



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah – OUARGLA

Faculté des Hydrocarbures, des Energie Renouvelables, des sciences de la Terre et de
l'Univers

Département des énergies renouvelables

Thèse

Présenté pour obtenir le Diplôme de

Master énergies renouvelables

Spécialité : énergies renouvelables en mécanique

Présenté par :

Bohnik FATMA Zohra, Bedda AMANI

Thème

Impact d'optimisation de la partie électronique sur l'efficacité énergétique du système photovoltaïque

Soutenu publiquement le : 14/06/2023

Mr. Bensaci Mohammed Abdellatif	MCB	Encadreur	Univ.Ourgla
Mr. Bellatrache Djamel	MCB	Président	Univ.Ourgla
Mr. Gharbi Brahim	MCB	Examineur	Univ.Ourgla

Année universitaire : 2022/2023

الإهداء

إلى من ساندني طوال حياتي ولم تدخر جهدا في سبيل إسعادي أُمي
الحبيبة.....رحمك الله يا غالية .

إلى من أفضله على نفسي ولم لا قد ضح من اجلي ولم يبخل عليا طوال
حياته أبي العزيزأدامك الله تاج على رأسي.

إلى عائلتي الصغيرة ثم الكبيرة حفظكم الله و أدامكم ذخرا لي.

بداة أمانى

الإهداء

إلى من وضع المولى_سبحانه و تعالى_ الجنة تحت قدميها. وقرها في كتابه العزيز (أمي الحبيبة).

إلى أبي الذي كان قدوتي و سندي واكبر دعم لي علي مر الصعبات

إلى روح جدي الراحل الذي تمنيت لو كان بيننا اليوم

و إلى رمز الصداقة و حسن العلاقة (عبير و أميرة و أيمن) و إلى أختي الغالية قرّة عيني
(دعاء)

و اشكر طاقم قسم الطاقات المتجددة بالجامعة قاصدي مرباح ورقلة

و في الأخير لا تدعني أصاب بالغرور إذا نجحت ولا أصاب باليأس إذا فشلت بل ذكرني دائما بأن الفشل هو التجربة الذي تسبق النجاح أمين يا رب العالمين .

بوحنيك فاطمة الزهرة

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout-puissant de m'avoir donné la force, la Volonté et l'espoir pour réussir ma vie et de mener à terme ce présent travail -Nous tenons bien sur à remercier nos parents qui nous ont soutenues psychiquement durant toutes nos études.

Je tiens naturellement à exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de participer à la dernière étape de cette formation.

Un grand merci à tous les professeurs de l'Université Kasdi merbah et une mention spéciale à tous mes amis des énergies renouvelables pour avoir imposé une atmosphère très particulière au cours des deux dernières années.

Résumé

Le but de ce mémoire est d'étudier ou découvrir l'impact de la partie électronique sur l'efficacité énergétique dans le système photovoltaïque.

L'étude basé sur La configuration de deux systèmes l'un comporte un générateur photovoltaïque, connecté à un hacheur " DC/DC - boost avec MOSFET " simulé a l'aide PSIM, l'autre par même GPV liée avec un hacheur " DC/DC-boost avec IGBT " simulé via MATLAB, les deux associées à une technique de maximisation ou poursuite de puissance maximale « MPPT-P&O ».

Le résultat à atteindre de cet étude consiste à satisfaire le besoin de charge via d'assurer un fonctionnement stable à puissance maximale du système photovoltaïque pour conditions climatiques constantes. Les résultats de simulation, qui ont été obtenus à l'aide des outils MATLAB et PSIM, ont montré qu'en général, les performances de MATLAB pour obtenir la puissance maximale sont bien meilleures que les performances de PSIM.

- Mots clés : système photovoltaïque - simulation avec MATLAB et PSIM - suivi du point de puissance maximale MPPT , BOOST, MOSFET.

Abstract

The purpose of this thesis is to study or discover the impact of the electronic part on the energy efficiency in the photovoltaic system.

The study based on the configuration of two systems one includes a photovoltaic generator, connected to a chopper " DC/DC - boost with MOSFET " simulated using PSIM, the other by same GPV linked with a chopper " DC/DC - boost with IGBT " simulated using MATLAB, both associated with a technique of maximization or pursuit of maximum power « MPPT-P&O ».

The result to be achieved from this study is to satisfy the load requirement by ensuring stable operation at maximum power of the photovoltaic system for constant climatic conditions. The latest simulation results, which were obtained using MATLAB and PSIM tool, showed that in general the performance of MATLAB for maximum power is much better than that of PSIM.

- Keywords: photovoltaic system - simulation using MATLAB and PSIM - maximum power point tracking MPPT, BOOST, MOSFET.

ملخص

الغرض من هذه الرسالة هو دراسة أو اكتشاف تأثير الجزء الإلكتروني على كفاءة الطاقة في النظام الكهروضوئي. حيث تعتمد الدراسة على تكوين نظامين، أحدهما يتضمن مولدًا ضوئيًا، متصل بمحول ثابت " DC / DC-boost - معزز مع MOSFET " محاكاته تتم باستخدام PSIM، والآخر بواسطة نفس GPV مرتبط بـ " DC / DC-boost - معزز مع IGBT " تمت محاكاته عبر MATLAB، وكلاهما مرتبط بتقنية تعظيم أو السعي للحصول على أقصى طاقة " -MPPT P & O ."

النتيجة المراد تحقيقها من هذه الدراسة هي تلبية متطلبات الحمل من خلال ضمان التشغيل المستقر بأقصى طاقة للنظام الكهروضوئي للظروف المناخية الثابتة . أظهرت نتائج المحاكاة، التي تم انحصارها باستخدام أداة MATLAB وPSIM، بشكك عام أن أداء MATLAB للحصول على أقصى طاقة أفضل بكثير من أداء PSIM الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي- محاكاة باستخدام MATLAB وPSIM- تعقب نقطة الاستطاعة القصوى .BOOST, MOSFET , MPPT

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	II
Sommaire	II
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Nomenclature	VIII
Introduction général	I

Chapitre I : Généralité sur le système photovoltaïque

I.1	Introduction	3
I.2	Type de système photovoltaïque	3
I.2.1	Système solaire autonome ou isolé.....	3
I.2.2	Système connecté au réseau électrique.....	4
I.3	Éléments constitués de système photovoltaïque	5
I.3.1	Définition des panneaux solaires	5
I.3.1.1	Cellule photovoltaïque	5
I.3.1.2	Types de cellules solaires dont les plus célèbres sont	6
I.3.2	Convertisseur statique.....	7
I.3.2.1	Hacheurs.....	7
I.4	Les composants transistor(MOSFET et IGBT)	11
I.4.1	Transistor MOSFET	11
I.4.2	Transistor IGBT.....	11
I.5	Charge (Système de stockage "batteries , condensateur")	14
I.6	Les différents techniques de Commandes MPPT.....	14

I.6.1 MPPT indirecte.....	14
I.6.2 MPPT Directe	14
I.7 Conclusion	16

Chapitre II : modélisation de système photovoltaïque

II.1 Introduction	17
II.2 Modélisation GPV	17
II.3 Modélisation de system photovoltaïque	18
II.3.1.1 Modèle d'un diode	19
II.3.1.2 Modèle a deux diode.....	21
II.3.2.1 Modélisation du convertisseur côté PV (hacheur).....	23
II.3.2.2 Représentation d'un hacheur survolteur :	23
II.3.2.3 Avantage de convertisseur BOOST.....	25
II.3.2.4 Modélisation d'un hacheur survolteur :	25
II.3.2.4 Hacheur BOOST.....	28
II.4 Modélisation de commande MPPT	29
II.5 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur .	30
II.5.1 Les algorithmes MPPT :	30
II.5.1.1 Méthode de conductance incrémentale (Inc Cond) :	30
II.5.1.2 La méthode de Perturbation et Observation P&O:	31
II.6 Modélisation système globale	33
II.7 Conclusion.....	35

Chapitre III : Etude comparative (Simulation et Résultats)

III.1 Introduction	39
III.2 Présentation des logiciels (PSIM & MATLAB) :	39
III.2.1 Logiciel PSIM.....	39
III.2.2 Logiciel MATLAB	40

III.3.1 Modèle avec MOSFET	41
III.3.2 Modèle avec IGBT	41
III.3.3 Simulation et résultats	41
III.3.4 Discussion de résultats	45
III.3.5 La Comparaison	45
III.4 Conclusion	46

Liste des figures.

Chapitre I : Généralité sur le système photovoltaïque		
Figure I.1	systeme solaire autonome	3
Figure I.2	systeme hybride connecté à l'énergie éolienne et solaire	4
Figure I.3	systeme solaire connecté au réseau électrique	5
Figure I.4	Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque	6
Figure I.5	Type de cellules photovoltaïque	7
Figure I.6	Les différents types de conversion possible et le nom usuel des convertisseurs suivant	7
Figure I.7	Schéma de principe d'un hacheur	8
Figure I.8	Schéma de principe d'un hacheur série (Buck)	8
Figure I.9	Schéma d'un hacheur survolteur (BOOST)	9
Figure I.10	Hacheur abaisseur-élevateur (BUCK-BOOST)	10
Figure I.11	Symbole d'un transistor MOSFET	11
Figure I.12	Symbole d'un transistor IGBT	11
Figure I.13	Position de " IGBT&MOSFET" par rapport aux autres	13
Figure I.14	Figure : Position de l'IGBT et MOSFET	13
Figure I.15	Organigramme de classification des commandes MPPT.	16
Chapitre II : modélisation de système photovoltaïque		
Figure II.1	Association de l'étage d'adaptation entre le générateur et la charge	18

Liste des figures

Figure II.2	Modèle équivalent à une diode	19
Figure II.3	Modèle équivalent à deux diodes	22
Figure II.4	Cellule électrochimique de base	22
Figure II.5	Schéma d'un convertisseurs DC-DC (Boost)	23
Figure II.6	Exemple de convertisseur statique DC-DC pouvant être utilisé comme	25
Figure II.7	Allure des variables dynamiques IL	27
Figure II.8	Schéma électrique d'un hacheur boost fermé.	28
Figure II.9	Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert	28
Figure II.10	structure de convertisseur BUCK à charge RLE	28
Figure II.11	Algorithme d'incrémentatation de la conductance	31
Figure II.12	Schéma globale du logicielle PSIM	32
Figure II.13	Schéma de simulation de la commande MPPT avec un DC-DC Boost(MOSFAT)	33
Figure II.14	Schéma modélisation système photovoltaïque avec MOSFAT.	33
Figure II.15	Schéma modélisation système photovoltaïque avec IGBT.	33
Chapitre III : Etude comparative (Simulation et Résultats)		
Figure III.1	Schéma globale du logicielle PSIM	40
Figure III.2	Schéma globale du logicielle Matlab	40
Figure III.3	Schéma électrique du Système photovoltaïque " <i>DC/DC – boost</i> " avec <i>MOSFET</i>	41
Figure III.4	Schéma électrique du Système photovoltaïque " <i>DC/DC – boost</i> "	41

Liste des figures

	avec IGBT	
Figure III.4	Chaîne des organes de la simulation " conversion photovoltaïque avec convertisseur DC-DC contrôlé par une commande MPPT"	42
Figure III.5	Schéma de simulation en PSIM du "modèle- MOSFET " d'algorithme MPPT -P & O	42
Figure III.6	Allure courant de charge " I(t)out " en PSIM de " modèle-MOSFET "	43
Figure III.7	Allure tension de charge " V(t)out " en PSIM de " modèle-MOSFET "	43
Figure III.8	Allure Puissance de charge " P(t)out " en PSIM de " modèle-MOSFET "	44
Figure III.9	Schéma de simulation en MATLAB du "modèle- IGBT " d'algorithme MPPT -P & O	44
Figure III.10	Allures " I(t)out/ V(t)out "de charge en MATLAB pour le " modèle-IGBT "	44
Figure III.11	Allures " P(t)out /"de charge en MATLAB pour le " modèle-IGBT	44

Liste des tableaux

Tableau I.1 récapitule l'analyse faite sur les différents convertisseurs.....	10
Tableau I.2 comparaison entre MOSFET et IGBT.....	12
Tableau II.1 Complexité de chaque type de convertisseur DC-DC.....	24
Tableau II.2 Récapitulatif des méthodes utilisées.....	29

Liste des symboles

I_{PV} : Courant délivré par la cellule PV

.

I_{pc} : Photo-courant.

I_d : Courant de la diode.

V_{PV} : Tension délivré par la cellule PV.

V_t : Tension thermique.

V_d : Tension de la diode.

T : Température absolue en °K.

T_C : Température de circuit.

I_0 : Courant de saturation de diode.

I_{SH} : Courant shunt.

I_{DR} : Courant de diode de roue libre,

U_{DR} : La tension aux bornes de la diode de roue libre,

U, U_s, V_s : La tension de sortie,

U: La tension d'alimentation de circuit de l'induit.

P : Puissance.

Liste des symboles

V : Tension.

I : Courant

G : L'incrémentale conductance.

MPPT :Maximum power point tracking

Introduction générale

Introduction générale

Les combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) sont des ressources non renouvelables qui mettent des centaines de millions d'années à se constituer. Les combustibles fossiles, lorsqu'ils sont brûlés pour produire de l'énergie, provoquent des émissions de gaz à effet de serre nocifs, tels que le dioxyde de carbone, en revanche les énergies renouvelables sont des énergies provenant de sources naturelles qui se renouvellent à un rythme supérieur à celui de leur consommation. La lumière du soleil et le vent, par exemple, constituent de telles sources qui se renouvellent constamment, les sources d'énergie renouvelables sont abondantes et sont présentes partout autour de nous.

Les énergies renouvelables sont désormais moins chères dans la plupart des pays et permettent de créer trois fois plus d'emplois que les combustibles fossiles, l'énergie solaire est la plus abondante de toutes les ressources énergétiques et peut même être exploitée par temps nuageux. Les technologies de l'énergie solaire permettent de produire de la chaleur, du froid, de l'éclairage naturel, de l'électricité et des carburants pour une multitude d'applications. Elles consistent à convertir la lumière du soleil en énergie électrique, au moyen de panneaux photovoltaïques, qui concentrent le rayonnement solaire.

L'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'absence de toute pollution et la disponibilité en tout point du globe terrestre. Il faut cependant noter que les inconvénients majeurs de cette énergie sont le rendement énergétique qui reste encore bas ainsi que l'efficacité énergétique relativement insuffisante. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des parties électroniques (composante électronique / convertisseur statique) 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 (MPPT).

Ce travail, à pour objectif d'améliorer le rendement énergétique du système photovoltaïque via d'optimisation MPPT en utilisant les deux outils de simulation "PSIM/MATLAB" pour poursuivre la puissance maximale que peut débiter le générateur photovoltaïque quelques soient les conditions météorologiques (éclairage et température). Ce dernier est conçu principalement autour d'un convertisseur DC/DC du type Boost à base de "MOSFET/IGBT" , qui relie le module photovoltaïque à la charge .

Notre mémoire est structurée en trois chapitres en plus de l'introduction générale, la conclusion générale.

Dans le premier chapitre, nous présenterons une généralité sur le système de l'énergie photovoltaïque, pour détailler théoriquement les éléments constructives de ce dernier

Le second chapitre sera consacré à la modélisation et la simulation du système photovoltaïque, qui a pour but d'étudier théoriquement le comportement de certains paramètres.

Le dernier chapitre est consacré à la simulation et l'optimisation de système photovoltaïque par la méthode de perturbation et observation (P & O) en utilisant "PSIM et MATLAB".

Nous terminerons ce modeste travail par une conclusion générale qui résume notre étude.

Chapitre I :

**Généralité de système
photovoltaïque**

I.1 Introduction

Le solaire photovoltaïque (PV) représente un bon exemple de l'énergie de demain. c'est pourquoi l'homme a longtemps cherché à profiter de cette énergie importante, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement et de sa source illimitée .

Utilisation de cellules solaires photovoltaïques l'énergie photovoltaïque est générée en convertissant les molécules lumineuses en électricité.

Compréhension complète de ce phénomène dans ce chapitre, nous étudierons quelques concepts de base sur l'effet photoélectrique, le principe de la cellule photovoltaïque.

I.2 Type de système photovoltaïque

I.2.1 Système solaire autonome ou isolé

Dans un système isolé, il n'y a pas de source d'énergie électrique sauf générée par des panneaux solaires photovoltaïques, dans certains systèmes autonomes, les batteries ne sont pas utilisées pour stocker de l'énergie car cela n'est pas nécessaire, comme les pompes à eau solaires ou dispositif de distillation solaire, la figure (I.1) montre le système autonome.

