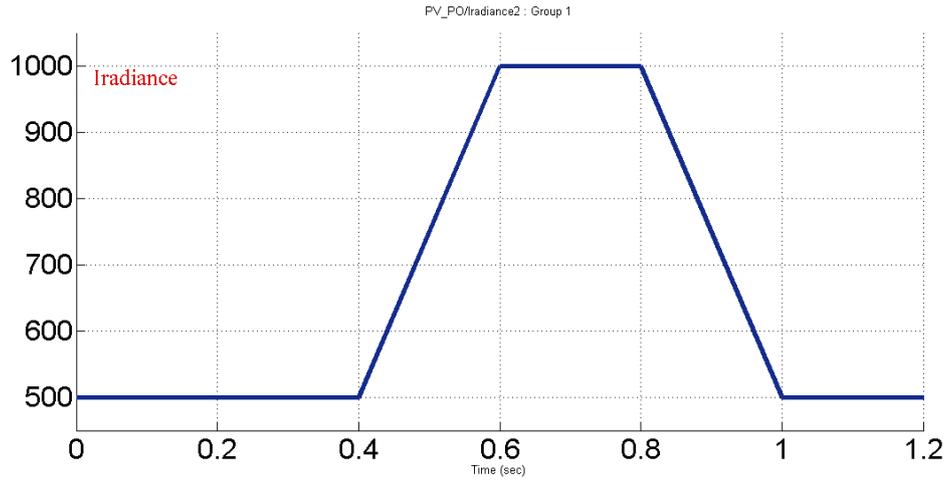


Figure 22 : Evolution de l'éclairement

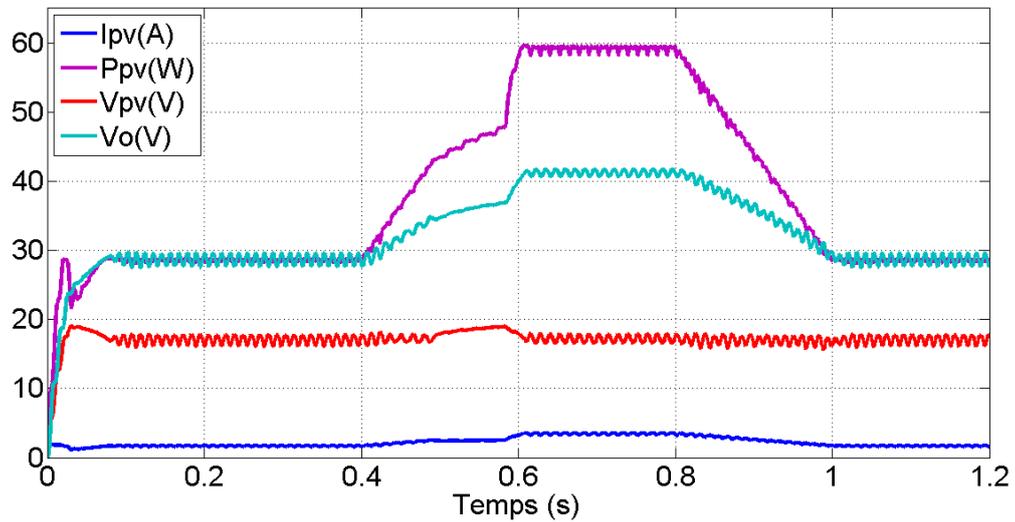


Figure 23 : Résultats de simulation avec éclairement variable et température constante