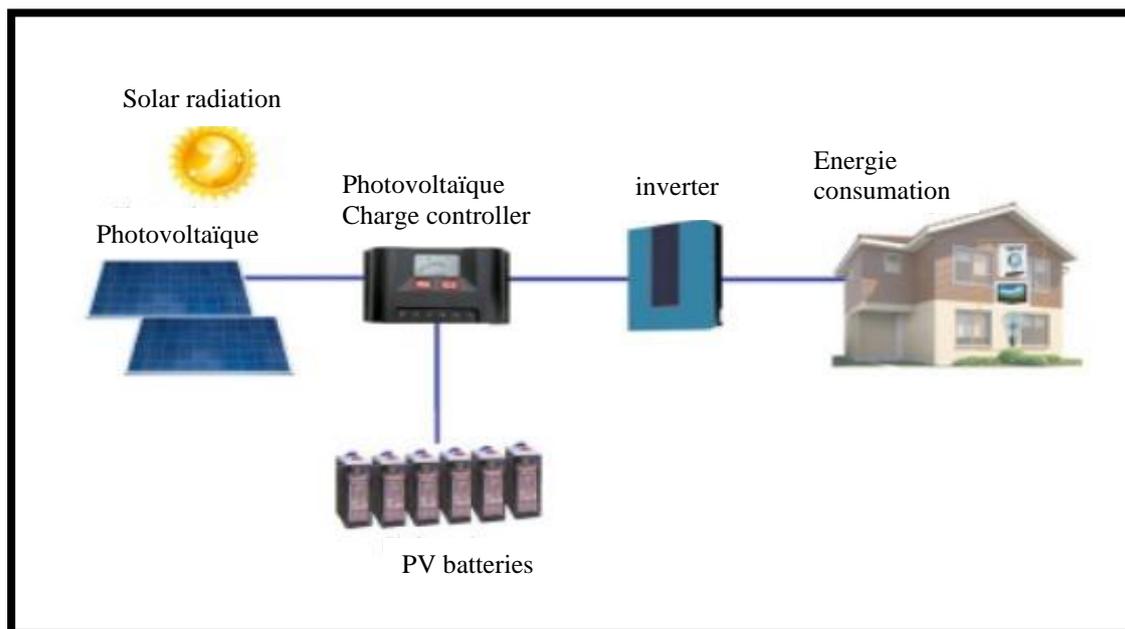


Figure I.1 Système solaire autonome [1].

I.2.2 Système hybride

Les stations hybrides sont généralement définies comme le partage de deux ou plusieurs sources différentes de génération (ou de stockage) d'énergie électrique pour sécuriser l'alimentation électrique de la charge.

Il est utilisé dans d'autres sources telles que les générateurs et les ventilateurs.

Dans le cas de la connexion du système aux ventilateurs et aux panneaux solaires, deux régulateurs de charge sont utilisés car les deux sources génèrent un courant constant (CC) et un onduleur est utilisé, et un régulateur de charge se connectant aux deux sources et un onduleur peut être utilisé.

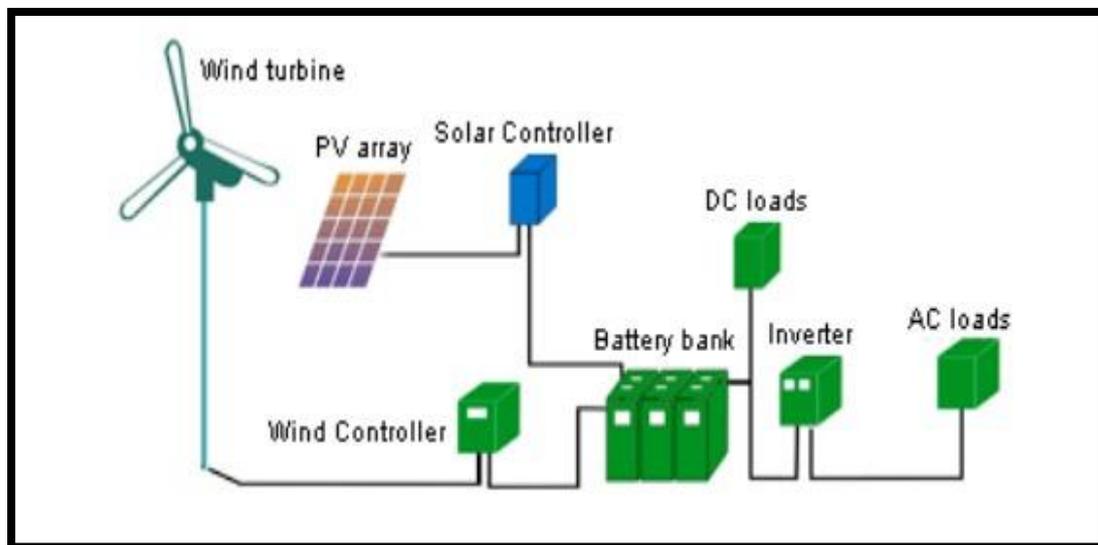


Figure I.2 Système hybride connecté à l'énergie éolienne et solaire [2].

I.2.3 Système connecté au réseau électrique

Ce type est utilisé dans les endroits connectés au réseau électrique gouvernemental, où le système est connecté au réseau électrique, avec la possibilité de vendre le surplus produit par les panneaux solaires à la compagnie d'électricité.

Le système connecté est utilisé dans les zones où le réseau principal doit être disponible, telles que: les maisons qui ont un abonnement électrique, les hôpitaux ou les bâtiments. L'alimentation du réseau électrique est utilisée pendant la nuit ou les jours nuageux ou pluvieux.

La figure (I.3) montre le système solaire photovoltaïque connecté au réseau électrique.

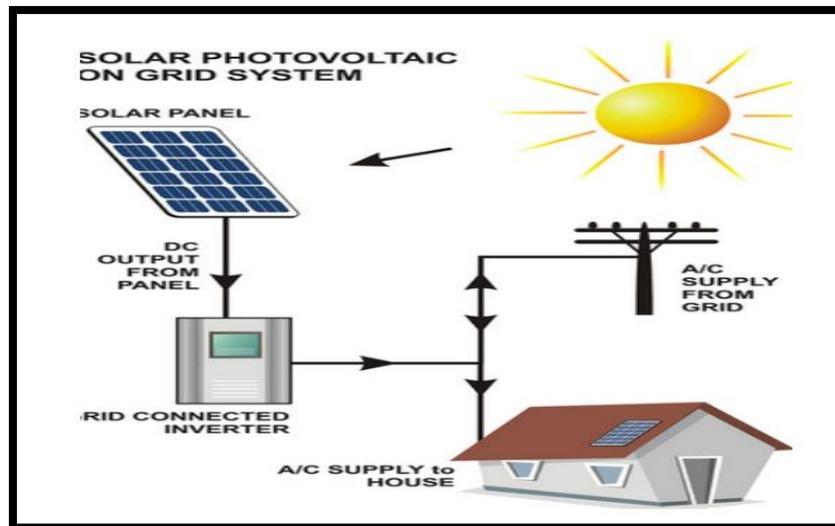


Figure 1.3 Système solaire connecté au réseau électrique [3].

I.3 Éléments constitues de système photovoltaïque

I.3.1 Définition des panneaux solaires

Composant principal des systèmes solaires qui génèrent de l'électricité en absorbant la lumière du soleil. Ces panneaux sont constitués d'un groupe de cellules solaires qui agissent comme des récepteurs de lumière solaire qui sont connectés les uns aux autres dans un cadre spécifique, et sont connectés les uns aux autres successivement

I.3.1.1 Cellule photovoltaïque

Une cellule photoélectrique est définie comme un dispositif électronique composé de semi-conducteurs à travers lequel une différence de tension se forme lorsqu'il est exposé à la lumière et un courant électrique en est généré, dont la valeur est liée à son coefficient d'absorption de la lumière.

Les cellules solaires sont utilisées dans le processus de conversion directe du rayonnement solaire en électricité, et ce mécanisme est connu sous le nom de conversion photovoltaïque ou conversion de l'énergie solaire.

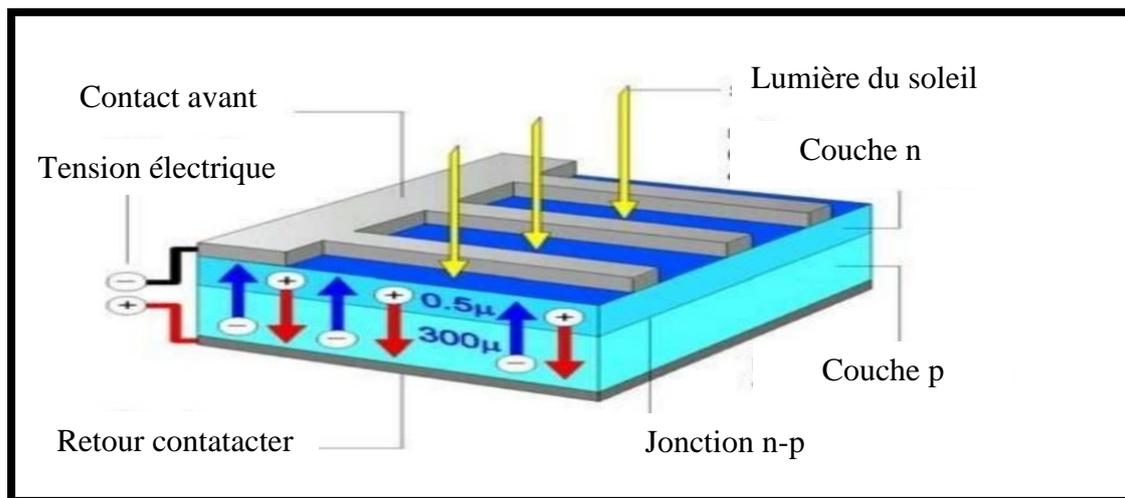


Figure I.4 Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque [4].

I.3.1.2 Types de cellules solaires [5].

A. Panneaux solaires monocristallins

Il se caractérise par l'aspect esthétique résultant de la pureté des cristaux de silicium, et il contient des cellules monocristallines. Les cellules solaires sont constituées d'alliages de silicium coupés sous forme de tranches, et elles donnent un rendement élevé allant jusqu'à 22% par rapport à le reste des types.

J'ai envoyé

B. Panneaux solaires poly cristallins

Il est constitué d'un bloc de silicium cristallin sous forme de multi cristaux, il se distingue donc dès son aspect, car les cellules sont formées sous forme de carrés compacts, et il se caractérise par son faible coût par rapport aux cellules monocristallines, et son efficacité relativement faible, qui n'atteint que 17 %.

C. Panneaux solaires amorphes

Cellules amorphes Elles ont un faible rendement (de 5% à 8% voir jusqu'13% en laboratoire) mais elles ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé



Figure I.5 Type de Panneaux photovoltaïques [5].

I.3.2 Convertisseur statique

Les transformateurs stationnaires sont des dispositifs avec des composants électroniques et des circuits électriques qui utilisent des semi-conducteurs de puissance (diodes, thyristors, transistors, etc.).

Capables de moduler la forme et / ou la fréquence d'une onde électrique, il existe plusieurs familles de transformateurs stationnaires (Figure I.6):

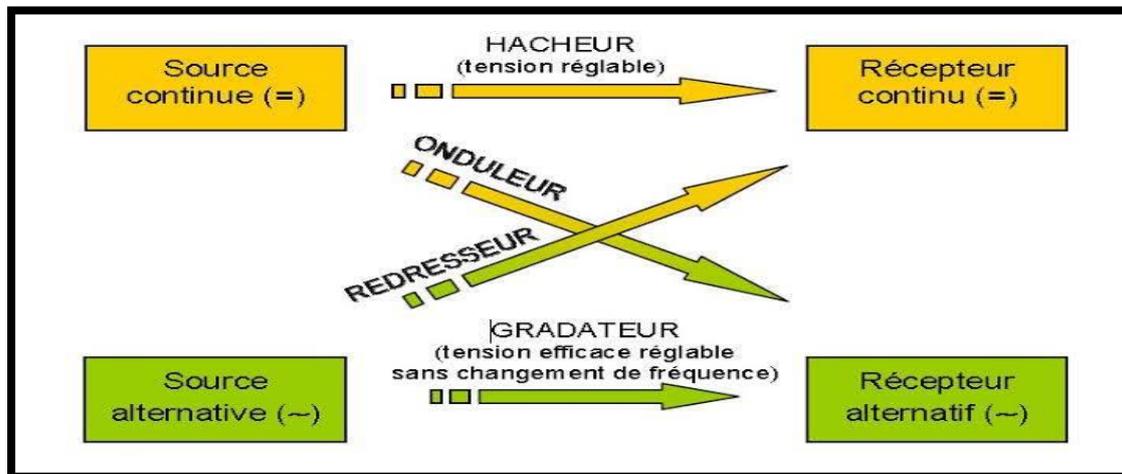


Figure I.6 Les différents types de conversion possible et le nom usuel des convertisseurs suivant leur fonction.

I.3.2.1 Hacheurs

Le hacheur est un convertisseur continue/continue permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant).

Chapitre I : Généralité de système photovoltaïque

Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue [6].

Le hacheur peut être fabriqué à l'aide d'interrupteurs électroniques pouvant être commandés à la fermeture et à l'ouverture, tels que des transistors bipolaires, des transistors de réseau isolés IGBT ou MOSFET fonctionnant en mode de commutation (tous ou aucun).

On distingue trois familles de convertisseurs statiques (ou hacheurs).

- ✓ Hacheur abaisseur (ou Buck).
- ✓ Hacheur élévateur (ou Boost).
- ✓ Hacheur abaisseur-élévateur (Buck-Boost).

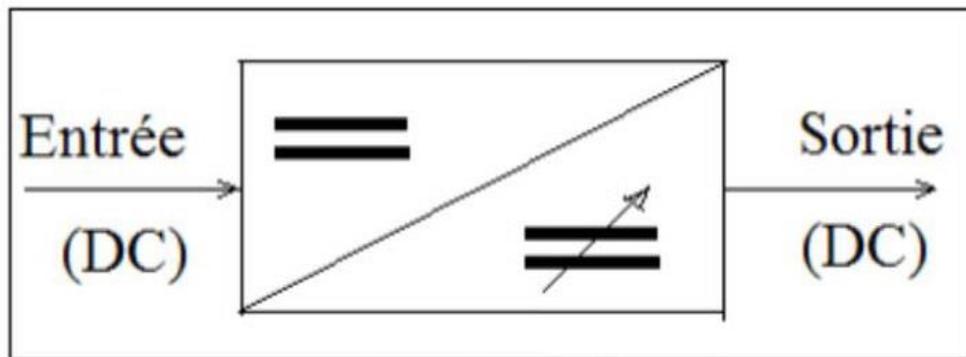


Figure I.7 Schéma de principe d'un hacheur [7].

A. L'hacheur série (dévolteur ou BUCK)

On le nomme souvent dévolteur parce qu'il réduit de façon variable la tension de sortie par rapport à celle de l'entrée ou encore le hacheur abaisseur de tension. Il est constitué par un interrupteur d'amorçage commandé transistor (bipolaire, MOS ou IGBT ...) en série avec la source et une diode de roue libre parallèle à la source. Ces commutateurs fonctionnent de manière périodique [8].

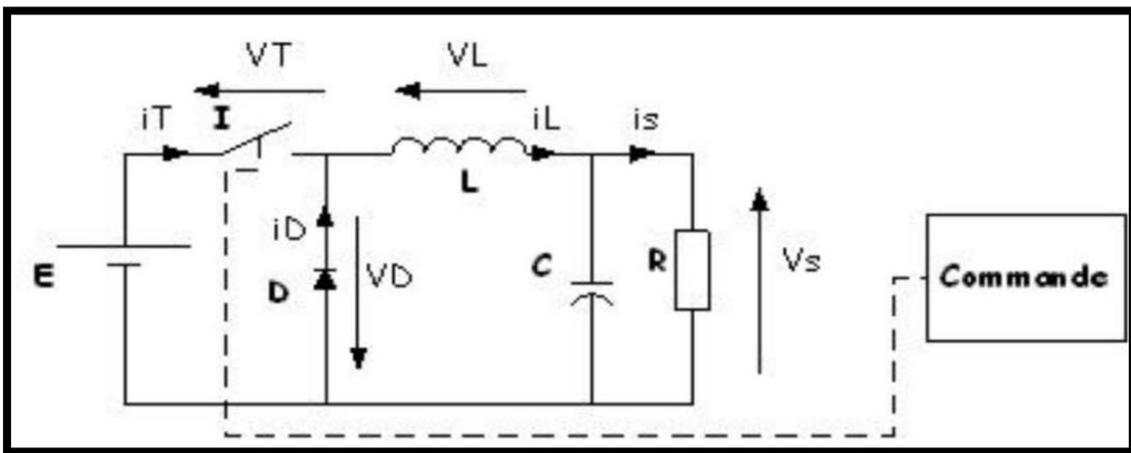


Figure I.8 Schéma de principe d'un hacheur série (Buck).

B. L'hacheur parallèle (survolteur ou BOOST)

Le hacheur parallèle est appelé hacheur booster car la tension de sortie V_s est toujours supérieure à la tension d'entrée moyenne, également appelée hacheur pas à pas ou hacheur Boost .La source d'entrée est une inductance de type CC en série avec une source de tension et la charge de sortie est de type tension continue (resté en parallèle avec une charge résistive). L'interrupteur "K" peut être remplacé par un transistor car le courant est toujours positif et l'interrupteur doit être commandé (au blocage et au démarrage).