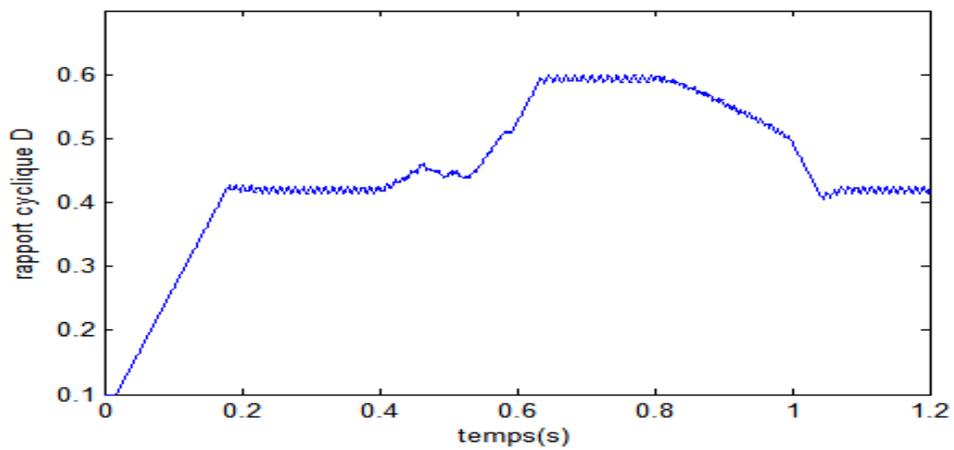


Figure 24 : Evolution du rapport cyclique D

- **Eclairement fixe et température variable**

Pour présenter l'effet de la température sur le comportement du module PV, nous avons soumis le système à une variation de la température (figure 25) tout en gardant l'éclairement constant égale à 1000 W/m^2 . Les courbes correspondantes de puissance P_{pv} , courant I_{pv} , tension V_{pv} et de la tension de charge V_o sont montrés dans la figure 26. On remarque toujours que V_o est supérieure à V_{pv} pour la même raison, le convertisseur utilisé est un boost. L'évolution de I_{pv} est à-peu-près constante parce que la température n'a pas un grand effet sur le courant contrairement à la tension. La variation de la température influe négativement sur la puissance comme montré par les figures ci-dessus.