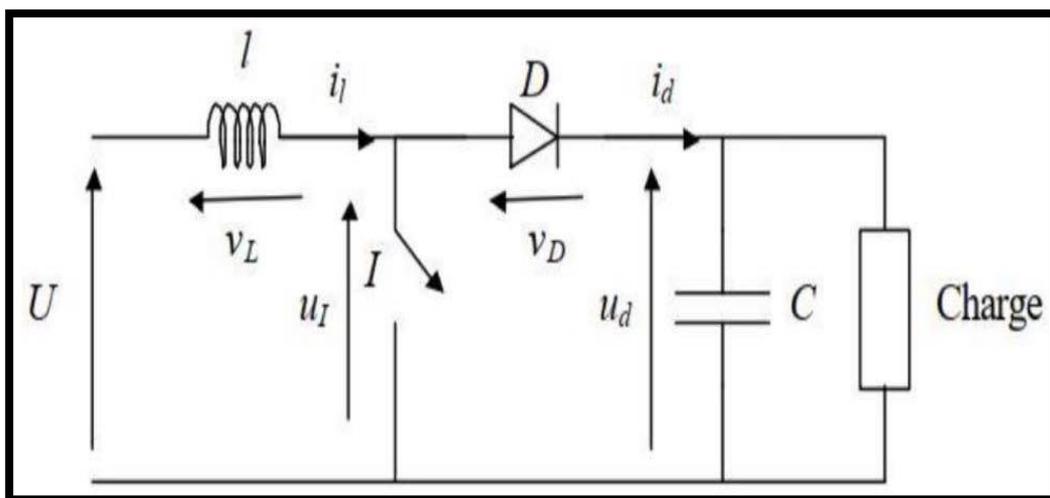


Figure I.9 Schéma d'un hacheur survolteur (BOOST).

C. Hacheur abaisseur-élevateur (BUCK-BOOST)

Le hacheur abaisseur-élevateur est aussi appelé dévolteur-survolteur ou de type Buck- Boost (Figure I.10).

Le hacheur abaisseur-élevateur est un convertisseur indirect DC-DC à stockage inductif. La source d'entrée est de type tension continue (filtrage capacitif en parallèle avec une source de tension) et la charge de sortie continue de type source de tension (condensateur en parallèle avec la charge résistive). Le convertisseur dévolteur-survolteur combine les propriété des deux convertisseurs.

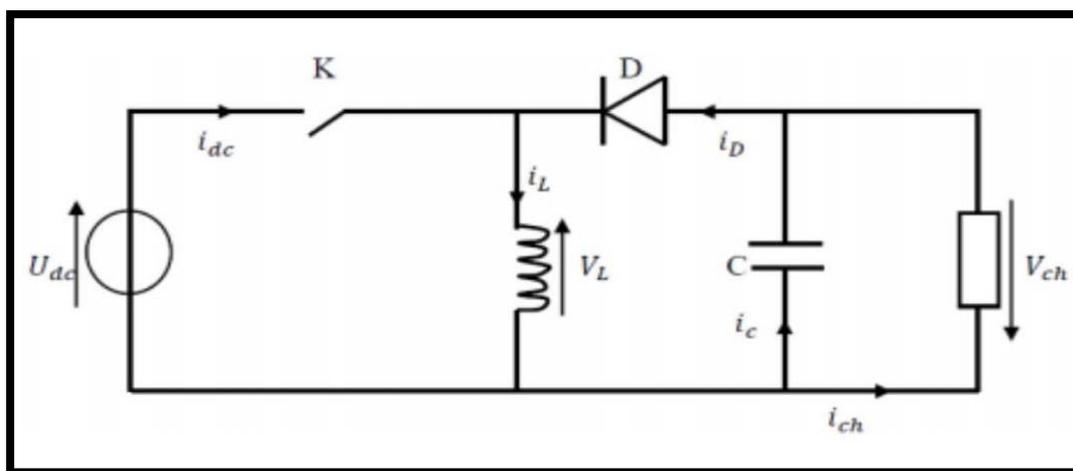


Figure 1.10 Hacheur abaisseur-élevateur (BUCK-BOOST) [9].

Tableau I.1 Récapitule l'analyse faite sur les différents convertisseurs [10].

Paramètres	Gain en tension $\left(\frac{V_s}{V_e}\right)$
Convertisseurs	
BOOST	$\frac{1}{1 - \alpha}$
BUCK-BOOST	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$
BUCK	α

α : Rapport siclique

I.4 Lest composent Transistor(MOSFET et IGBT)

I.4.1 Transistor MOSFET

C'est un transistor de champ avec un canal de transmission à base de matériaux semi-conducteurs, où les **MOSFET** sont constitués de trois bornes : la source, le drain et la grille, où une couche isolante sépare le corps et la grille (blanc) ; La tension appliquée à la grille contrôle le courant électrique passant de la source à l'aval, comme dans la triode, où la tension de grille contrôle le courant passant de la cathode à l'anode.

Les **MOSFET** sont utilisés avec une tension et un courant élevés, ils sont donc largement utilisé dans les applications à haute puissance.

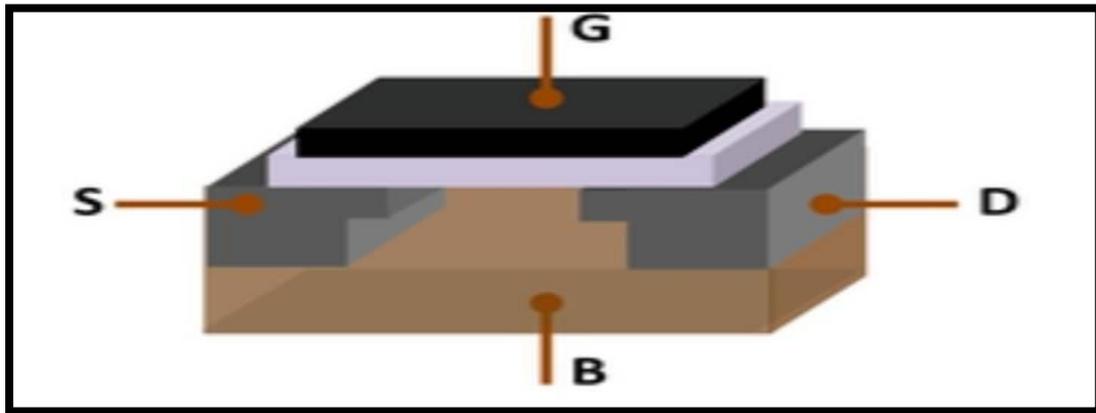


Figure I.12 Symbole d'un transistor MOSFET.

I.4.2 Transistor IGBT

Un transistor IGBT a trois bornes comme suit :

- ✓ côté du complexe (Collecteur).
- ✓ côté de la porte (Grille).
- ✓ la partie émettrice (Emetteur).
- ✓ Sa fonction consiste à contrôler le courant passant entre les bornes du collecteur C et l'émetteur E par la tension appliquée sur la grille G sans consommer de courant.
- ✓ Il est utilisé dans de nombreuses applications, notamment dans le domaine de l'électronique de puissance

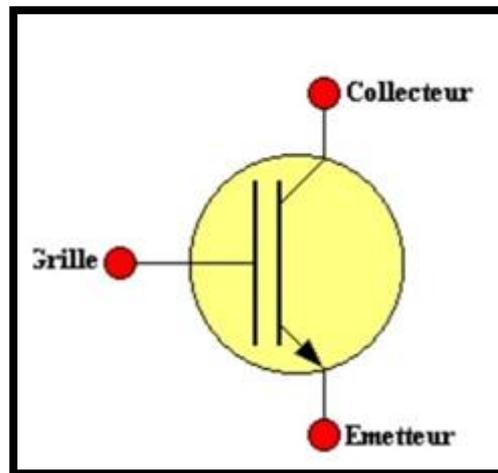


Figure I.13 Symbole d'un transistor IGBT [11].

Tableau I.2 Comparaison entre MOSFET et IGBT.

Transistor IGBT	Transistor MOSFET	Propriétés
Supérieur à 1K V	Moins de 1K V	Tension de tenue
Supérieur à 500A	Moins de 200A	Courant de tenue
Tension 8V	Tension 10V	Contrôle de tension ou de courant
Haut	Haut	Résistance interne
Faible	Moyen	résistance externe
Moyen	Rapide	Vitesse de commutation
Haut	Moyen	Coût

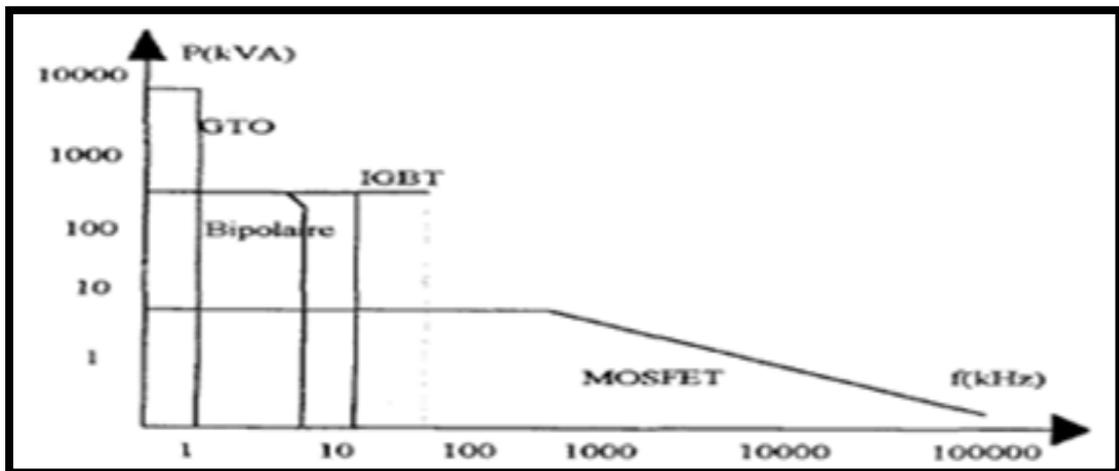


Figure I .14 Position de " IGBT&MOSFET" par rapport aux autres composants [11].

De par sa constitution, l'IGBT cumule les avantages des deux technologies : facilité de commande, rapidité et faibles pertes en moyenne tension.

Dans les applications hautes tensions, l'IGBT est la solution aux faibles densités de courant du MOSFET. Il présente une aire de sécurité (S.O.A) rectangulaire, bien plus large que celle du transistor bipolaire [11] .

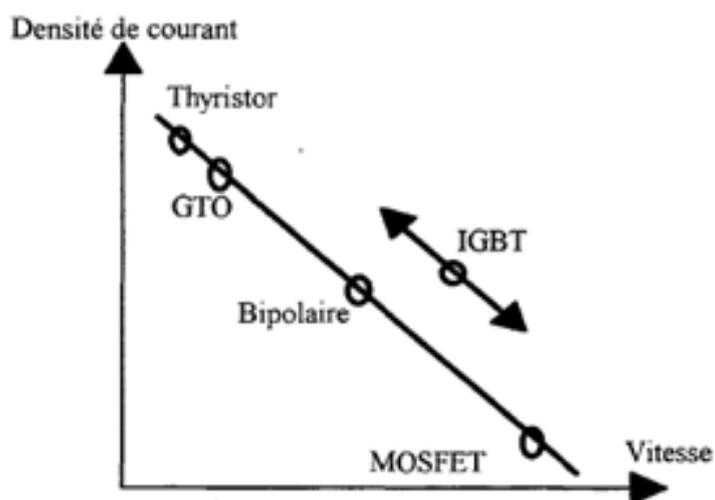


Figure I.15 Position de l'IGBT et MOSFET

I.5 Charge (Système de stockage "batteries, condensateur")

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système [12].

I.6 Les différents technique de Commandes MPPT

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

I.6.1 MPPT indirecte

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 en 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. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de la tension de circuit ouvert du générateur, la méthode de court-circuit etc.... [13].

I.6.2 MPPT Directe

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. La détermination de la valeur de la puissance du générateur PV est 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. Si la puissance de sortie est plus grande, alors la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle sera inversée. 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. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode de différenciation, la méthode Perturbe & Observe

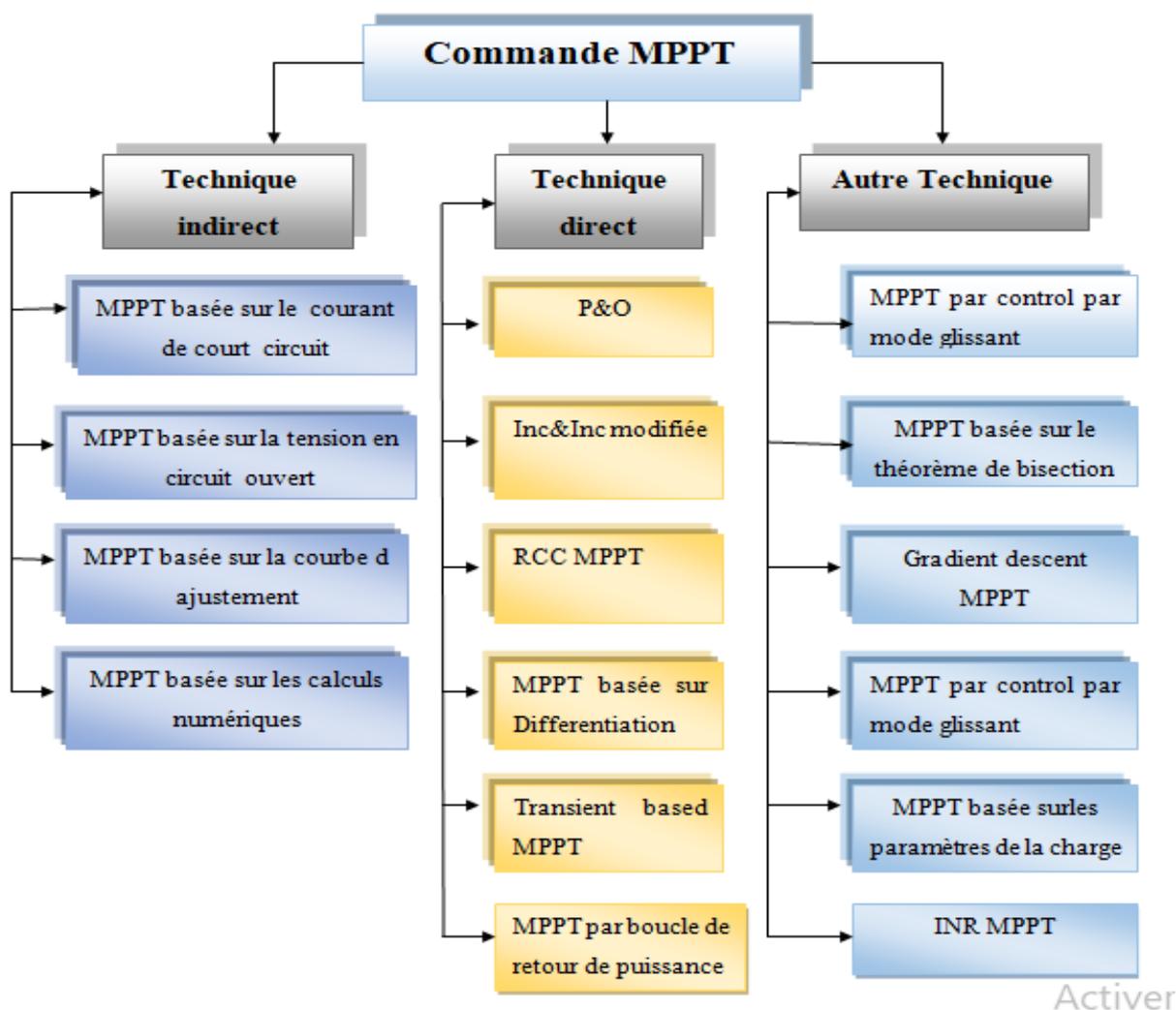


Figure 1.16 Organigramme de classification des commandes MPPT.

I.7 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que l'énergie photovoltaïque est plus utile que les ressources fossiles. Par conséquent, nous avons présenté les types de systèmes photovoltaïques et les éléments de base de ce système, à savoir la cellule solaire et ses types, et nous avons étudié les transformateurs DC-DC appelés hacheurs et ses types pour augmenter ou diminuer la tension de sortie du générateur électrique.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons la modélisation du système photovoltaïque.

Chapitre II :
Modélisation de
systeme
photovoltaïque

II.1 Introduction

Un système photovoltaïque (PV) est un ensemble d'éléments (constituants) de production d'électricité, en utilisant une source solaire. Ces constituants sont essentiellement le champ PV, le conditionnement de puissance, le système de stockage (dans un certain cas), et la charge. Le conditionnement de puissance peut comprendre: un régulateur seul, un régulateur avec un convertisseur (DC /DC ou/et DC/ AC) ou un convertisseur seul [14].

Depuis la généralisation de l'utilisation de l'électricité, la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter, le problème de la conversion et du stockage de l'énergie a conduit à la recherche et au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. Le système photovoltaïque est l'une des applications prometteuses de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque [15]. Généralement, un système photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque, un hacheur, et Onduleur. Le système photovoltaïque étudié fonctionne au fil du soleil. Dans ce chapitre on présente la modélisation et simulation individuelle de chaque élément de l'architecture du système photovoltaïque (GPV –Achour-Onduleur).

Dans ce chapitre, nous allons introduire des modèles et des composants du système photovoltaïque, trouver des équations mathématiques, puis le simuler et analyser les résultats .

II.2 Modélisation GPV

Un GPV présente des caractéristiques $I(V)$ non linéaires avec des PPM. Ces caractéristiques dépendent entre autre du niveau d'éclairement et de la température de la cellule. De plus, selon les caractéristiques de la charge sur laquelle le GPV débite, nous pouvons trouver un très fort écart entre la puissance potentielle du générateur et celle réellement transférée à la charge en mode connexion directe. Afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV et de la transférer à la charge, la technique utilisée classiquement est l'introduction d'un étage d'adaptation entre le GPV et la charge comme il est présenté la figure (II.1). Cet étage joue le rôle d'interface entre les deux éléments en assurant à travers une action de contrôle [16]. Afin de stocker de l'énergie électrique dans une batterie pour en cas de

production d'énergie surchargée ou déchargée en cas de pénurie pour réaliser le transfert d'énergie dans les deux sens.