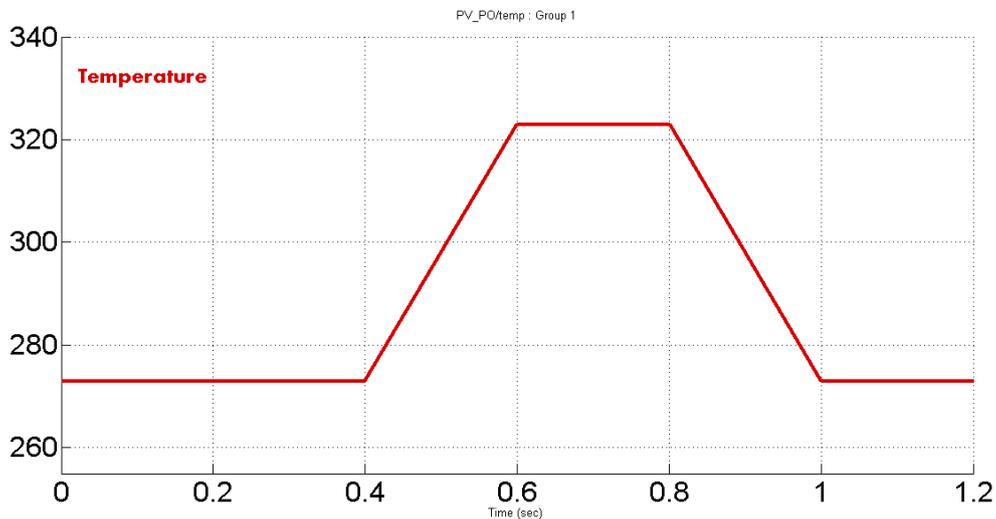


Figure 25 : Evolution de la température

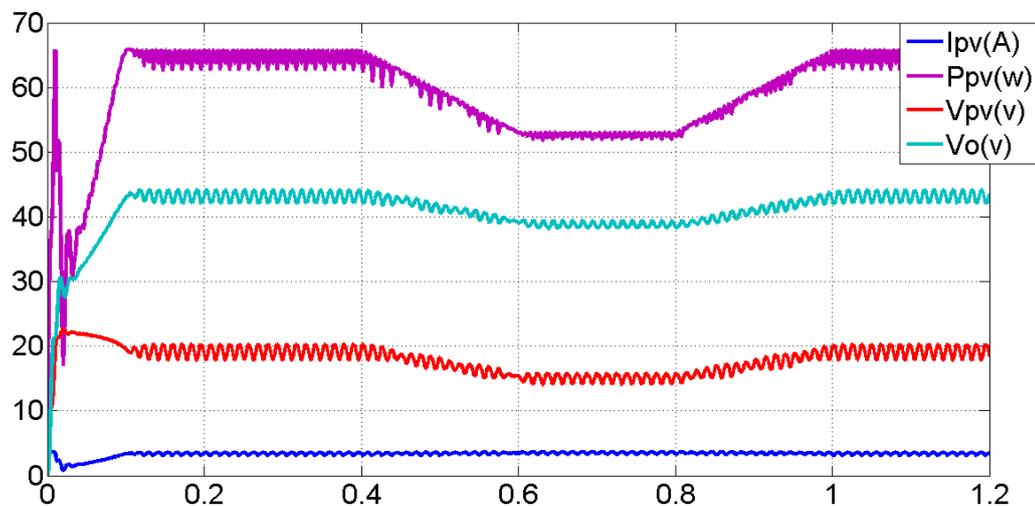


Figure 26 : Résultats de simulation avec éclairement constant et température variable

- **Eclairage variable et température variable**

Le dernier test est quand l'éclairage et la température varient en même temps, les résultats de simulations pour ce cas de fonctionnement sont illustrés dans la figure 27

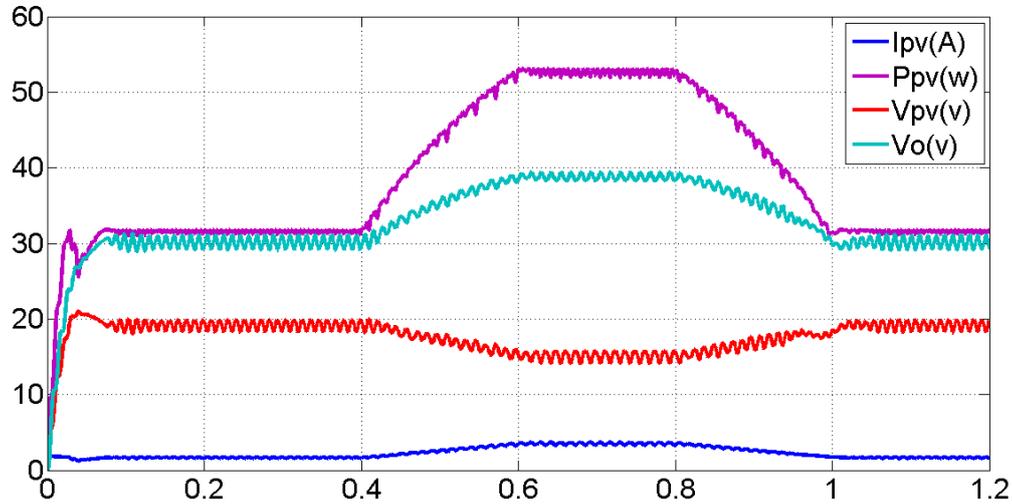


Figure 27 : Résultats de simulation avec éclairage variable et température variable

VI. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons opté pour la technique de poursuite P&O pour sa facilité de mise en œuvre. Nous avons implémenté l'ensemble des modèles de chaque partie de la chaîne de conversion sous MATLAB/SIMULINK. Des résultats de simulation du système globale ont été illustrés sous divers conditions de fonctionnement d'éclairage et de température.

CONCLUSION GENERALE :

L'objectif de cette étude et de montré l'efficacité des méthodes MPPT (Maximum Power Point Tracking) pour la poursuite du point de puissance maximal dans une chaîne de conversion photovoltaïque et afin de tirer le maximum d'énergie fournie par le générateur photovoltaïque (GPV) et pour avoir un bon rendement quelques soient les conditions météorologiques (température et éclairement).

Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé à former notre chaîne de conversion photovoltaïque qui se compose principalement d'un module PV de puissance nominale de 60 W, d'un convertisseur Boost commandé par la méthode P&O pour l'adaptation d'impédance, et une résistance comme charge.

Ce prototype a ensuite été soutenu par des simulations sous le logiciel Matlab/Simulink. La technique P&O appliquée pour le suivi de la puissance photovoltaïque maximale, a été testé à l'état stable et lors des changements des conditions atmosphériques (ensoleillement, température). ; Les résultats de simulation font ensuite suivi d'une interprétation rigoureuse afin de montrer les performances et la limite de l'algorithme P&O.

D'après les résultats de la simulation obtenus, nous avons constaté que :

- La commande MPPT (P&O) conduit à des meilleures performances, une convergence rapide de la puissance vers le PPM et une puissance maximale obtenue avec des oscillations acceptable ;
- Les performances du générateur se dégradent avec les mauvaises conditions de la température et de l'intensité de l'éclairage, c'est-à-dire la puissance du module PV baisse quand l'éclairage diminue et/ou la température augmente.
- L'utilisation de la commande MPPT permet d'améliorer d'une manière considérable le rendement des installations photovoltaïques. Ce qui montre l'efficacité des commandes pour la poursuite du point de puissance maximal fourni par le générateur photovoltaïque(GPV).
- L'utilisation de la topologie Boost a permis d'élever le niveau de la tension.
- Comme perspective, il est envisageable d'ajouter une éolienne pour avoir un système hybride ou encore de construire un banc d'essai pour l'expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Angel Cid Pastor, « Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques », Thèse de Docteur. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [2] Nichapour OleKsiy, « Simulation, fabrication et analyse de cellule photovoltaïque à contacte arrières interdigités », Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.
- [3] Disponible sur le lien : « <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/caracteristiques-des-panneaux-photovoltaiques/technologies-de-cellules-solaires-photovoltaiques/>»
- [4] O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed, « Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models », 7th International ELECTRIMACS Congress, Montréal, Août 2002.
- [5] O. Harici et A. Othmane, « Etude et évaluation des performances des concentrateurs et poursuit solaires », Mémoire d'ingénieur, Juin 2005.
- [6] AOUMER Amel, Mlle HARFOUCHE Kenza, « maximisation de l'énergie d'un système photovoltaïque », mémoire de Master en Electrotechnique, 2014-2015.
- [7] TOUAMA Tariq, HAFIDI Nouh, « Commande d'un MPPT avec un convertisseur DC/DC pour un système photovoltaïque », mémoire de Master en Electrotechnique, 2018 /2019.
- [8] CHOUIKHI WASSILA FAIZA, « Réalisation d'une commande buck-boost pour PV », mémoire de Master en Electrotechnique, année Universitaire : 2017 – 2018.
- [9] Alain Bilbao leareta, « Réalisation de commandes mppt numériques», diplôme ingénieur technique industriel, septembre 2006.
- [10] Corinne Alonso, « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie », HAL Id: tel-00012019, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00012019> Submitted on 23 Mar 2006 page 18-20.
- [11] A. Aziz, K. Kassmi, F. Olivier, G. Sarabayrouse, A. Martinez, «Analyse dans l'environnement Orcad-Pspice l'adaptation DC-DC des systèmes PV par des