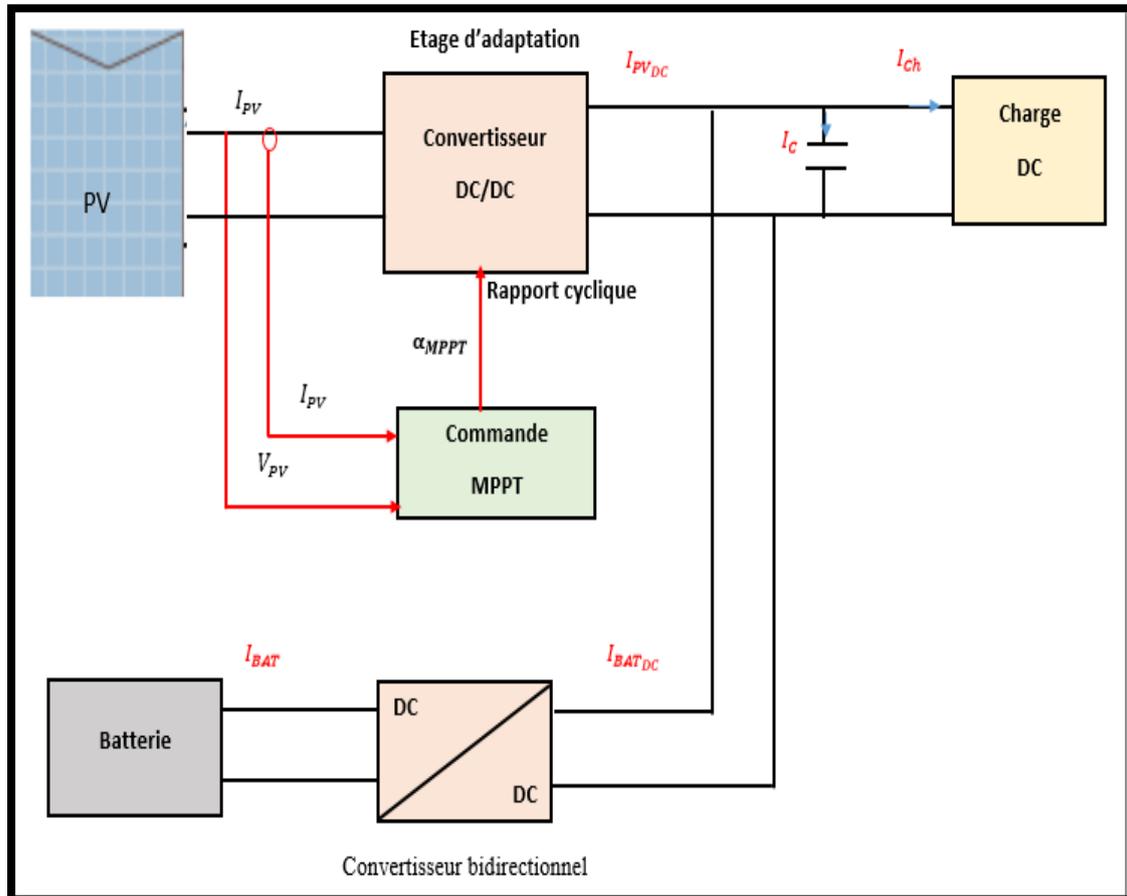


Figure II.1 Association de l'étage d'adaptation entre le générateur et la charge.

L'étage d'adaptation utilisé entre un générateur photovoltaïque et une charge de type continue est un convertisseur statique (convertisseur de puissance DC/DC). La structure de conversion est choisie en fonction de la charge à alimenter soit survolteur ou dévolteur commandé en faisant varier le rapport cyclique du convertisseur selon un algorithme afin d'extraire à chaque instant le maximum de puissance.

II.3 Modélisation de system photovoltaïque

De nombreux modèles mathématiques de modules photovoltaïques, ont été développés, dont le but est l'obtention de la caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension pour l'analyse et l'évaluation des performances des systèmes photovoltaïques.

II.3.1 Modèle générateur photovoltaïque

Le panneau solaire se compose de plusieurs cellules solaires de type monocristallin, permettant la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Le circuit équivalent du modèle à une diode est illustré à la figure (II.2).

II.3.1.1 Modèle d'un diode

Les propriétés de la jonction PN et la réaction du semi-conducteur au rayonnement mènent au schéma du circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque représenté sur la figure (II.2).

C'est le modèle le plus cité dans la littérature, le module photovoltaïque est caractérisé par son schéma électrique équivalent qui se compose d'une source de courant qui modélise la conversion du flux lumineux en énergie électrique, une résistance shunt R_{sh} est une conséquence de l'état le long de la périphérie de la surface de la cellule, une résistance série R_s , une diode en parallèle qui modélise jonction PN.

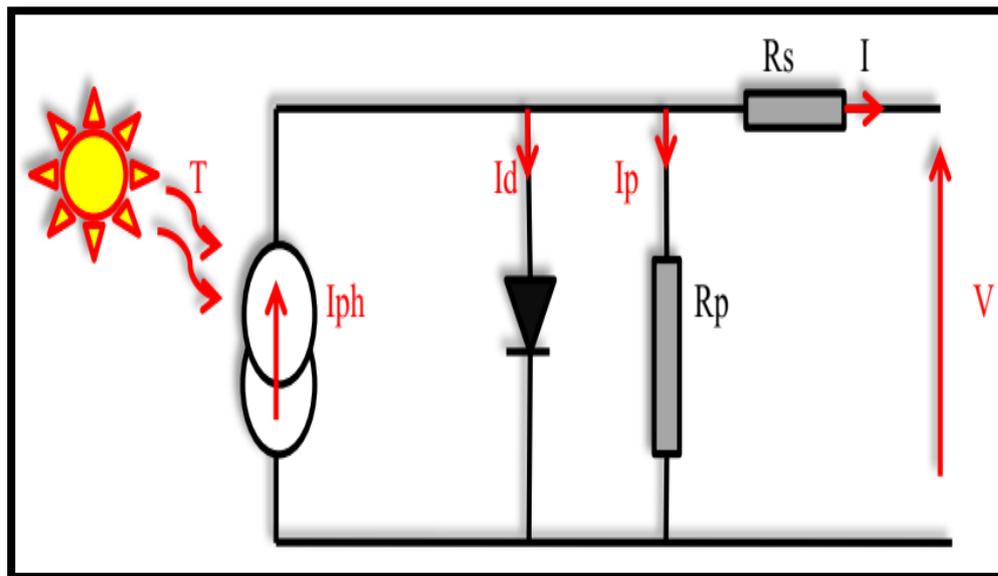


Figure II.2 Modèle équivalent à une diode[18].

Le courant généré par le module est donné par la loi de Kirchhoff :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (II.1)$$

Avec :

I : Le courant délivré par le module.

I_{ph} : Photo courant.

I : Courant de diode.

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

I_{sh} : Le courant shunt.

Le courant I_{PH} est directement dépendant des rayonnements solaires EG et de la température de la cellule T_j , est donné par la relation suivante :

$$I_{ph} = p_1 \cdot EG \cdot [1 + p_2 \cdot (EG - E_{ref}) + p_3 \cdot (T_j - T_{jref})] \quad (II.2)$$

La température de la cellule peut être calculée comme suit :

$$T_j = T_a + EG \cdot \left(\frac{N_{OCT}^{-20}}{800} \right) \quad (II.3)$$

Où :

T_a : Température ambiante.

N_{OCT} : Condition de température nominale de fonctionnement de la cellule qui est donnée par le constructeur (45°C).

Le courant de la diode est donné par :

$$I_d = I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s \cdot I)}{A \cdot n \cdot k \cdot T_j} \right) \right] \quad (II.4)$$

Avec :

$$I_s = P_4 \cdot T_j^3 \cdot \exp \left(\frac{-E_g}{k \cdot T_j} \right) \quad (II.5)$$

Le courant de la résistance shunt est calculé par :

$$I_{sh} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (II.6)$$

Le courant total est donné par :

$$I = P_1 \cdot EG \cdot [1 + P_2 \cdot (EG - E_{ref}) + P_3 \cdot (T_j - T_{jref})] \cdot [P_4 \cdot T_j^3 \cdot \exp(-E_g / k \cdot T_j)] \cdot [\exp(q(V + R_s \cdot I) / A \cdot n \cdot k \cdot T_j) - 1] - v + R_s \cdot I + R_{sh} \cdot I \quad (II.7)$$

Avec :

EG : irradiation solaire.

P_1, P_2, P_3, P_4 : Paramètres.

E_{ref} : irradiation de référence 1000 W/m².

T_j : température de la cellule.

T_{ref} : température de référence 25°C.

E_g : Energie de gap pour le silicium cristalline 1.12 eV.

A : Facteur d'idéalité de la jonction.

n : nombre de cellules en séries dans un module 72.

R_s : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shunt.

q : La charge d'électron $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

k : Constant de Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

II.3.1.2 Modèle a deux diode

Le fonctionnement d'une cellule solaire peut être modélisé en considérant le schéma électrique équivalent ci-dessous figure (II.3).

On considère le cas d'une cellule solaire idéale comprenant une source de courant et deux diodes en parallèles. La source de courant I_{ph} modélise le courant photo-généré. Les branches de chacune des diodes représentent respectivement le courant de diffusion dans la base et l'émetteur ($d1$), et le courant de génération-recombinaison ($d2$). Pour envisager le cas d'une cellule solaire réelle, le circuit équivalent doit intégrer [4] :

Une résistance série R_s , qui modélise les pertes résistives au sein de la photopile et donc les métallisations. Une résistance parallèle R_p , modélisant les courants de fuite qui court-circuitent la jonction (fuites par les bords de la cellule et au niveau de la jonction).

Le courant généré par le module est donné par :

$$I = I_{ph} - (I_{d1} + I_{d2} + I_{sh}) \quad (\text{II.8})$$

Avec

$$I_{d1} = I_{01} \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{A \cdot n \cdot K \cdot T_j}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.9})$$

$$I_{d2} = I_{02} \left[\exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{2 \cdot n \cdot A \cdot K \cdot T_j}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.10})$$

$$I_{01} = P_{04} \cdot T_j^3 \exp\left(\frac{-E_g}{k \cdot T_j}\right)$$

$$I_{02} = P_{14} \cdot T_j^3 \exp\left(\frac{-E_g}{2 \cdot k \cdot T_j}\right)$$

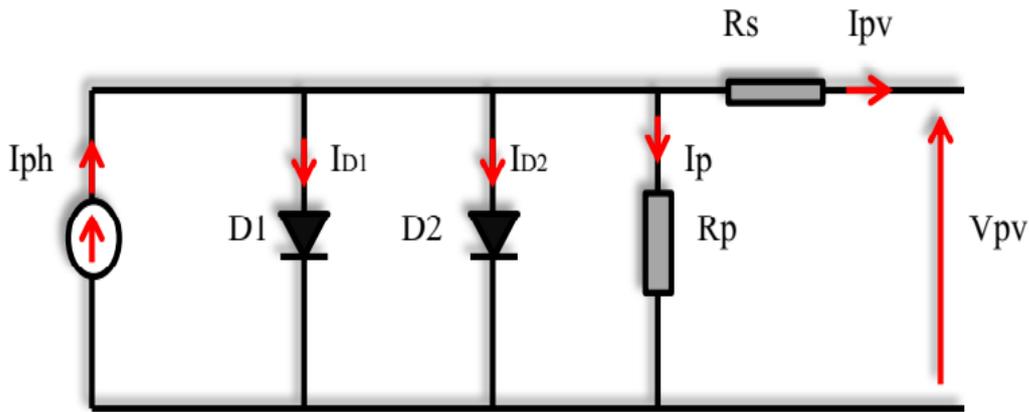


Figure II.3. Modèle équivalent à deux diodes [18].

I_{Ph} et I_{sh} garderont les mêmes expressions que celles du modèle à une diode. Le courant total s'écrit :

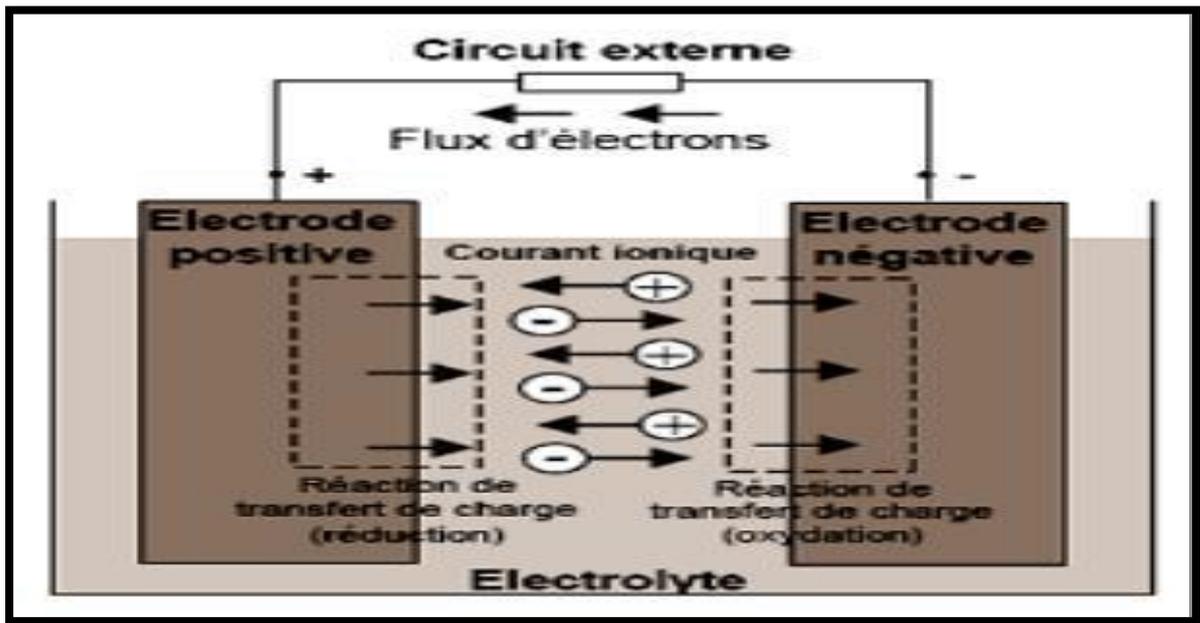


Figure II.4 Cellule électrochimique de base [18].

$$I = P_1 \cdot E_G \cdot \left[1 + P_2 \cdot (E_G - E_{ref}) + P_3 \cdot (T_j - T_{jref}) \right] - \frac{V + R_S \cdot I}{R_{sh}}$$

$$\left[-P_{04} \cdot T_j^3 \cdot \exp\left(\frac{E_g}{K \cdot T_1}\right) \right] \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + R_S I)}{A \cdot n \cdot K \cdot T_j}\right) - 1 \right]$$

$$\left[-P_{14} T_j^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{2KT_j}\right) \right] \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + R_S I)}{2nA \cdot K \cdot T_j}\right) - 1 \right]$$

II.3.2 Convertisseur DC/DC (hacheur)

II.3.2.1 Modélisation du convertisseur côté PV (hacheur)

Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteur électronique commandable à l'ouverture et à la fermeture tels que les thyristors GTO ou les transistors bipolaires ou à effet de champ à grille isolée fonctionnant en régime de commutation. Le principe d'un hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide de l'interrupteur électronique. Celui-ci doit pouvoir être fermé ou ouvert à volonté afin d'avoir une tension de sortie continue réglable [18].

Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source continue à amplitude variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante. Les trois configurations de base sont :

- ✓ Convertisseur survolteur hacheur survolteur (ou parallèle) .
- ✓ Convertisseur dévolteur (ou série) .
- ✓ Convertisseur dévolteur- survolteur hacheur série - parallèle.

II.3.2.2 Représentation d'un hacheur survolteur :

Un convertisseur élévateur dit Boost permet de convertir une tension d'entrée continue en une autre tension continue aussi en sortie mais de valeur supérieure à celle de l'entrée. C'est pour cela qu'il est dit élévateur de tension [19].

La figure (II.5) montre la représentation d'un convertisseur DC/DC, qui peut être utilisé comme interface entre la source et la charge.

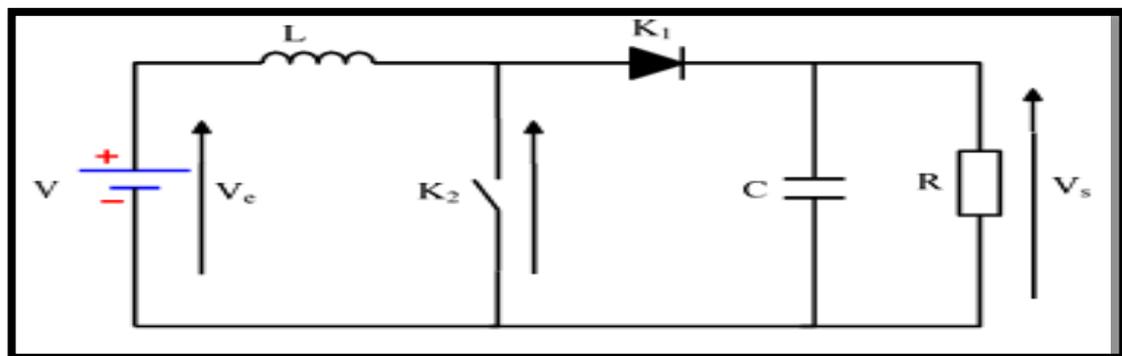


Figure II .5 Schéma d'un convertisseurs DC-DC (Boost) [18].

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

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 [20].

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

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

Type	Fonction	Interrupteur	Diode	Transformateur	Complexité
Buck	Abaisseur	1	1	Non	Faible
Boost	Elévateur	1	1	Non	Faible
Buck_Boost	Abaisseur/Elévateur	1	1	Non	Faible
Fly back	Abaisseur/Elévateur	1	1	Qui	Moyen
Half Forward	Abaisseur/Elévateur	1	1	Qui	Moyen
Push Pull	Abaisseur/Elévateur	2	2	Qui	Fort
Half Bridge	Abaisseur/Elévateur	2	2	Qui	Fort
Full Bridge	Abaisseur/Elévateur	4	4	Qui	Fort

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 [14].

II.3.2.3 Avantage de convertisseur BOOST

Malgré le rendement élevé du convertisseur BUCK dans les systèmes avec des sources de puissance conventionnelles, le convertisseur BOOST peut être plus approprié aux systèmes photovoltaïques avec le suiveur du point de puissance maximale (MPPT) puisque le convertisseur fonctionne au mode de courant continu extrayant autant de puissance que possible à partir des cellules solaires. Par conséquent le rendement énergétique du convertisseur BOOST peut être plus grand que le convertisseur BUCK. Le convertisseur BOOST est généralement employé pour obtenir une tension plus élevée de sortie, tandis que le convertisseur BUCK est employé pour abaisser la tension de sortie [14].

II.3.2.4 Modélisation d'un hacheur survolteur :

Considérons l'exemple de la figure(2.6)correspondants 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[18]:

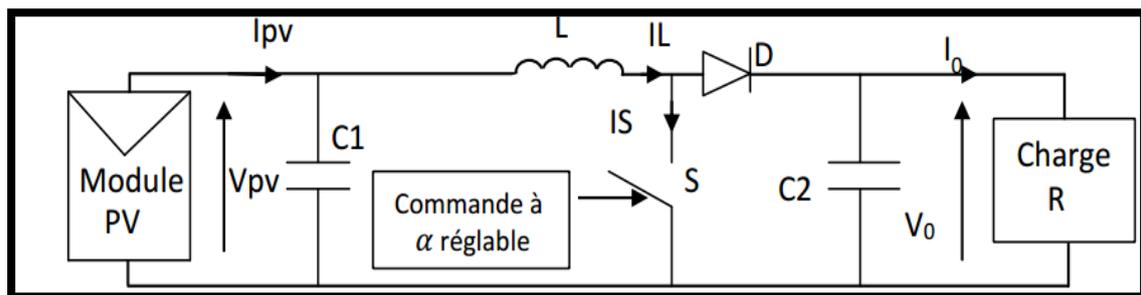


Figure II.6 Exemple de convertisseur statique DC-DC pouvant être utilisé comme adaptateur entre un générateur PV et une charge[18].

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.

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

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) [31].

L'application des lois de Kirchhoff sur les deux circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donne :

Pour le premier intervalle αT_S :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad (\text{II.11})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = -I_0 \quad (\text{II.12})$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - R_L I_L - I_L \quad (\text{II.13})$$

Pour le deuxième intervalle $(1 - \alpha)T_S$:

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad (\text{II.14})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_0}{dt} = I_L - I_0 \quad (\text{II.15})$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - R_L I_L - V_0 N \quad (\text{II.16})$$

Les systèmes d'équations de base (II.14 et II.15) représentent le convertisseur Boost pour un intervalle du temps αT_S et $(1 - \alpha) T_S$ respectivement. Le convertisseur oscillant entre ces deux états avec une fréquence élevée, nous devons trouver une représentation dynamique approximée valable pour les deux intervalles de temps.

Pour cela nous considérons que la variation des variables dynamiques C_1 , V_L est de forme linéaire, en d'autres termes nous pouvons faire une approche d'exponentielle par un segment et ainsi la dérivée de ces grandeurs sera constante.

Cette approche nous permet de décomposer l'expression de la valeur moyenne de la dérivée de la variable dynamique x sur les deux intervalles du temps αT_S et $(1 - \alpha) T_S$:

$$\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle_{T_S} = \frac{dx}{dt_{(\alpha T_S)}} \alpha T_S + \frac{dx}{dt_{((1-\alpha)T_S)}}$$

Où $\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle$ est la valeur moyenne de la dérivée de x sur un intervalle T_S . Cette relation est valide

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

$\frac{dx}{dt(\alpha t_s)}$ et $\frac{dx}{dt((1-\alpha)t_s)}$ sont constants sur les intervalles αT_s et $(1-\alpha)T_s$ respectivement

Dans ce cas la forme exponentielle du courant qui parcourt la self et la tension aux bornes de la capacité est de forme linéaire comme le montre la figure (II.7)

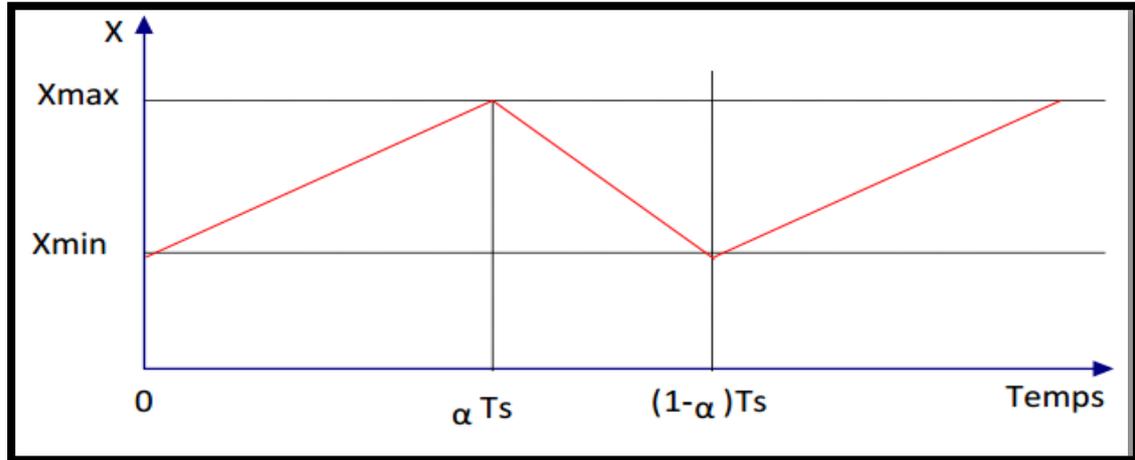


Figure II.7 courant et tension a des formes linéaire [18].

En appliquant la relation (II.15) sur les systèmes d'équations (II.14) obtient les équations qui régissent le système sur un intervalle entier :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dv_{PV}}{dt} \alpha T_s = (I_{PV} - I_L) \alpha T_s + (1 - \alpha) T_s (I_{PV} - I_L)$$

$$I_{C2} = C_1 \frac{dv_{PV}}{dt} \alpha T_s = -\alpha T_s I_0 + (1 - \alpha) T_s (I_L - I_0)$$

$$V_L = L \frac{dv_L}{dt} \alpha T_s = (V_L - R_L I_L) \alpha T_s + (1 - \alpha) T_s (V_{PV} - R_L I_L - V_0)$$

En arrangeant les termes des équations précédentes, (pour qu'on puisse interconnecter le Boost avec les autres blocs de simulation), on obtient la modélisation dynamique du convertisseur Boost

$$I_{C1} = I_{PV} - C_1 \frac{dv_{PV}}{dt}$$

$$I_0 = (1 - \alpha) I_L - C_2 \frac{dv_0}{dt}$$

$$V_{PV} = +(1 - \alpha) V_0 - L \frac{dv_L}{dt} + R_L I_L$$

II.3.2.4 Hacheur BOOST [18]

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure (II.9) présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c-à-d d'entre $[0, D_{Te}]$.

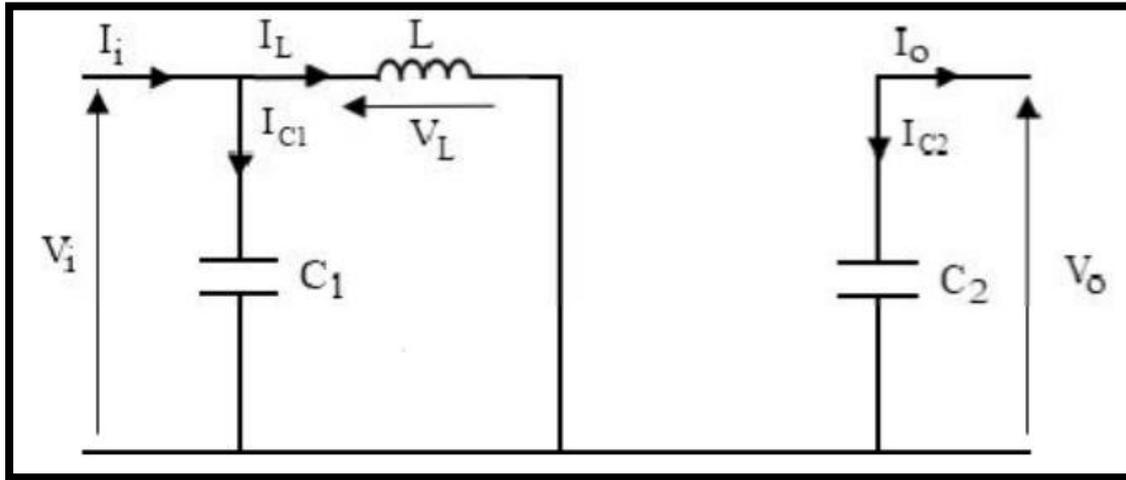


Figure II.8 Schéma électrique d'un hacheur boost fermé [18].

Comme pour le circuit buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donnent les calculs suivantes :

$$I_{c1}(t) = C1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t)$$

$$I_{c2}(t) = C2 \frac{dV_O(t)}{dt} = -I_O(t)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = -V_i(t)$$

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

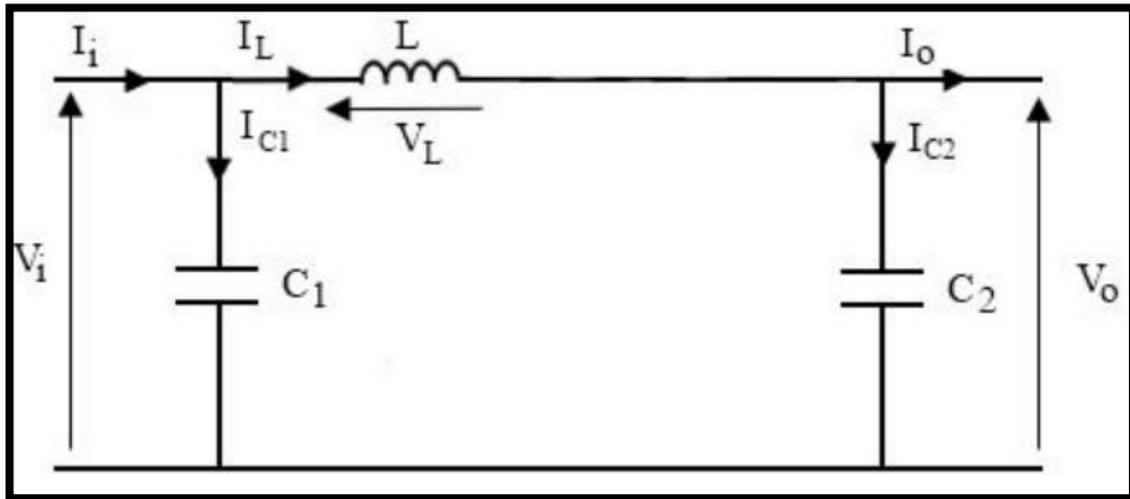


Figure II.9 Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert [18].

$$I_{C1}(t) = C1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t)$$

$$I_{C2}(t) = C2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t)$$

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t)$$

II.4 Modélisation de commande MPPT

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

Ce type de commandes MPPT exécute une recherche du MPP selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. La commande nécessite alors la mesure du courant et de la tension en entrée du convertisseur. D'autres types de commandes MPPT sont basées sur la régulation du courant du GPV, supposant que ce dernier soit une image proportionnelle à la puissance. Ceci permet de s'approcher le plus proche possible du courant optimal I_{opt} . Ce type de commande ayant besoin d'un seul capteur est plus facile à mettre en œuvre et a un coût bas.

II.5 Commandes MPPT fonctionnant à partir des paramètres de sortie du convertisseur

Dans la littérature, il existe des algorithmes basés sur les paramètres de sortie du CS. En effet, ce type utilise la tension et le courant de sortie du CS ou alors uniquement l'un des deux.

Les commandes MPPT basées sur la maximisation du courant de sortie 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, plus l'étage de conversion est bon, plus cette approximation est valable.

Par contre, tous les systèmes avec un seul capteur sont imprécis. La plupart de ces systèmes ont été conçus à l'origine pour le spatial. On peut voir dans le tableau (2.2) les méthodes les plus utilisées :

Tableau II.2 Récapitulatif des méthodes utilisées.

Méthode MPPT	type	complexité	Analogique/numérique	Vitesse de convergence	Paramètres détectés	Efficacité
Tension de circuit ouvert	Indirect	Faible	Mixte	Moyenne	Tension	Faible (= 86%)
Courant de court-circuit	Indirect	Moyenne	Mixte	Moyenne	courant	Faible (= 89%)
(P&O)	direct	Moyenne	Numérique	Rapide	Tension & courant	Haute (= 96%)
ESC	direct	Moyenne	Numérique	Rapide	Tension & courant	Haute (= 97%)
IncCond	direct	Moyenne	Mixte	dépend	Tension & courant	Haute

II.5.1 Les algorithmes MPPT :

II.5.1.1 Méthode de conductance incrémentale (Inc Cond) :

La méthode de la conductance incrémentielle (IncCond) utilise la pente des caractéristiques de puissance du générateur PV pour suivre le MPP. Cette méthode est basée sur le fait que la pente de la courbe de puissance du générateur photovoltaïque

est nulle sur le point MPP, positive pour les valeurs de puissance de sortie inférieure à MPP et négative pour les valeurs de puissance supérieure à MPP [18].

II.5.1.2 La méthode de Perturbation et Observation P&O:

L'algorithme de poursuite du PPM est le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} où en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC/DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie du panneau. Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$, alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent. Dans notre travail, on a opté à la méthode de Perturbation et Observation (P&O), qui est très simple à implanter, et de bon[18] rendement.

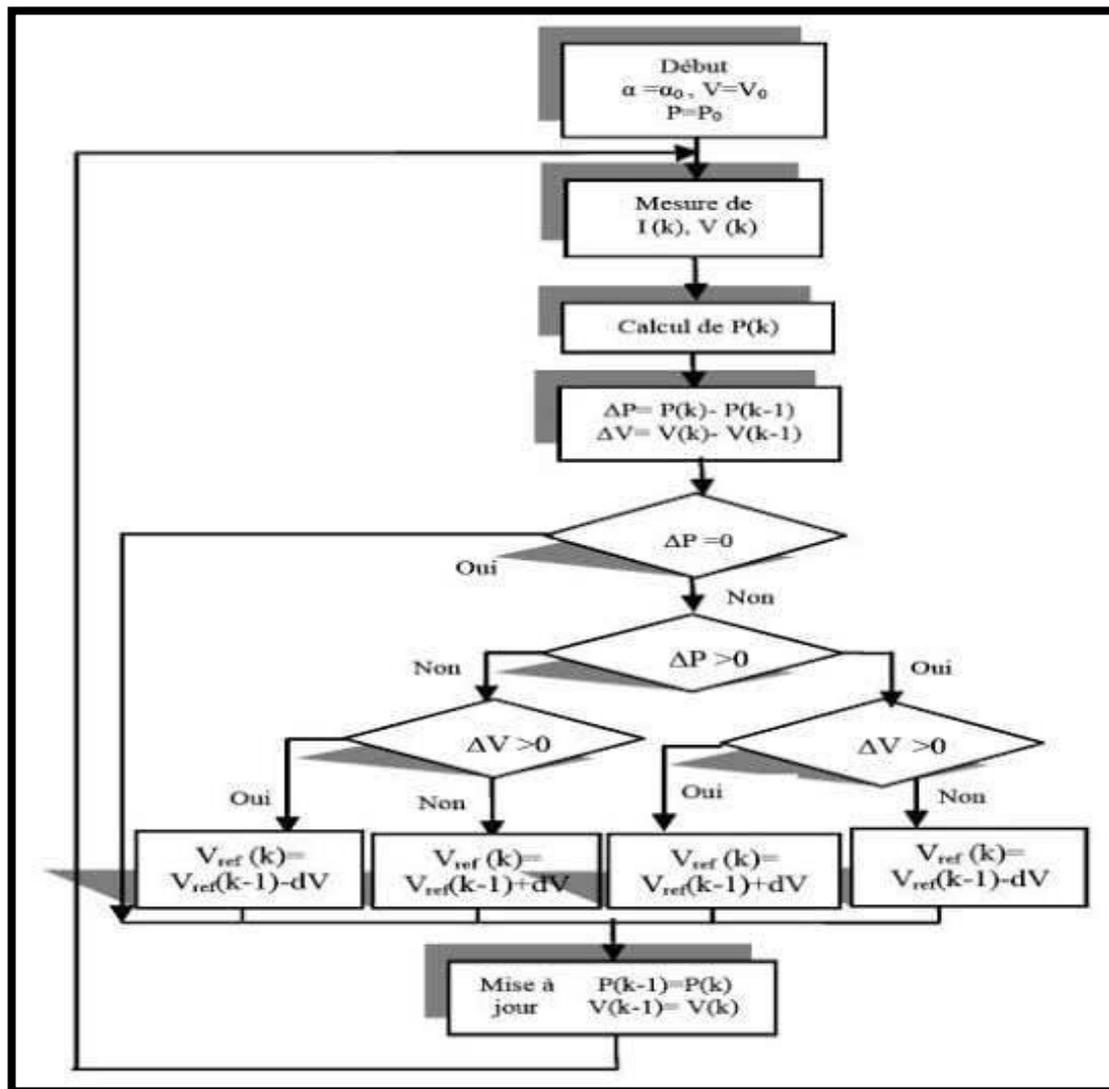


Figure II. 10 organigrammes de l'algorithme [9].