- convertisseurs Boost fonctionnant à haute fréquence », rapport LAAS /CNRS N° 05267,19P Toulouse-France, Juin 2005.
- [12] A. C. Pastor, « Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques », Thèse de Doctorat de l'INSA de Toulouse (France), 29 septembre 2006.
- [13] Boukli-Hacene Omar, «Conception et réalisation d'une génération photovoltaïque muni d'un convertisseur mppt pour une meilleure gestion énergétique», magister en automatique productique informatique, 2010/2011.
- [14] S. Gautam, D. B. Raut, P. Neupane, D. P. Ghale, R. Dhakale, «Maximum Power Point Tracker with solar prioritizer in Photovoltaic application», 5th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Birmingham, UK, 20-23 Nov 2016, pp.1051-1054.
- [15] A.Belkaid, J-P.Gaubert, A.Gherbi, «An Improved Sliding Mode Control for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems», Journal of Control Engineering and Applied Informatics, Vol. 18, No. 1, 2016, pp.86-94.
- [16] A.Belkaid, J-P.Gaubert, A.Gherbi, «Design and Implementation of a High Performance Technique for Tracking Photovoltaic Peak Power», IET Renewable Power Generation, Volume 11, Issue 1, 11 January 2017, p. 92–99, DOI:[10.1049/iet-rpg.2016.0023](https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0023).
- [17] Y. Zhu, M. Cheng, Q. Wang, “SM-MRAS Based Sensorless MPPT Control for Dual Power Flow Wind Energy Conversion System”, 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Palermo, Italy, 22-25 Nov 2015, pp. 296- 304.
- [18] S. Choudhury, P. Kumar Rout, “Adaptive Fuzzy Logic based MPPT Control for PV System under Partial Shading Condition”, Int. J. Renew. Energ. Res., vol. 5, N° 4, pp. 375-383, 2015.
- [19] A. Menadi, S. Abdeddaim, A. Betka, M. T. Benchouia, “Real Time Implementation of A Fuzzy Logic Based Mppt Controller for Grid Connected Photovoltaic System”, Int. J. Renew. Energ. Res., vol. 5, N° 1, pp. 236-244,2015.

Résumé :

Le recours aux sources d'énergie renouvelable et spécialement au solaire photovoltaïque peut être une solution à la demande graduelle de l'énergie électrique. Cette issue cause moins de pollution, évite les risques du nucléaire et indépendante des énergies fossiles qui ne sont pas répartis équitablement. Cependant la conversion PV reste à ce jour non concurrentiel. Alors, l'optimisation énergétique dans le système de production est indispensable. L'utilisation des convertisseurs statiques dotés de commande MPPT améliore le rendement de conversion sur une vaste plage d'applications.

L'objectif de ce mémoire est de contribuer à l'optimisation du système de conversion PV. Cette contribution concerne le développement d'une méthode MPPT basée sur une approche simple appelée commande P&O pour le transfert optimal de l'énergie depuis un générateur PV vers sa charge. Un convertisseur DC/DC non isolé avec un bon rendement de type boost est utilisé.

L'efficacité du système MPPT considéré est vérifiée par simulation sous le logiciel Matlab/Simulink. Les résultats sont satisfaisants et démontrent que la technique proposée est robuste vis-à-vis les changements brusques des conditions climatiques. Ils confirment aussi la rapidité et la précision de la méthode.

Mots clés : *Système photovoltaïque, Technique MPPT, P&O, Convertisseurs DC/DC, Boost, Optimisation.*

Abstract:

The use of renewable energy sources and especially solar photovoltaic can be a solution to the gradual demand for electric energy. This issue causes less pollution, avoids nuclear risks and is independent of fossil fuels which are not distributed equitably. However, the PV conversion remains uncompetitive to this day. So, energy optimization in the production system is essential. Using static converters with MPPT control improves conversion efficiency over a wide range of applications.

The objective of this thesis is to contribute to the optimization of the PV conversion system. This contribution concerns the development of an MPPT method based on a simple approach called P&O control for the optimal transfer of energy from a PV generator to its load. A non-isolated DC / DC converter with good boost type efficiency is used

The efficiency of the MPPT system considered is verified by simulation using the Matlab / Simulink software. The results are satisfactory and demonstrate that the proposed technique is robust with respect to sudden changes in climatic conditions. They also confirm the speed and precision of the method

Keywords: *Photovoltaic system, MPPT technique, P&O, DC / DC converters, Boost, Optimization.*