Avec :

C_p : la largeur du pas d'une perturbation simple

D'abord la tension V et le courant I sont mesurés pour calculer la puissance (k). Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur de la puissance obtenue durant la dernière mesure ($k-1$).

Si la puissance fournie par le panneau (ou le générateur) a augmenté depuis la dernière mesure, l'incrément ou des incréments du rapport cyclique α continuera dans le même sens que lors du dernier cycle et ceci est fait par le test sur dV .

Si $dV > 0$; cela veut dire qu'on a incrémenté V durant le dernier cycle c'est-à-dire

$$(k+1) = (k) + \Delta\alpha$$

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

Si $dV < 0$; cela veut dire qu'on a décrémente V durant le dernier cycle

C'est-à-dire qu'on va mettre: $(k+1) = (k) - \Delta\alpha$ Donc, on termine dans le chemin où P continue à augmenter.

Si la puissance fournie par le panneau (le générateur) a diminué depuis la dernière mesure, L'incrémentatation [du rapport cyclique α sera en sens inverse par rapport au dernier cycle et ceci est fait aussi par le test sur dv . Avec cet algorithme la tension de fonctionnement V est perturbée avec chaque cycle [8].

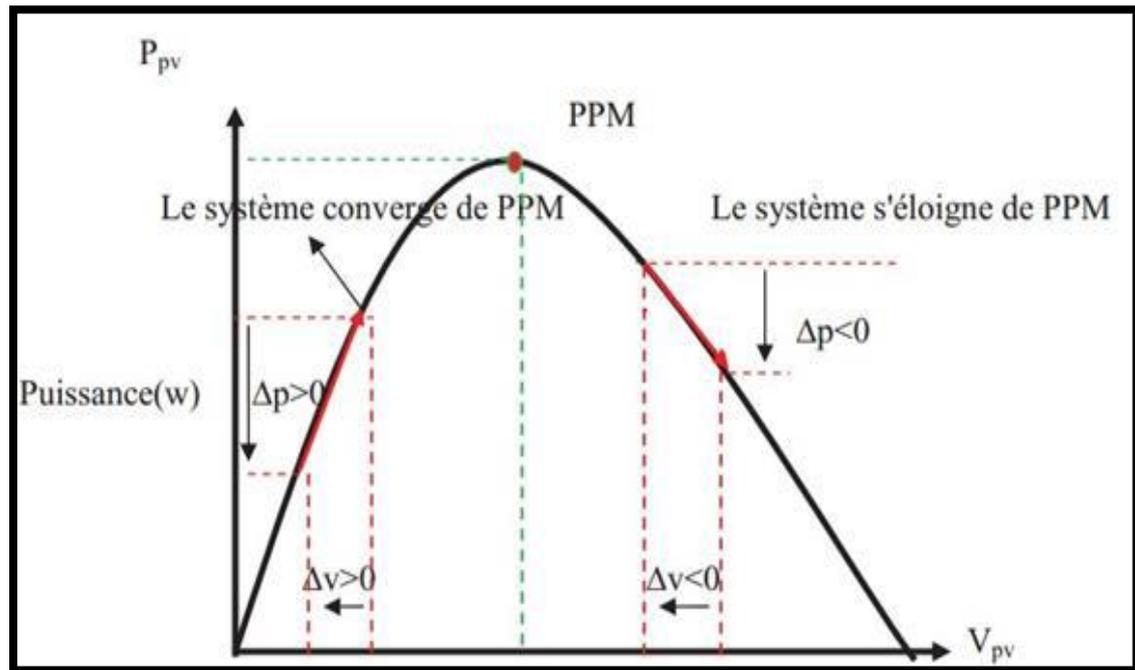


Figure II.11 Schéma de convergence vers le PPM par P&O.

II.6 Modélisation système globale

La simulation est réalisée à l'aide du logiciel Matlab/PSIM (Fig.II.12) (Fig.II.13).

La chaîne de conversion photovoltaïque a été entièrement modélisée et étudiée à l'aide du logiciel Matlab-PSIM.

Elle est composée de blocs fonctionnels programmés et simulés :

- ✓ GPV: simulant le fonctionnement d'un module et/ou d'un panneau photovoltaïque.
- ✓ Boost: simulant le fonctionnement d'un convertisseur de type Boost.

Chapitre II : Modélisation de système photovoltaïque

- ✓ Commande P&O: simulant la commande MPPT appliquée au convertisseur. La charge est égale à 100Ω .
- ✓ Paramètres météo: définissant les conditions d'ensoleillement et de température extérieure.

On applique les opérations suivantes:

- ✓ Le cas stable 1000 W/m^2 et $25 \text{ }^\circ\text{C}$.
- ✓ Le changement linéaire de la température.
- ✓ Le changement de l'ensoleillement (l'irradiante).

La méthode utilisée pour la modélisation est la méthode Perturb-Observe (P&O).

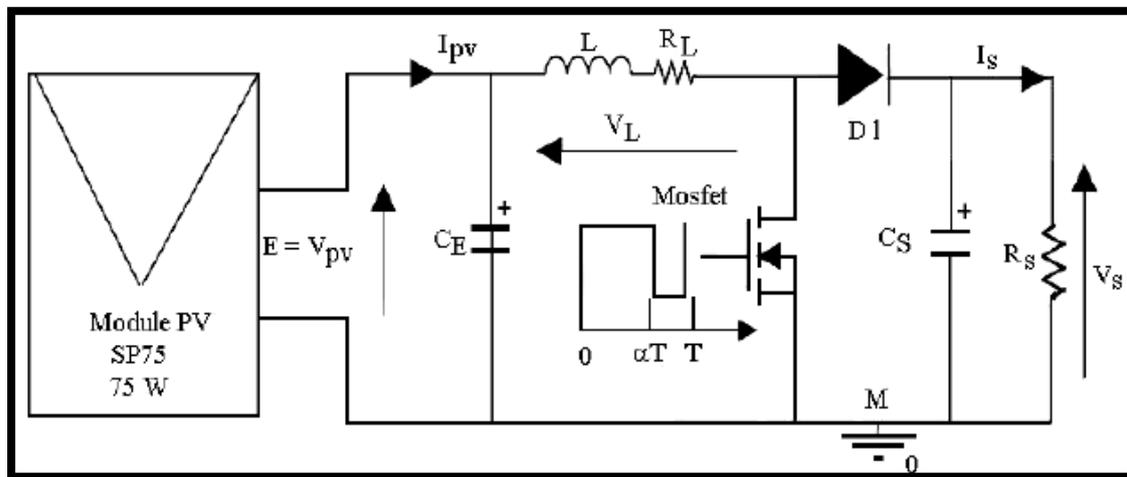


Figure II.12 Schéma modélisation système photovoltaïque avec MOSFAT

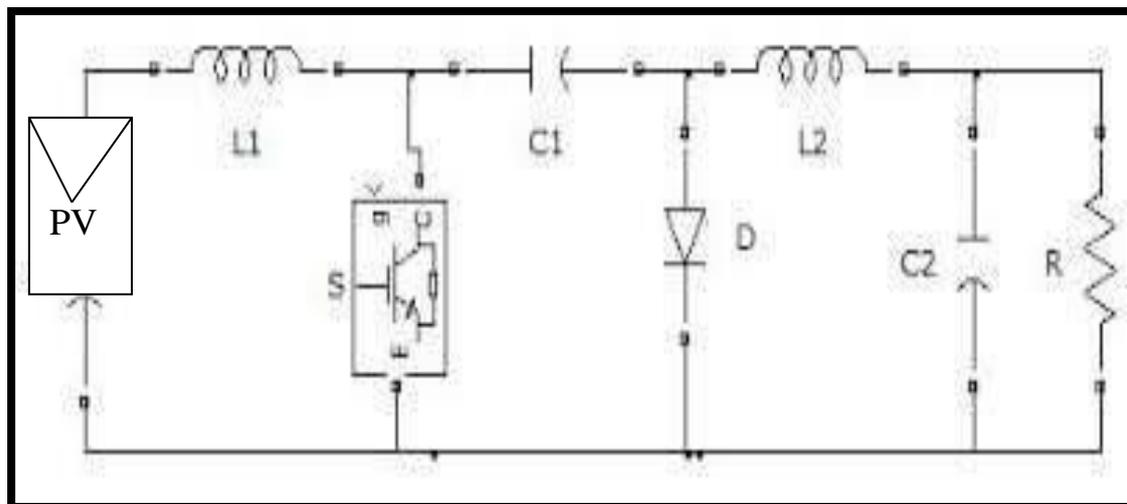


Figure II.13 Schéma modélisation système photovoltaïque avec IGBT.

II.7 Conclusion

La modélisation du système photovoltaïque est une étape essentielle qui nous permet d'introduire un certain nombre de modèles puis d'évaluer la caractéristique de chaque élément ainsi que les paramètres constituants. Dans ce chapitre nous avons présenté le système photovoltaïque ainsi une généralité sur les convertisseurs statiques de type DC-DC.

Ensuite, nous avons donné les différentes structures de chaque convertisseur Hacheur et l'onduleur. Enfin, nous avons nous avons donné la topologie d'un système photovoltaïque réseaux. Cette modélisation est une étape essentielle, elle va nous permettre d'étudier la simulation du système photovoltaïque relié à une grille dans le chapitre trois qui suivent.

Chapitre III :

Etude comparative

(Simulation &

Résultats)

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons effectué des simulations de la courbe I-V du module PV.

Ceci est le diagramme du convertisseur DC-DC par la commande MPPT.

Où nous avons utilisé deux logiciels de simulation "PSIM & MATLAB".

PSIM : qui est un programme de simulation pouvant être utilisé en électricité générale, en génie électrique et en électronique Il se compose de deux programmes:

MATLAB : C'est une plate-forme de programmation utilisée par les ingénieurs et les scientifiques pour créer des programmes de calcul

Ensuite, nous avons ajouté une sorte d'adaptateurs DC-DC par gonflement le MOSFET et l'IGBT Afin de visualiser le comportement de chaque commande MPPT

III.2 Présentation des logiciels (PSIM & MATLAB) :

III.2.1 Logiciel PSIM

Est un logiciel de simulation spécifiquement conçu pour des commandes de l'électronique de puissance et de moteur, fournit un environnement de simulation pour l'électronique de puissance, la commande numérique, et le système d'entraînement de moteur étudié, inclut le paquet de base, aussi bien que les options ajoutées suivantes :

- ✓ Module d'entraînement de moteur : aux modèles intégrés de machine et les modèles mécaniques de charge pour le système d'entraînement de moteur étudié.
- ✓ Module de Commande Numérique : fournit les éléments discrets tels que : le bloc de fonction de transfert, bloc de quantification, les filtres numériques pour l'analyse de système de commande numérique.
- ✓ Module de Sim Coupler : fournit l'interface entre PSIM et Matlab/Simulink pour la Co-simulation. Module thermique : fournit les possibilités pour calculer des pertes de dispositifs de semi-conducteur [20].

- ✓ L'environnement global de PSM :

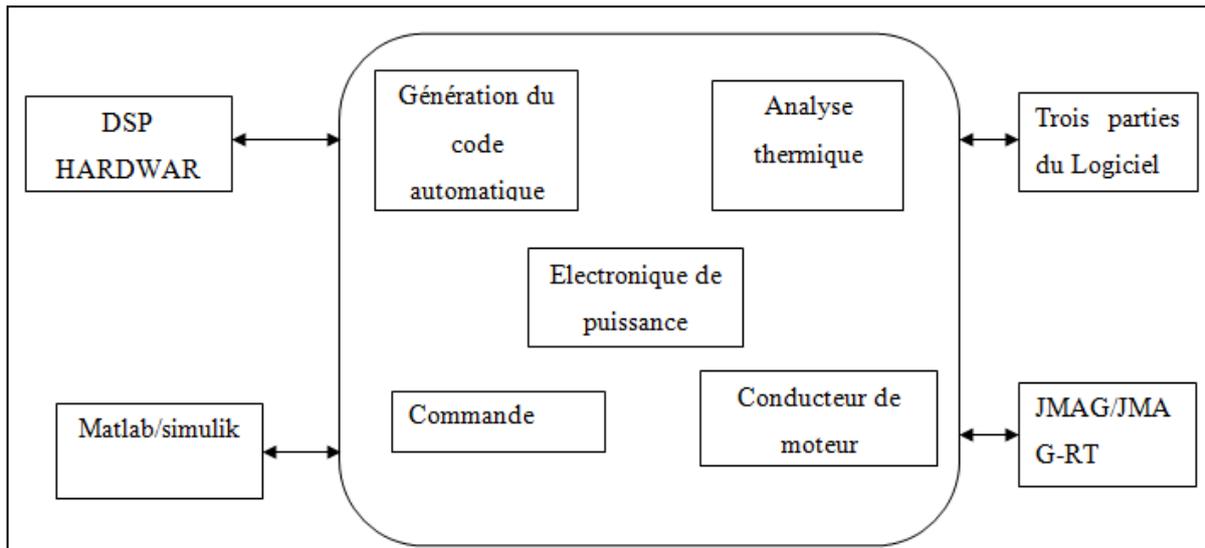


Figure III.1. Schéma globale du logiciel PSIM

III.2.2 Logiciel MATLAB

MATLAB est un logiciel de calcul matriciel à syntaxe simple. Avec ses fonctions spécialisées, MATLAB peut être aussi considéré comme un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques, MATLAB est un interpréteur dont les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne. MATLAB fonctionne dans plusieurs environnements tels que X-Windows, Windows, Macintosh. Il existe deux modes de fonctionnement:

- ✓ Mode interactif : MATLAB exécute les instructions au fur et à mesure qu'elles sont données par l'utilisateur.
- ✓ Mode exécutif : MATLAB exécute ligne par ligne un "fichier M" (programme en langage MATLAB).

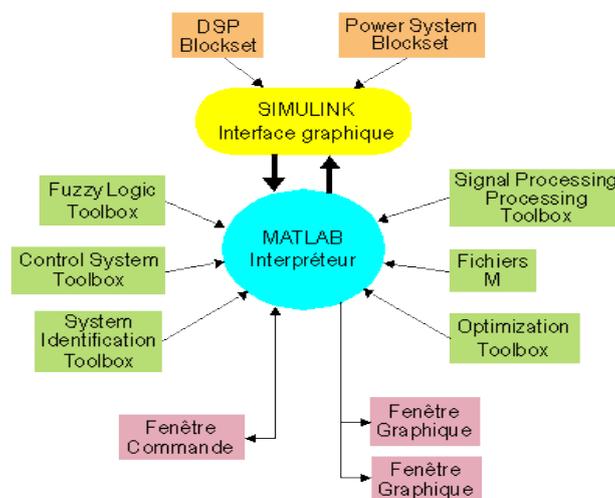


Figure III.2 Schéma globale du logiciel Matlab

III.3 Etude du Système photovoltaïque " DC/DC – boost "

III.3.1 Modèle avec MOSFET

Un système PV formé par un module, convertisseur d'énergie 'survolteur' et une charge R_s , montées en parallèle avec C_s et Interrupteur *Mosfet* commandé par un signal de période T et de rapport cyclique α :

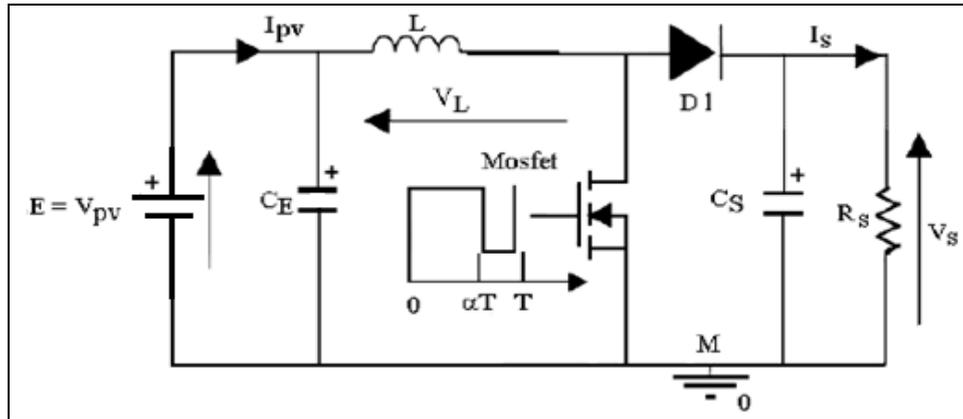


Figure III.3 Schéma électrique du Système photovoltaïque " DC/DC – boost " avec *MOSFET*

III.3.2 Modèle avec IGBT

Même système PV avec un Interrupteur *IGBT* :

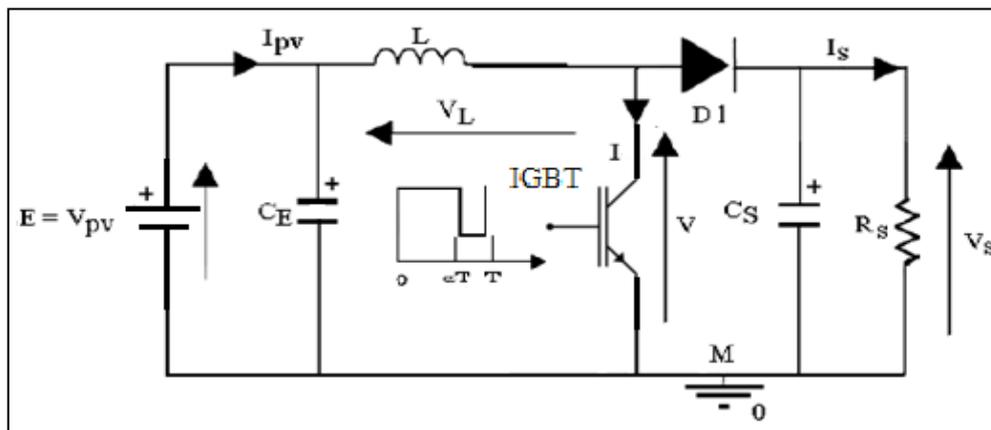


Figure III.4 Schéma électrique du Système photovoltaïque " DC/DC – boost " avec *IGBT*

III.3.3 Simulation et résultats

Garantissant l'extraction à chaque instant, du maximum de puissance disponible aux bornes du GPV en poursuivant à chaque instant, le PPM du GPV.

Chapitre III: Etude comparative (Simulation&Résultats)

Dans un système photovoltaïque, l'utilisation d'une commande MPPT est alors indispensable. À pour objectif de découvrir et d'avoir l'impact de la partie électronique dans le système photovoltaïque, Elle consiste à piloter le convertisseur statique " DC/DC – boost " avec MOSFET/IGBT " en agissant d'une manière automatique sur le rapport cyclique du convertisseur statique pour atteindre le PPM du GPV. La méthode et l'algorithme de poursuite du PPM qui ont été installé et mises en application sont "MPPT avec P&O" :

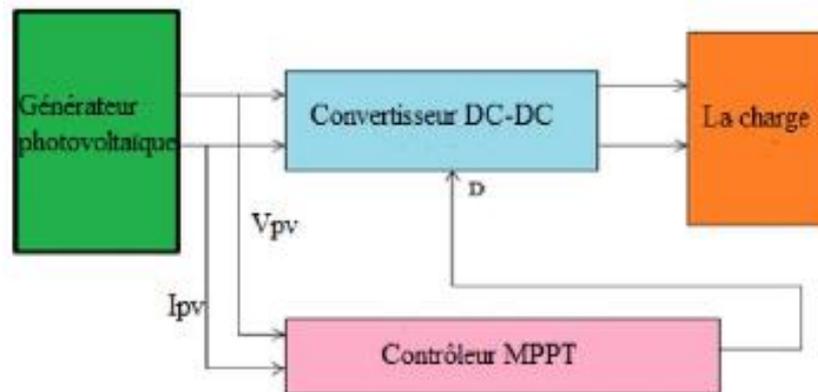


Figure III.4 Chaîne des organes de la simulation " conversion photovoltaïque avec convertisseur DC-DC contrôlé par une commande MPPT"

✓ En utilisant l'outil informatique "logiciel PSIME" pour la simulation "système-*MOSFET*":

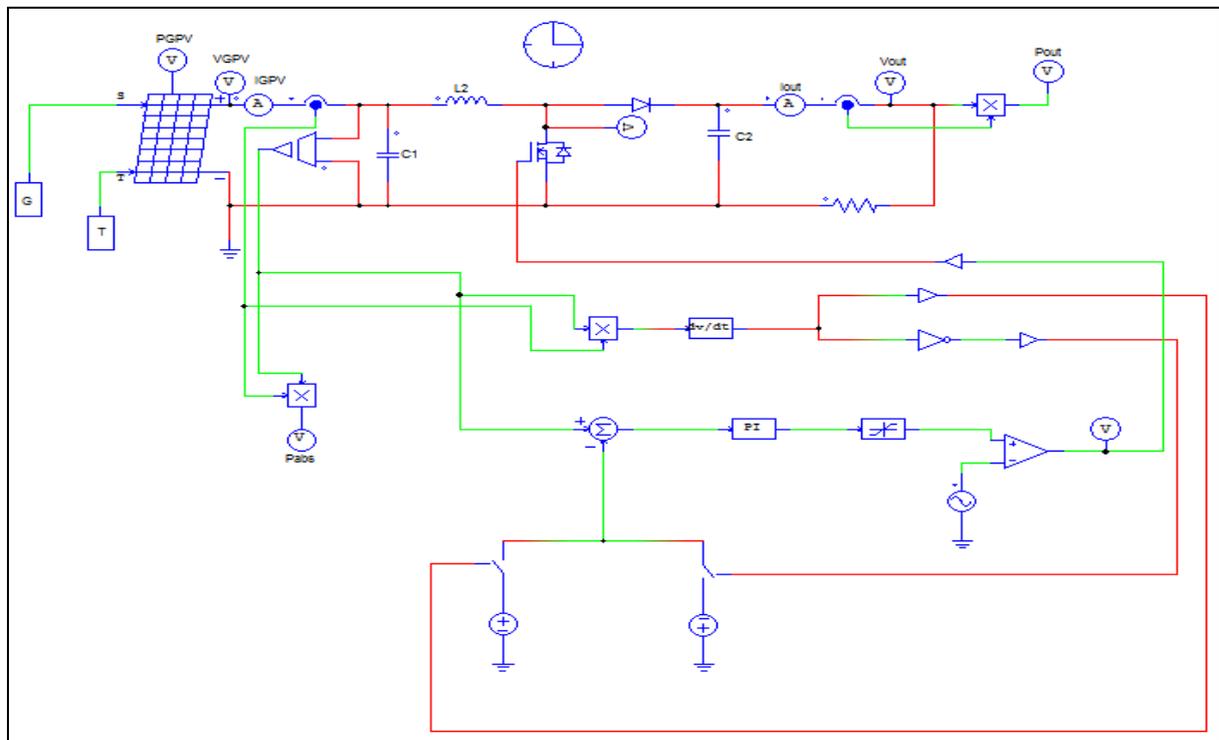


Figure III.5 Schéma de simulation en PSIM du "modèle-*MOSFET*" d'algorithme MPPT –PO

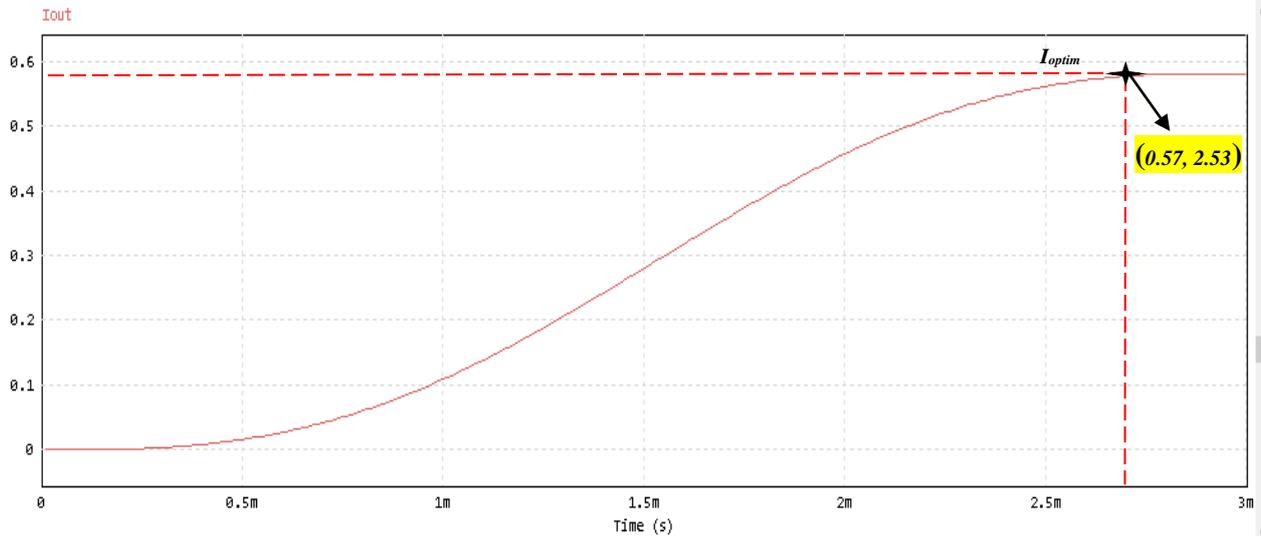


Figure 3.6 Allure courant de charge " $I(t)_{out}$ " en PSIM de " modèle-MOSFET "

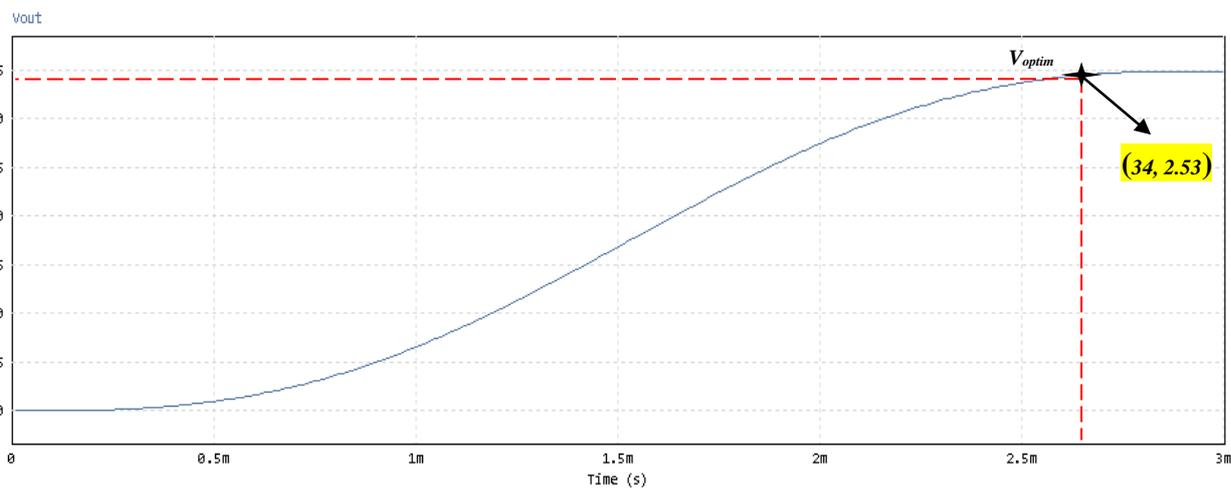


Figure III.7 Allure tension de charge " $V(t)_{out}$ " en PSIM de " modèle-MOSFET "

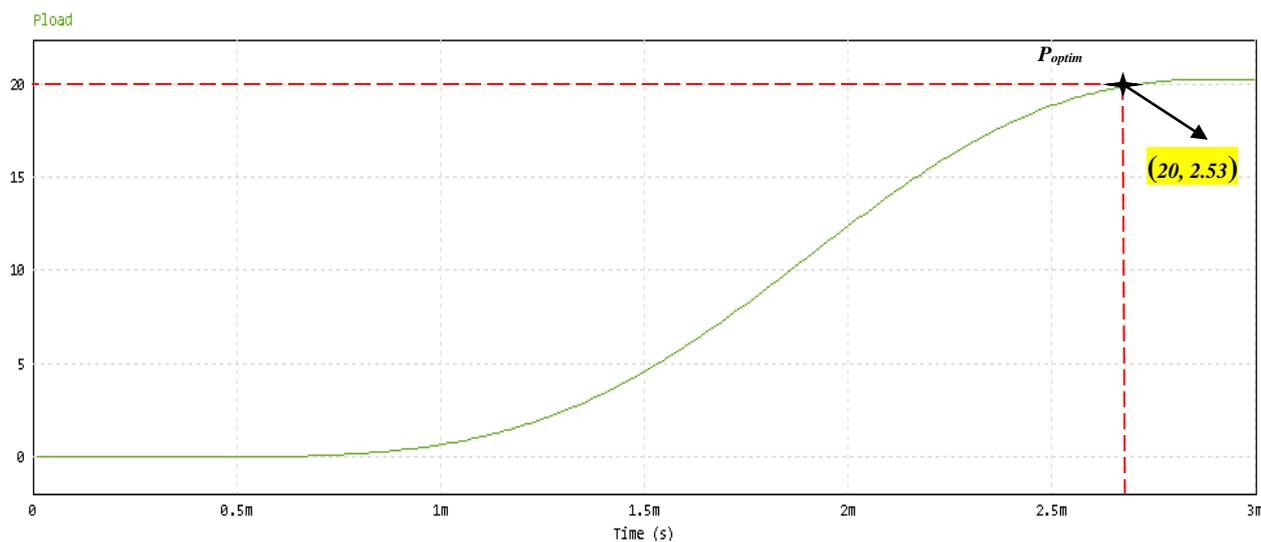


Figure III.8 Allure Puissance de charge " $P(t)_{out}$ " en PSIM de " modèle-MOSFET "

Chapitre III: Etude comparative (Simulation & Résultats)

✓ En utilisant l'outil informatique "logiciel MATLAB" pour la simulation "système-IGBT":

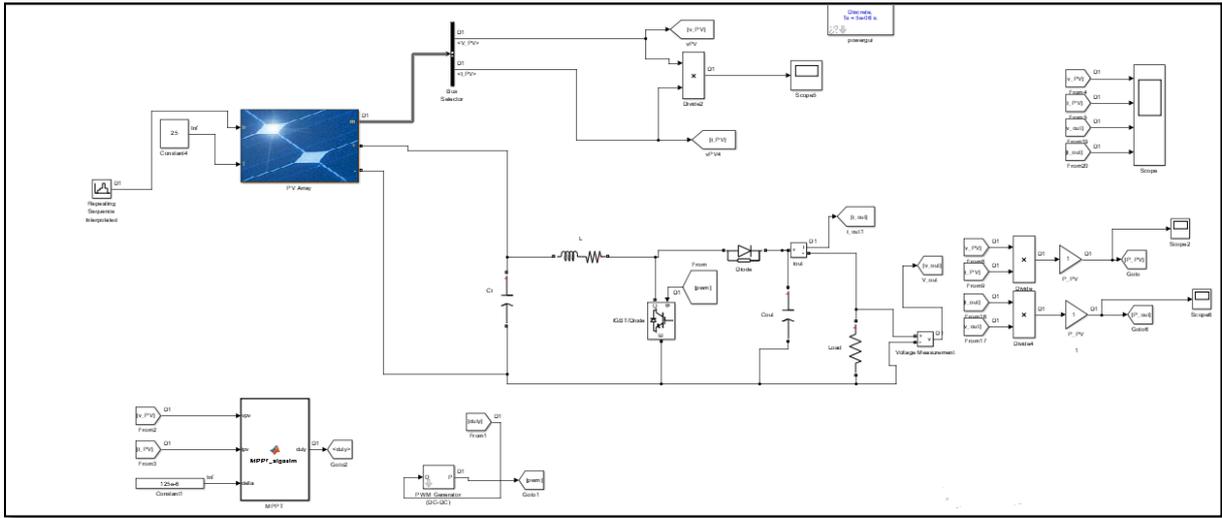


Figure III.9 Schéma de simulation en MATLAB du "modèle-IGBT" d'algorithme MPPT -P & O

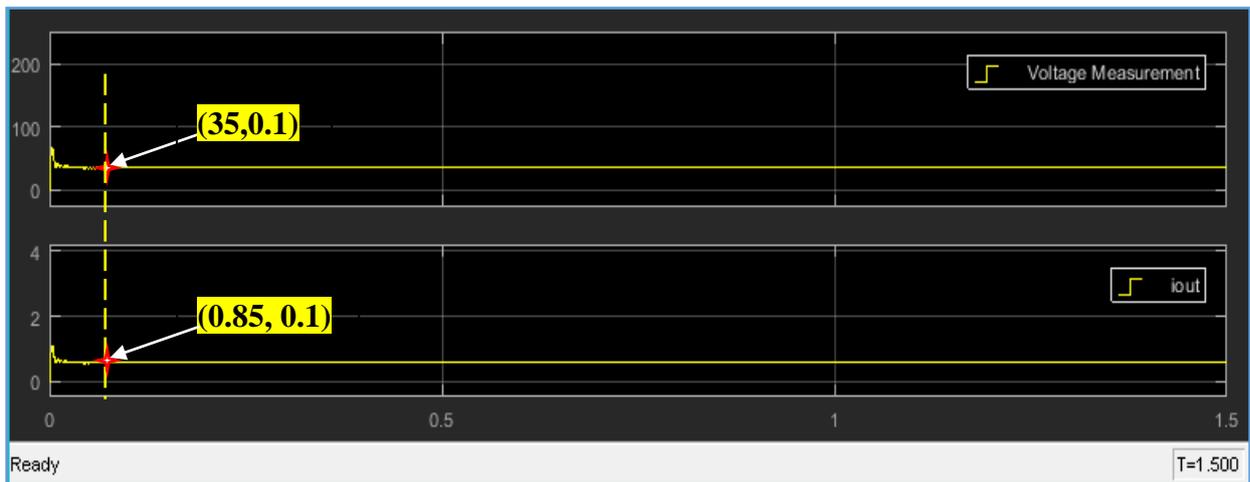


Figure III.10 Allures " $I(t)_{out}/ V(t)_{out}$ " de charge en MATLAB pour le "modèle-IGBT"

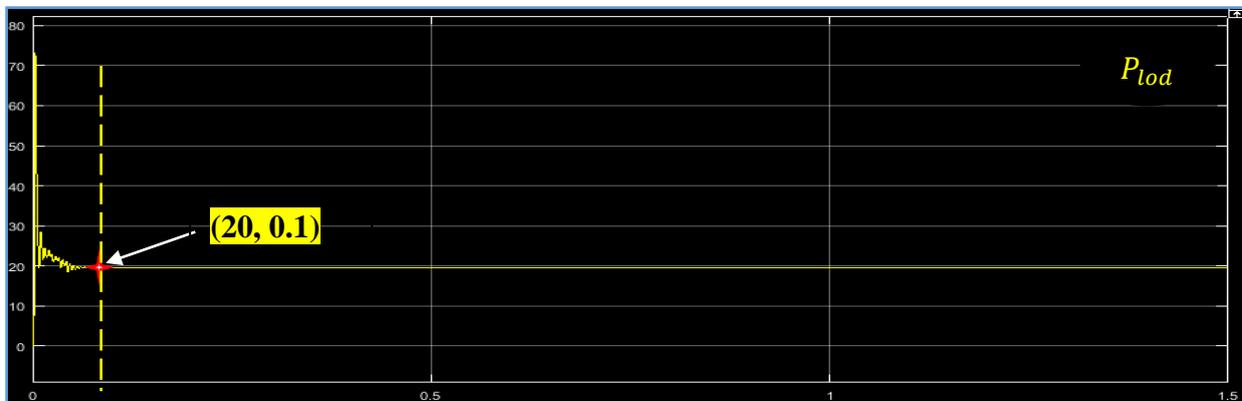


Figure III.11 Allures " $P(t)_{out}$ " de charge en MATLAB pour le "modèle-IGBT"

III.3.4 Discussion de résultats

Les deux modèles de simulation représentent les courbe $I = f(t)$ & $V = f(t)$ & $P = f(t)$ des modules photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

✓ **Modèle PSIM**

On observe que la puissance atteint la valeur maximale stable d'environ 20w dans un temps d'environ $t=2.53 \text{ ms}$ et ensuite elle reste stable.

On peut déduire que la technique P&O avec la procédure MPPT pour un DC-DC Boost-MOSFET aussi réponde d'une manière très rapide.

✓ **Modèle Matlab**

On observe que la puissance atteint la valeur maximale de 74w dans un temps entre $[T=0\text{s}$ et $T=0.1\text{s}]$ puis diminué jusqu' à ce qu'il atteint une valeur stable d'environ 20w à en temps 0.1s

Ainsi on déduire que la technique P&O avec la procédure MPPT pour un DC-DC Boost-IGBT aussi réponde d'une manière rapide mais plus retard que le modèle PSIM.

III.3.5 La Comparaison

On peut déduire d'après les résultats obtenus que :

Type de modèle	Rendement énergétique	Efficacité énergétique	Valeurs Optimales	Observations
Modèle MOSFET en PSIM	Faible mais acceptable pour le besoin de charge	Très élevée $t=2.53 \text{ ms}$	$I=0.57\text{A}/V=34\text{V}$ $P=20\text{W}$	L'impact de la partie électronique est visible et présent à travers les caractéristiques de MOSFET
Modèle IGBT en MATLAB		plus retard $t=0.1\text{s}$	$I=0.85\text{A}/V=35\text{V}$ $P=20\text{W}$	L'impact de la partie électronique est moins visible et lent à travers les caractéristiques de IGBT

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés une réalisation des deux différentes modèle de simulation d'un système PV l'un avec MOSFET et l'autre avec IGBT raccordé au charge "capacitive & résistive ", et illustré les schémas block simulink réalisés sous " psime & Matlab ".

Les résultats de simulation du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT « perturbation et observation » représentent la tension, le courant et la puissance générées par la tension, le courant et la puissance à la sortie du système photovoltaïque. Ces résultats montrent que les hacheurs survolteurs "MOSFET & IGBT " et la commande MPPT « perturbation et observation » effectuent correctement leurs rôles.

Conclusion général

Conclusion général

Conclusion général

L'énergie solaire utilisé a travers le système photovoltaïque dans les zones a distant et isolée pour différentes applications comme " station de pompage d'eau, éclairage,... " présente un intérêt très important ; cependant les systèmes photovoltaïques possèdent deux inconvénients majeurs qui sont un rendement énergétique bas et une efficacité énergétique faible, cela se vérifie sur les caractéristiques $I(t), V(t), P(t)$ sous l'influence d'impact de la partie électronique via d'association "composante électronique (MOSFET&IGBT) – convertisseur DC/DC (Boost) " dans des conditions constantes d'irradiation et de température.

La partie électronique de l'ensemble d'association " composante-convertisseur avec la commande MPPT-perturbation et observation " apportent une solution intéressante pour la réalisation d'un bon impact sur l'efficacité énergétique dans les systèmes photovoltaïques. Ces éléments présentent plusieurs avantages par rapport aux autres éléments de système photovoltaïque, à savoir une efficacité élevée, un rendement acceptable, une complexité réduite, ...etc. De plus l'évolution de l'électronique de puissance et la technologie des composantes d'électronique permet d'élargir l'impact de ces derniers, mais pour des raisons économiques, la température entourée la composante est encore élevé. Avant d'aborder la problématique d'optimisation, nous avons tout d'abord étudié d'une façon générale l'impact de la partie électronique dans le système photovoltaïque ; ceci s'est avéré nécessaire pour acquérir une connaissance du comportement des composantes d'électronique tel que "MOSFET, IGBT...".

Notre étude à commencer par une présentation du modèle pour chaque élément constituant la chaîne photovoltaïque, ainsi qu'une caractérisation des composantes (MOSFET, IGBT) afin d'avoir un modèle complet de l'ensemble et de donner une optimisation de l'énergie disponible.

Une fois l'adaptation validée, nous avons réalisé les deux modèles de simulation par ces composantes (MOSFET, IGBT) avec "Matlab et Psim" qui représente le choix le plus simple et le moins coûteux.

Dans ce contexte, l'étude de l'impact de la partie électronique dans le système photovoltaïque est une nécessité pour découvrir son influence sur l'efficacité énergétique d'une part et satisfaire les besoins des charges du système photovoltaïque d'autre part. Pour parvenir à cet objectif, il existe différentes techniques d'optimisation (MPPT-P&O,...).

Conclusion général

Dans ce mémoire, une étude comparative entre les deux modèles simulink des systèmes de photovoltaïque par "PSIM, MATLAB" sont présentées, en se basant sur "MOSFET, IGBT" de convertisseur DC/DC-Boost le plus efficace qui consiste en une association direct de la partie électronique, ainsi que pour une optimisation de l'énergie délivrée par le système. La technique de maximisation ou poursuite de puissance maximale «MPPT-P&O» est utilisée

Références bibliographiques

[1] <https://bester.energy/en/isolated-photovoltaics-system-applications/>

[2] https://www.mahaurja.com/meda/en/off_grid_power/small_wind_solar_hybrid

[3] <https://www.indiamart.com/proddetail/on-grid-connected-pv-system-18671435597.html>

[4] Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement LE PHOTOVOLTAÏQUE –
MODULE 3 – FONCTIONNEMENT ET TECHNOLOGIES, Edition NOVEMBRE 2010 .

[5] A. R. F. Hananou. Etude et simulation d'un panneau solaire raccordé au réseau avec
périphérique de stockage. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
académique, Université Kasdi Merbah, Ouargla-Algérie, Faculté des Sciences Appliquées,
2012.

[6] CH.Maher "Gestion Energétique des Panneaux photovoltaïque" Mémoire Master
Université Sfax 2007-2008.

[7] «mytopschool,» [En ligne].

Available:<http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Modulateurs/index.html?LeHacheur1Qtension.html>. [Accès le 2020 10 12].

[8] Dimensionnement et conception des hacheurs Buck-BOOST & CUK.

[9] F. Souleyman et M. Omar, «univ-adrar.edu.dz,» 23 06 2019. [En ligne]. Available:
https://dspace.univadrar.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/2272/1/memoire.fine_etude.pdf f.
[Accès le 2 aout 2020].

[10] ABDELHAKIM B. "conception ETI MPLEMENTATION d'une commande MPTT de
haute performance pour une chaine de conversion PHOTOVOLTAÏQUE autonome" THESE
DE DOCTOR département d' Electrotechnique université F.A de SETIF 1 .

[11] «Composants de l'électronique de puissance,» [En ligne].
Available:http://mach.elec.free.fr/divers/polycop_composants_elec_puiss.pdf. [Accès le 20 10
2020].

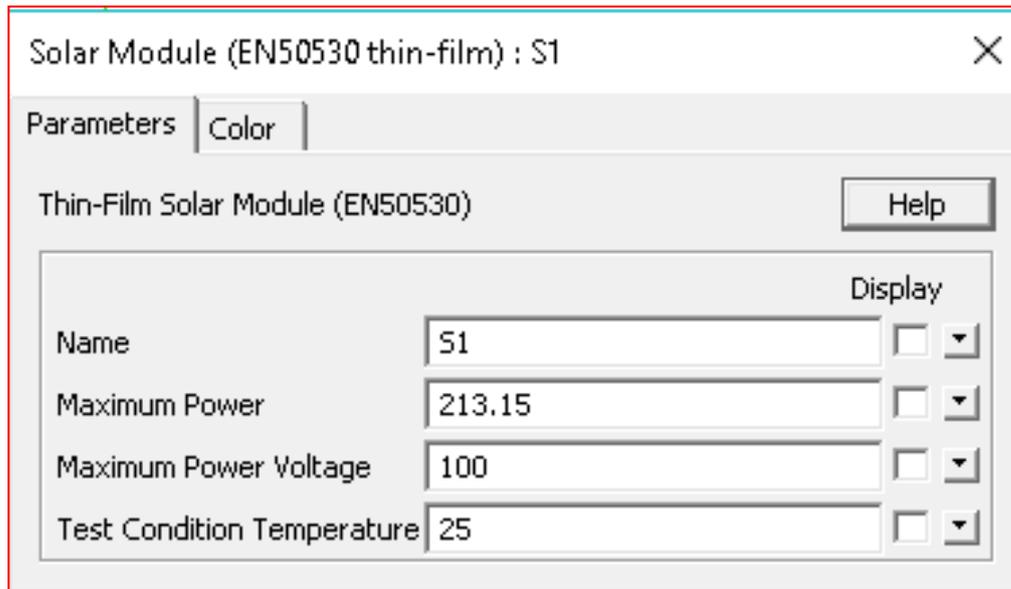
[12] <http://www.aero-hesbaye.be/dossiers/technique/batteries.htm>

Références bibliographiques.

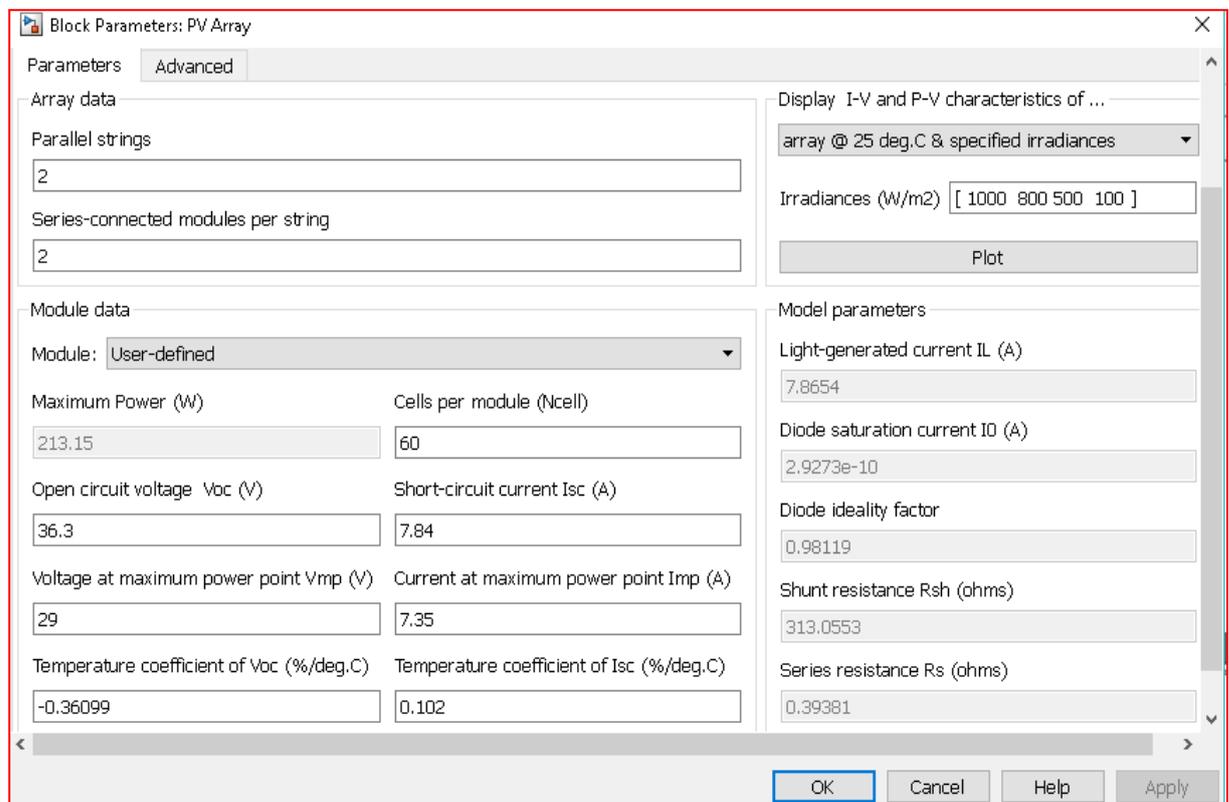
- [13] M.Hatti, « contrôleur flou pour la poursuite du point de puissance maximum mppt d'un système photovoltaïque ». Jcge'08 lyon, 2008.
- [14] Gohmes, Abdennour, and NasreddineGherara. Etude du Stockage de l'Energie Solaire photovoltaïque sous forme d'air comprimé. Diss. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [15] R. Jimmy et al., Le pompage photovoltaïque, Édition Multi mondes, 1999
- [16] Soufi Ali et Mohammad Abdel Haq«Evaluation of Global MPPT for stand-alone PV System»»,
- [17] Boudouh Tarek ,(Montages hacheurs et ses applications) ,Université Mohamed Khider Biskra, 2020. Page 23
- [18] HANANOU FATIHA, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque, année 2013/2014
- [18] Yahiaouamina et ladghamnadiamimoirel impact de l'énergie photovoltaïque pv dans un système de conversion d'énergie université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent année 2019/2020 page 50.
- [19] Yahiaoui amina et ladghamnadiamimoirel impact de l'énergie photovoltaïque pv dans un système de conversion d'énergie université Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent année 2019/2020 page 51.
- [20] B .BOUNOUA Optimisation du Transfert d'Énergie d'un Champ Photovoltaïque basée sur la Commande MPPT PrédictiveUNIVERSITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU.Promotion 2012. Page63

Annexes

✓ *Caractéristique GPV en PSIM*



✓ *Caractéristique GPV en MATLAB*



✓ *Valeurs paramètres électrique*

C1	L	C2	R
100E-06	5E-03	100E-06	60

✓ *Code MPPT en MATLAB*

```
function duty=MPPT_algoritm(vpv,ipv,delta)
% I used the MPPT algorithm in the MATLAB examples
% I only modify somethings.
duty_init= 0.1;
% min and max value are used to limit duty between
% 0 and 0.85
duty_min= 0;
duty_max= 0.85;

persistent vold pold duty_old;
% persistent variabl type can be store the data
% we need the old data by obtain difference
% between old and new value
if isempty(vold)
    vold=0;
    pold=0;
    duty_old=duty_init;
end
p= vpv*ipv; % power
dv= vpv - vold; % difference between old and new voltage
dp= p - pold;% difference between old and new power

% the algorithm in below search the dp/dv=0
% if the derivative equal to zero
% duty will not change
% if old and new power not equal
% &
% pv voltage bigger than 30V
% the algorithm will works
if dp ~= 0 && vpv>30
    if dp < 0
        if dv < 0
            duty = duty_old - delta;
        else
            duty = duty_old + delta;
        end
    else
        if dv < 0
            duty = duty_old + delta;
        else
            duty = duty_old - delta;
        end
    end
else
    duty = duty_old;
end
```

Annexes

```
% the below if limits the duty between min and max
if duty >= duty_max
    duty=duty_max;
elseif duty<duty_min
    duty=duty_min;
end

% stored data
duty_old=duty;
vold=vpv;
pold=p;
```